



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD

LICENCIATURA EN NUTRICIÓN

TESIS

**EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA
CÁSCARA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill var.
Hass) SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y
DIGESTIÓN *IN VITRO* DE ANTIOXIDANTES**

**Para obtener el título de
Licenciada en Nutrición**

PRESENTA

P.L.N. Vania Palma González

Directora:

Dra. Quinatzin Yadira Zafra Rojas

Codirectora:

Dra. Nelly del Socorro Cruz Cansino

Comité tutorial:

Dra. Esther Ramírez Moreno

Dr. Teodoro Suárez Diéguez

San Agustín Tlaxiaca, Hgo., México., noviembre 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
ÁREA ACADÉMICA DE NUTRICIÓN

De acuerdo con el artículo 40 y 43 del Reglamento de Titulación vigente, el jurado de examen recepcional designado, autoriza para su impresión el trabajo de la Tesis titulada:

"EFECTO DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DE LA CÁSCARA DE AGUACATE (*Persea americana* Mill var. Hass) SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y DIGESTIÓN *IN VITRO* DE ANTIOXIDANTES"

Que para obtener el Título de Licenciada de Nutrición en la modalidad "Elaboración de tesis mediante examen recepcional" sustenta la Pasante

C. Vania Palma González.

ATENTAMENTE
Pachuca de Soto, Hidalgo, 13 de noviembre de 2023
"Amor, Orden y Progreso"

PRESIDENTE:	DRA. ESTHER RAMÍREZ MORENO
SECRETARIO:	DRA. QUINATZIN YADIRA ZAFRA ROJAS
PRIMER VOCAL:	DRA. NELLY DEL SOCORRO CRUZ CANSINO
SUPLENTE	DR. TEODORO SUÁREZ DIÉGUEZ



Agradecimientos

A mi familia, especialmente a mis padres Irene e Isaias, a mi hermano Alexander y a mi abuelita Isidora, gracias por tanto.

A la Dra. Quinatzin y a la Dra. Nelly, por todo su apoyo para la realización de este proyecto y por motivarme a seguir en el camino de la investigación en el área de alimentos.

A mis amig@s, principalmente a Jaqueline, Abigail, Darien, Emili, Eva, Lety y Ana, gracias por su apoyo, sus consejos, por todos los momentos vividos y por demostrarme el verdadero valor de la amistad.

Gracias también a Mariel, Liss, Ara, Lili, Mine, Jessi, Wendy, Ximena, Mairin, Dania, Kimberly, Vania y Nazareth, por su infinito apoyo, su ayuda, sus consejos, su amistad, muchísimas gracias chicas.

A las y los docentes que verdaderamente me apoyaron en este tiempo, Gloria, Claudia, Zacnicté, Eli, Zuli, Lorena, Yari, Alicia, Iris, Esther, Ernesto, Luis y Alberto, gracias por ser parte de mi formación universitaria.

De nuevo le agradezco a la Mtra. Claudia y a su esposo Omar, por proporcionarnos la materia prima para la realización de este proyecto.

A la Sra. Rosi y a su familia, por abrirme las puertas de su hogar, por deleitarme con sus guisados y por su empatía.

A mi psicóloga, la Mtra. Silvia, gracias por ayudarme a que este barquito llamado vida, no se hundiera y siguiera navegando sin importar la adversidad.

A mis gat@s y perr@s, por ser un gran apoyo emocional a lo largo de mi vida.

Dedicatoria

A mis padres y a mi abuelita, por enseñarme que sin importar la situación, se puede salir a flote.

A mi hermano, por demostrarme que todo se puede y que un no, no es suficiente para rendirse.

A mis amigas, ya que sin ustedes no lo hubiera logrado.

A todas las personas que estuvieron conmigo, no sólo en este proyecto y en mi formación académica, sino también aquellas que conocí y a las que permanecieron a lo largo de mi vida.

[...] a veces tu mente intenta engañarte,
te dice que no eres bueno,
que no hay esperanza,
pero he aprendido esto:
eres amado e importante,
¡resiste!,
nunca olvides ...
eres suficiente tal y como eres [...]

El niño, el topo, el zorro y el caballo. Charlie Mackesy.

Índice general

Índice de figuras	7
Índice de tablas	8
Índice de ecuaciones	9
Abreviaturas	10
Unidades de medida	11
1. Resumen	12
2. Abstract	13
3. Marco Teórico	14
3.1. Aguacate	14
3.2. Producción	15
3.3. Composición química y antioxidantes de la cáscara de aguacate	15
3.4. Usos de los residuos del aguacate	16
3.5. Tamaño de partícula	17
3.6. Compuestos bioactivos y su efecto en la salud	18
3.6.1. Fibra dietética	18
3.6.2. Antioxidantes	19
4. Problema de investigación	21
5. Justificación	22
6. Objetivos	23
7. Metodología	24
7.1. Obtención de la muestra	25
7.2. Liofilización de la muestra	25
7.3. Molido y tamizado de la muestra	25
7.4. Caracterización fisicoquímica	25
7.4.1. pH	25

7.4.2. Sólidos solubles totales (SST)	25
7.4.3. Color	26
7.5. Contenido de fibra dietética total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI)	27
7.6. Propiedades funcionales de la cáscara de aguacate	29
7.6.1. Capacidad de retención de agua (CRA)	29
7.6.2. Capacidad de hinchamiento (CH)	30
7.6.3. Capacidad de retención de lípidos (CRL)	30
7.6.4. Capacidad de retención de glucosa (CRG)	31
7.7. Análisis semicuantitativo del contenido de minerales	32
7.8. Extracción de antioxidantes con solventes orgánicos	32
7.8.1. Contenido de compuestos antioxidantes	33
7.8.1.1. Compuestos fenólicos totales (CFT)	33
7.8.1.2. Determinación de ácido ascórbico (AA)	34
7.8.1.3. Contenido de antocianinas	34
7.8.2. Capacidad antioxidante	35
7.8.2.1. ABTS●+	35
7.8.2.2. DPPH●	36
7.8.2.3. FRAP	37
7.8.2.4. Actividad quelante (% AQ)	37
7.9. Bioaccesibilidad in vitro de antioxidantes	38
7.10. Análisis estadístico	39
8. Resultados y discusión	40
8.1. Caracterización fisicoquímica	40
8.1.1. pH	40
8.1.2. Sólidos solubles totales (SST)	41
8.1.3. Color	42

8.2. Contenido de fibra dietética total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI)	46
8.3. Propiedades funcionales de la cáscara de aguacate	48
8.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)	48
8.3.2. Capacidad de hinchamiento (CH)	50
8.3.3. Capacidad de retención de lípidos (CRL)	52
8.3.4. Capacidad de retención de glucosa (CRG)	54
8.4. Análisis semicuantitativo del contenido de minerales	56
8.5. Compuestos antioxidantes y su bioaccesibilidad in vitro	58
8.5.1. Compuestos fenólicos totales (CFT)	58
8.5.2. Determinación de ácido ascórbico (AA)	61
8.5.3. Contenido de antocianinas	63
8.6. Capacidad antioxidante	65
9. Conclusiones	70
10. Recomendaciones	71
11. Referencias bibliográficas	72
ANEXOS	98

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama del diseño metodológico	24
Figura 2. Parámetros de color	27
Figura 3. Valores de pH en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	40
Figura 4. Valores de sólidos solubles totales (°Brix) en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	42
Figura 5. Color obtenido de la cáscara de aguacate	45
Figura 6. Capacidad de retención de agua (g/g) de la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	49
Figura 7. Capacidad de hinchamiento (mL/g) en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	51
Figura 8. Capacidad de retención de lípidos (g/g) en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	53
Figura 9. Capacidad de retención de glucosa (mg/g) en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	55
Figura 10. Compuestos fenólicos totales en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	59
Figura 11. Ácido ascórbico en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	62
Figura 12. Antocianinas en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	64

Figura 13. Capacidad antioxidante en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	66
---	----

Índice de tablas

Tabla 1. Parámetros de color en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	43
Tabla 2. Contenido de fibra dietética en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	46
Tabla 3. Contenido de minerales en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula	56

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Determinación de Hue (h°)	26
Ecuación 2. Determinación de Croma (C^*)	26
Ecuación 3. Diferencia de color (ΔE)	26
Ecuación 4. Porcentaje de fibra dietética total (%FDT)	29
Ecuación 5. Capacidad de retención de agua (CRA)	29
Ecuación 6. Capacidad de hinchamiento (CH)	30
Ecuación 7. Capacidad de retención de lípidos (CRL)	31
Ecuación 8. Contenido de antocianinas	35
Ecuación 9. Porcentaje de actividad quelante (%AQ)	38

Abreviaturas

a*: coordenadas rojo/verde

AA: ácido ascórbico

ABTS: 2,2'-azinobis [ácido 3-
etilbenzotiazolina-6-ácido-sulfónico]

ANOVA: análisis de varianza

AOAC: Association of Official Analytical
Chemists

b*: coordenadas amarillo/azul

bs: base seca

C*: Croma, pureza o saturación

Cat: catequina

CFT: compuestos fenólicos totales

CH: capacidad de hinchamiento

CRA: capacidad de retención de agua

CRG: capacidad de retención de
glucosa

CRL: capacidad de retención de lípidos

CIE: La Commission Internacionale de
IÉclairage

Cy3GI: cianidina-3-glucósido

ΔE : delta E, diferencia de color

DCPI: 2,6-diclorofenolindofenol

DE: desviación estándar

DPPH: 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo

DNS: ácido 3,5 dinitrosalicílico

FDI: fibra dietética insoluble

FDS: fibra dietética soluble

FDT: fibra dietética total

Fe-TPTZ: hierro-2,4,6-tripiridyl-1,3,5-
triazina

FRAP: Ferric Reducing Antioxidant
Power

h° : Hue, tonalidad

HCl: ácido clorhídrico

L*: luminosidad de color

Mill: Miller Philip, horticultor y botánico
británico que describió y clasificó al
aguacate

NaHCO₃: bicarbonato de sodio

NaOH: hidróxido de sodio

pH: potencial de hidrógeno

pp2a: proteína fosfatasa 2A

SEM: Scanning Electron Microscope

SPSS: Statistical Package for Social
Sciences

SST: sólidos solubles totales

var: variedad

Unidades de medida

°Brix: grados Brix

°C: grados centígrados

AQ: actividad quelante

EAA: equivalentes de ácido ascórbico

EAG: equivalentes de ácido gálico

eq: equivalentes

ET: equivalentes de Trolox

g: gramos

g/g: gramo por gramo

g/L: gramo por litro

H⁺: iones hidrógeno

h: horas

kDa: kiloDalton

kg: kilogramo

kV: kiloVoltio

µg: microgramo

µL: microlitro

µm: micrómetro

µmol/L: micromoles por litro

M: Molar o Molaridad

mA: miliAmperio

mBar: miliBar

mg: miligramo

mg/g: miligramos por gramo

mg/L: miligramos por litro

mg/mL: miligramos por mililitro

min: minutos

mL: mililitro

mL/g: mililitros por gramo

mm: milímetros

mM: miliMolar

mmol o mMol: milimol

N: Normal o Normalidad

nm: nanómetros

%: porcentaje

% AQ: porcentaje de actividad quelante

p/v: peso por volumen

rpm: revoluciones por minuto

ton: toneladas

v/v: volumen por volumen

1. Resumen

A nivel mundial México es el principal productor de aguacate, su procesamiento genera residuos como la cáscara. La importancia de los residuos se debe a su contenido de compuestos bioactivos (polifenoles y fibra dietética), utilizados en la industria alimentaria. El objetivo fue analizar diferentes tamaños de partícula de la cáscara de aguacate, para identificar el óptimo sobre las propiedades funcionales de la fibra, la obtención de antioxidantes y su bioaccesibilidad. Los resultados se analizaron mediante ANOVA y las diferencias fueron comparadas a un nivel de significancia de $p < 0.05$. Se evaluó color y el tamaño de partícula de 250 μm mostró mayor luminosidad (50.98). La muestra control presentó elevado porcentaje de fibra dietética total (FDT: 76.71%) e insoluble (FDI: 73.95%) y la muestra a 250 μm fue más alta en fibra soluble (FDS: 4.91%). En las propiedades funcionales de la fibra, la cáscara de 250 μm obtuvo la mayor capacidad de retención de agua (CRA: 6.73 g/g) e hinchamiento (CH: 3.83 mL/g) y el control en la retención de lípidos (CRL: 3.86 g/g) y retención de glucosa (CRG: 87.68 mg/g). Se encontró elevada cantidad ($p < 0.05$) de compuestos fenólicos totales en la muestra de 500 μm (CFT: 8504.17 mg EAG/100 g bs). Para antocianinas, el control y la cáscara de 250 μm fueron similares significativamente, siendo las más altas (50.40 y 52.52 mg Cy3GI/100 g bs, respectivamente). En ácido ascórbico (AA: 5076.90 mg EAA/100 g bs), la muestra de 850 μm arrojó el mayor contenido ($p < 0.05$). Mismo comportamiento se observó en la capacidad antioxidante por ABTS (1934.30 mg EAA/100 g bs), DPPH (13201.51 $\mu\text{mol ET}/100$ g bs), FRAP (465.18 $\mu\text{mol Fe (II)}/100$ g bs) y actividad quelante (AQ: 53.99%). En bioaccesibilidad *in vitro*, la cáscara de 250 μm tuvo elevado porcentaje de CFT, ABTS y FRAP (226%, 88% y 90%, respectivamente). El control fue alto en AA (101%) y DPPH (108%). Las muestras de 500 y 850 μm presentaron mayor porcentaje en AQ (1.4 veces más) y antocianinas (369%). Finalmente, la cáscara de aguacate a 250 μm tuvo mejores propiedades fisicoquímicas y antioxidantes, por lo que podría aprovecharse en la industria alimentaria con efectos benéficos a la salud.

Palabras clave: cáscara de aguacate, tamaño de partícula, fibra dietética, antioxidantes, bioaccesibilidad *in vitro*.

2. Abstract

Mexico is the world's leading avocado producer and its processing generates waste such as the peel. Currently, there is a lot of interest in waste due to their content of bioactive compounds (polyphenols and dietary fiber), used in the food industry. The objective was to analyze different particle sizes of avocado peel, to identify the optimum on the functional properties of the fiber, the obtaining of antioxidants and its bioaccessibility. Results were analyzed by ANOVA and differences were compared at a significance level of $p < 0.05$. Color was evaluated, where the particle size at 250 μm presented the highest brightness (50.98). The control showed high percentages of total dietary fiber (TDF: 76.71%) and insoluble fiber (IDF: 73.95%) and the sample at 250 μm was high in soluble fiber (SDF: 4.91%). In the functional properties of the fiber, the waste at 250 μm obtained the highest water retention capacity (WRC: 6.73 g/g) and swelling (SWC: 3.83 mL/g) and the control in lipid retention (ORC: 3.86 g/g) and glucose retention (GRC: 87.68 mg/g). Respect to antioxidants, high amount ($p < 0.05$) of total phenolic compounds in the sample at 500 μm (TPC: 8504.17 mg GAE/100 g dw) was found. For anthocyanins, the control and the peel at 250 μm were significantly similar, being the highest (50.40 and 52.52 mg Cy3GI/100 g dw, respectively). For ascorbic acid (AA: 5076.90 mg AAE/100 g dw), the sample at 850 μm yielded the highest content ($p < 0.05$). The same behavior in the antioxidant capacity by ABTS (1934.30 mg AAE/100 g dw), DPPH (13201.51 $\mu\text{mol TE}/100\text{ g dw}$), FRAP (465.18 $\mu\text{mol Fe (II)}/100\text{ g dw}$) and chelating activity (CA: 53.99%) was observed. For *in vitro* bioaccessibility, the waste at 250 μm showed high percentage of TPC, ABTS and FRAP (226%, 88% and 90%, respectively). The control was high in AA (101%) and DPPH (108%). The samples at 500 and 850 μm had higher percentages of CA (1.4 times as much) and anthocyanins (369%). Finally, avocado peel at 250 μm had better physicochemical and antioxidant properties and could be used in the food industry with beneficial health effects.

Keywords: avocado peel, particle size, dietary fiber, antioxidants, *in vitro* bioaccessibility.

3. Marco Teórico

3.1. Aguacate

El aguacate cuyo nombre científico es *Persea americana* Mill, es un fruto subtropical/tropical originario de México y América Central, pertenece a la familia *Lauraceae*, género *Persea*, especie americana (Gutiérrez-Contreras et al., 2010), también se le conoce como palta en la lengua quechua (Perú), avocado en inglés o abacate en portugués, su difusión dio origen a las variedades Fuerte, Bacón, Rincón, Zutano, así como también variedades criollas de raza mexicana y Hass (SEMARNAT, 2021). El aguacate Hass presenta una forma que puede ir desde semiredonda hasta aplanada, su cáscara es rugosa a semirugosa, uniforme en toda la superficie y su color es negro, la pulpa es de tono verde amarillento y de consistencia suave similar a la mantequilla (NMX-FF-016-SCFI-2016). El fruto está constituido por una semilla, la cual es de tamaño pequeño o mediano y de color café (Garbanzo, 2010). Su disponibilidad es media durante todo el año y la mayor producción es de febrero a marzo y de agosto a diciembre (PROFECO, 2021).

La parte comestible del aguacate es la pulpa y se ha reportado el porcentaje de humedad (41.57%), cenizas (2.55%), fibra cruda (34.30%), lípidos (28.88%), proteínas (1.90%) y carbohidratos (25.10%) (Oluwaniyi, Nwosu y Okoye, 2017). Por otro lado, Ramos-Aguilar et al. (2021), cuantificaron el contenido de compuestos fenólicos de 500.81 mg EAG/kg de peso seco y evaluaron su capacidad antioxidante (1.12 mmol eq. Trolox/kg de peso seco).

Las partes no comestibles del aguacate son la semilla y la cáscara. Egbuonu, Opara y Uchenna (2018), realizaron un análisis químico proximal de la semilla y obtuvieron una humedad de 13.09%, cenizas de 3.82%, fibra cruda de 2.87%, así como el contenido de lípidos, proteínas y carbohidratos de 0.33%, 2.64% y 80.12%, respectivamente. Velderrain-Rodríguez et al. (2021a), encontraron que la semilla de aguacate contiene compuestos fenólicos totales (63.19 mg EAG/g de extracto), antocianinas totales (1.61 mg cianidina-3-glucósido/g de extracto), flavonoides totales (6.18 mg eq. Cat/g de extracto) y compuestos de origen lipofílico como los carotenoides totales (0.65 µg eq.

β -caroteno/g de extracto) y los tocoferoles totales (36.37 mg/100 g de extracto). Estos compuestos poseen actividad antioxidante medida por DPPH (0.20 mMol Trolox/g de extracto), ABTS (0.78 mMol Trolox/g de extracto) y FRAP (0.41 mMol Trolox/g de extracto) (Velderrain-Rodríguez et al., 2021a). Sin embargo, es importante mencionar que se ha reportado la toxicidad en la semilla, por lo que dosis de 500 mg/kg muestran actividad tóxica y genotóxica en ratones (Padilla-Camberos et al., 2013).

3.2. Producción

El 70% de la producción del aguacate tiene lugar en América Latina y el Caribe (OCDE-FAO, 2020) y la fuerte participación es por parte de México (33%), posicionándolo a nivel mundial como el primer productor, en segundo lugar se encuentra República Dominicana (10.5%), seguido de Perú (7.8%), Indonesia (5.7%) y Colombia (5.1%) (FAOSTAT, 2020). La producción de aguacate en México para el año 2021 fue de 2,448,279 toneladas (ton), siendo Michoacán el principal estado productor con 1,831,622 ton, aportando el 74.8% del total nacional, seguido de Jalisco con 256,002 ton (equivalente al 10.5% del total nacional) (SIAP, 2022). El aguacate no sólo es importante por su elevada producción y consumo a nivel nacional e internacional, sino también por sus compuestos bioactivos.

3.3. Composición química y antioxidantes de la cáscara de aguacate

El procesamiento industrial del aguacate genera residuos como la semilla y cáscara, esta última representa el 14% del peso total del fruto (Melgar et al., 2018), de la cual se reportan valores de humedad y cenizas de 72.15% y 1.62%, respectivamente; mientras que el porcentaje de proteínas, lípidos y carbohidratos es de 2.58%, 2.89% y 20.80%, respectivamente (Saavedra et al., 2017). En cuanto al contenido de fibra, esta comprende entre el 43.62% y 80.57% (Araújo et al., 2018). Por lo tanto, su revalorización permitirá aprovecharla como fuente de antioxidantes (Salazar-López et al., 2020). De acuerdo con Velderrain-Rodríguez et al. (2021b), la cáscara del aguacate contiene fenoles totales (309.95 mMol EAG/100 g de extracto), flavonoides totales (12.54 mMol eq. Cat/100 g de extracto) y antocianinas totales (622.37 mMol eq.

cianidina-3-glucósido/100 g de extracto); así como actividad antioxidante por DPPH (46.49 mMol eq. Trolox/100 g de extracto), ABTS (504.60 mMol eq. Trolox/100 g de extracto) y FRAP (379, 308.80 mMol eq. Trolox/100 g de extracto). Por lo que los antioxidantes presentes en la cáscara de aguacate, pueden ser aplicados en diferentes áreas como la cosmética, farmacéutica y alimentaria.

3.4. Usos de los residuos del aguacate

De acuerdo al contenido de compuestos bioactivos como lípidos, antioxidantes y fibra, entre otros, y el bajo costo de los residuos del aguacate, permiten su aprovechamiento para la extracción de aceites vegetales, así como el uso de agentes antimicrobianos, aditivos o para prolongar la vida útil de los alimentos (Del Castillo-Llamosas et al., 2021a; Melgar et al., 2018; Del Castillo-Llamosas et al., 2021b). Por lo que se convierten en una fuente potencial para utilizarse en la industria cosmética (limpiador facial de residuos de aguacate, CN201611075684 20161130), farmacéutica (lípidos provenientes de los residuos de aguacate en el tratamiento de la leucemia, US201515517914 20151009) (Araújo et al., 2018) y alimentaria (películas termoplásticas de almidón con extracto de cáscara de aguacate como envases alimentarios activos) (Fidelis et al., 2015). Las patentes publicadas que utilizan residuos de aguacate, incluyen extractos naturales para modular la metilación de la proteína fosfatasa 2A (pp2a) y proporcionar actividad antioxidante y antiinflamatoria (US201515327875 20150722), producto tópico para el control de mosquitos con protección solar (US201662281369P 20160121) y la aplicación de las semillas para preparar una bebida como té (CN20151887121 20151207) o como medio de cultivo (WO20141B66209 20141120), así como también elaboración de zumo (CN201611114285 20161207), yogurt (CN20161111428520161207) y vino de residuos de aguacate (CN2017163431 20170203) (Araújo et al., 2018).

Cabe mencionar que no se ha reportado la toxicidad en la cáscara de aguacate (Segovia, Corral-Pérez y Almajano, 2016; Tremocoldi et al., 2018). Por lo que en un estudio que incluyó esta cáscara dentro la formulación de un té, mostró una buena capacidad antioxidante, similar al té mate que es ampliamente comercializado (Rotta

et al., 2016). Para la aplicación en estos campos, el residuo se lleva a diferentes procesos, entre ellos la obtención en polvo, en donde el tamaño de partícula puede variar dependiendo de su uso.

3.5. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula de los residuos vegetales tiene efecto sobre el color, textura y evaluación sensorial cuando son adicionados a productos alimentarios (Ajila, Leelavathi y Rao, 2008; Ramírez-Maganda et al., 2015; Nakov et al., 2020). En algunos estudios (cáscara de granada, mango, naranja y papa), se ha reportado que el tamaño de partícula entre 7.68 y 425 μm , influye sobre las propiedades funcionales de la fibra dietética como la solubilidad, capacidad de retención de agua, lípidos, hinchamiento y glucosa (Zhong et al., 2016; García-Magaña et al., 2013; Sankalpa et al., 2016; Ma et al., 2022). Esto se relaciona con los cambios en la estructura, porosidad y área de la superficie de la fibra (Peerajit, Chiewchan y Devahastin, 2012).

El tamaño de partícula también es importante para la extracción de los compuestos antioxidantes, ya que para maximizar el rendimiento (mayor contacto muestra-disolvente) se realiza un pretratamiento mecánico reduciendo el tamaño de las partículas (Aires, 2017). El pretratamiento consiste en el secado, la trituración, la molienda y la homogeneización del tamaño de partícula (Pinelo et al., 2005; Bucić-Kojić et al., 2007; Makanjuola, 2017; Betoret y Rosell, 2020). Ejemplo de lo anterior, es la extracción de antioxidantes a diferentes tamaños de partícula provenientes de la cáscara de granada (7.68, 41.2, 142.6, 197.1 y 413.4 μm), naranja (156, 211, 390 y 633 μm) y aguacate (420 μm) (Zhong et al., 2016; Cai et al., 2020; Wang, Bostic y Gu, 2010). Sin embargo, los resultados son contradictorios, ya que algunos autores mencionan que a mayor tamaño de partícula, mayor es el contenido de antioxidantes, mientras que otras investigaciones concluyen que a menor tamaño, existe una mayor extracción de los compuestos (Cai et al., 2020; Zhong et al., 2016). Por lo tanto, es importante considerar el tamaño de partícula, del cual dependen las propiedades funcionales de la fibra y contenido de antioxidantes.

3.6. Compuestos bioactivos y su efecto en la salud

3.6.1. Fibra dietética

La fibra dietética forma parte de la pared celular de las plantas, químicamente está integrada por diversos polímeros de hidratos de carbono (lignanos, oligosacáridos, almidones resistentes, gomas y mucílagos) (Ahmad y Khalid, 2018). De acuerdo con la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (por sus siglas en inglés EFSA), la fibra se define como hidratos de carbono no digeribles por las enzimas digestivas del ser humano (Hijová, Bertková y Štofilová, 2019).

Por su solubilidad en agua, la fibra se clasifica en insoluble (celulosa, lignina y hemicelulosa) y soluble (pectina, gomas y mucílagos) (Dai y Chau, 2017). La pectina proporciona plasticidad a la pared celular de la fibra y controla su porosidad, además es el componente principal de la lámina media, a la que se le atribuye la adhesión de las células próximas a los tejidos vegetales (Dick-Pérez et al., 2011; Capuano, 2017) y por sus propiedades espesantes, estabilizadoras y emulsionantes se emplea en la industria alimentaria, farmacéutica y química (Xiao et al., 2021). Por otro lado, la celulosa está constituida por varias unidades de D-glucosa que están unidas mediante enlaces glicosídicos β -(1,4), teniendo un arreglo rígido y estable. Es usada como fuente de energía para la obtención de metabolitos secundarios de uso industrial (ácidos orgánicos, elastinas, colorantes, aditivos alimentarios, fármacos, entre otros) (Ceballos y Montoya, 2013).

Para que la fibra dietética proporcione todas sus propiedades funcionales, es necesario consumir una variedad de alimentos con alto contenido en ésta (Dai y Chau, 2017). Por ejemplo, los granos enteros (trigo, arroz, maíz, avena, centeno y cebada), nueces, frutas y verduras, la fracción insoluble está presente en el trigo integral, salvado de trigo, hortalizas, cereales y frutas, mientras que la fracción soluble se encuentra en frutas, hortalizas, cebada, avena y chía (Flores, 2019). Ambas fracciones también pueden estar en residuos de frutas, vegetales, granos y leguminosas (Elleuch et al., 2011). La incorporación de la fibra dietética en los alimentos ha sido bien

aceptada sensorialmente, sin embargo en cantidades elevadas provocan oscurecimiento, textura dura y sabor desagradable (García-Amezquita et al., 2018).

El efecto de la fibra dietética sobre la hiperglucemia e hiperlipidemia, así como en la regulación del colesterol plasmático, tránsito intestinal y crecimiento de la microbiota, se le atribuye a sus propiedades de solubilidad, viscosidad y fermentabilidad (Gill et al., 2020). Se ha reportado que de acuerdo a las propiedades funcionales (capacidad de hinchamiento, retención de agua, lípidos y glucosa) de la fibra dietética, puede aumentar la sensación de saciedad y el volumen fecal, así como disminuir el tiempo de defecación, la glucosa en sangre, reduciendo así el riesgo de obesidad, estreñimiento y cáncer de colon (Meena et al., 2022; Otles y Nakilcioglu, 2019).

3.6.2. Antioxidantes

Un antioxidante es una molécula que inhibe la oxidación de otras moléculas, retrasando, previniendo o eliminando el daño oxidativo y por lo tanto, protege al organismo contra los radicales libres y especies reactivas de oxígeno (ROS) (Gulcin, 2020).

Los polifenoles o compuestos fenólicos, provienen del metabolismo secundario de las plantas (Farias et al., 2020), son una forma de defensa contra el estrés oxidativo y la radiación ultravioleta (Vuolo, Lima y Junior, 2019). Se componen por dos o más anillos aromáticos y dos o más grupos hidroxilo (Skrovankova et al., 2015), se dividen en flavonoides dentro de los cuales se encuentran los flavonoles, flavonas, isoflavonas, flavanonas, antocianidinas y flavanoles (Ribas-Agustí et al., 2017).

El consumo de compuestos bioactivos como los polifenoles, se asocia a diversos efectos benéficos para la salud, que se derivan de sus capacidades antioxidantes, antiinflamatorias, antiproliferativas y antimicrobianas, entre otras (Bhuyan et al., 2019; Segovia, Corral-Pérez y Almajano, 2016; Tremocoldi et al., 2018). Se ha reportado que estos compuestos disminuyen el estrés oxidativo y contribuyen con el control de microorganismos patógenos (Melgar et al., 2018), regulan el metabolismo de los lípidos y carbohidratos (Pahua-Ramos et al., 2012), participan de forma positiva en la citoprotección (Edem, Ekanem y Ebong, 2009), inducen la apoptosis de las células

cancerosas (Bonilla-Porras et al., 2014), reducen los procesos inflamatorios (Tremocoldi et al., 2018), contribuyen con la neuroprotección (Eser et al., 2011), mantienen la memoria y la salud cerebral (de Melo et al., 2019), y ejercen protección contra las úlceras gástricas (Athaydes et al., 2019).

4. Problema de investigación

A nivel mundial México es el principal productor de aguacate y del procesamiento industrial de este fruto, se generan residuos como la cáscara, ésta representa el 14% del peso del fruto y es desechada al ser considerada de bajo valor. Estos residuos son destinados a la alimentación del ganado o para composta. Sin embargo, parte de ellos que no son utilizados contribuyen a la contaminación ambiental, fauna nociva y la producción de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, la reciente valorización de los residuos vegetales ha tomado importancia debido a su elevado contenido de compuestos bioactivos, como la fibra y polifenoles, a los que se debe su aplicación en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. Sin embargo, en algunos residuos se ha comprobado que el tamaño de partícula influye sobre la cuantificación de antioxidantes, así como en las propiedades funcionales de la fibra. En la cáscara de aguacate se ha reportado contenido antioxidante y ha sido estudiada a un sólo tamaño de partícula (420 μm). Por lo que existen pocas investigaciones sobre las condiciones de procesamiento (tamaño de partícula) de esta cáscara. Aunado a lo anterior, cabe mencionar que se desconoce la posible absorción de los compuestos antioxidantes, lo cual sería relevante para la industria alimentaria y farmacéutica.

5. Justificación

Los residuos vegetales contienen cantidades elevadas de compuestos bioactivos dándole un valor agregado, los cuales son aprovechados por la industria y a su vez disminuyen la contaminación. Dentro de los compuestos bioactivos, se encuentra la fibra dietética que se relaciona con la capacidad de hinchamiento, capacidad para retener agua, lípidos y glucosa (propiedades funcionales) y éstas pueden prevenir el estreñimiento y la obesidad, entre otras. Además, la fibra y los antioxidantes son importantes en la prevención de enfermedades no transmisibles (diabetes, cáncer y enfermedades cardiovasculares). Sin embargo, estos componentes presentes en los residuos pueden variar dependiendo del tamaño de la partícula. Por lo que es importante estudiar los diferentes tamaños de partícula de la cáscara de aguacate, ya que se podría modificar el contenido de la fibra y sus propiedades funcionales, así como el rendimiento de las extracciones de los compuestos antioxidantes y su posible absorción mediante una simulación intestinal *in vitro*. Finalmente, los resultados obtenidos podrían proporcionar mayor información sobre el uso de estos residuos y los posibles beneficios a la salud.

6. Objetivos

General:

Evaluar el efecto del tamaño de partícula de la cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill var. Hass) sobre las propiedades funcionales y digestión *in vitro* de antioxidantes.

Específicos:

- Determinar las propiedades fisicoquímicas como pH, sólidos solubles totales y color (L^* , a^* , b^* , *hue*, croma y delta) de la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula.
- Cuantificar la fibra dietética (total, soluble e insoluble) de la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula.
- Analizar las propiedades funcionales de la fibra (capacidad de retención de agua, capacidad de hinchamiento, capacidad de retención de lípidos y capacidad de retención de glucosa) de la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula.
- Realizar un análisis semicuantitativo del contenido de minerales de la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula.
- Cuantificar los compuestos fenólicos totales, ácido ascórbico y antocianinas, así como la capacidad antioxidante a través de las técnicas de ABTS, DPPH, FRAP y actividad quelante.
- Evaluar la bioaccesibilidad *in vitro* de compuestos antioxidantes y la capacidad antioxidante presentes en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula.

7. Metodología

El tipo de estudio fue experimental. En la Figura 1 se observa el diagrama general del diseño metodológico empleado en el presente trabajo.

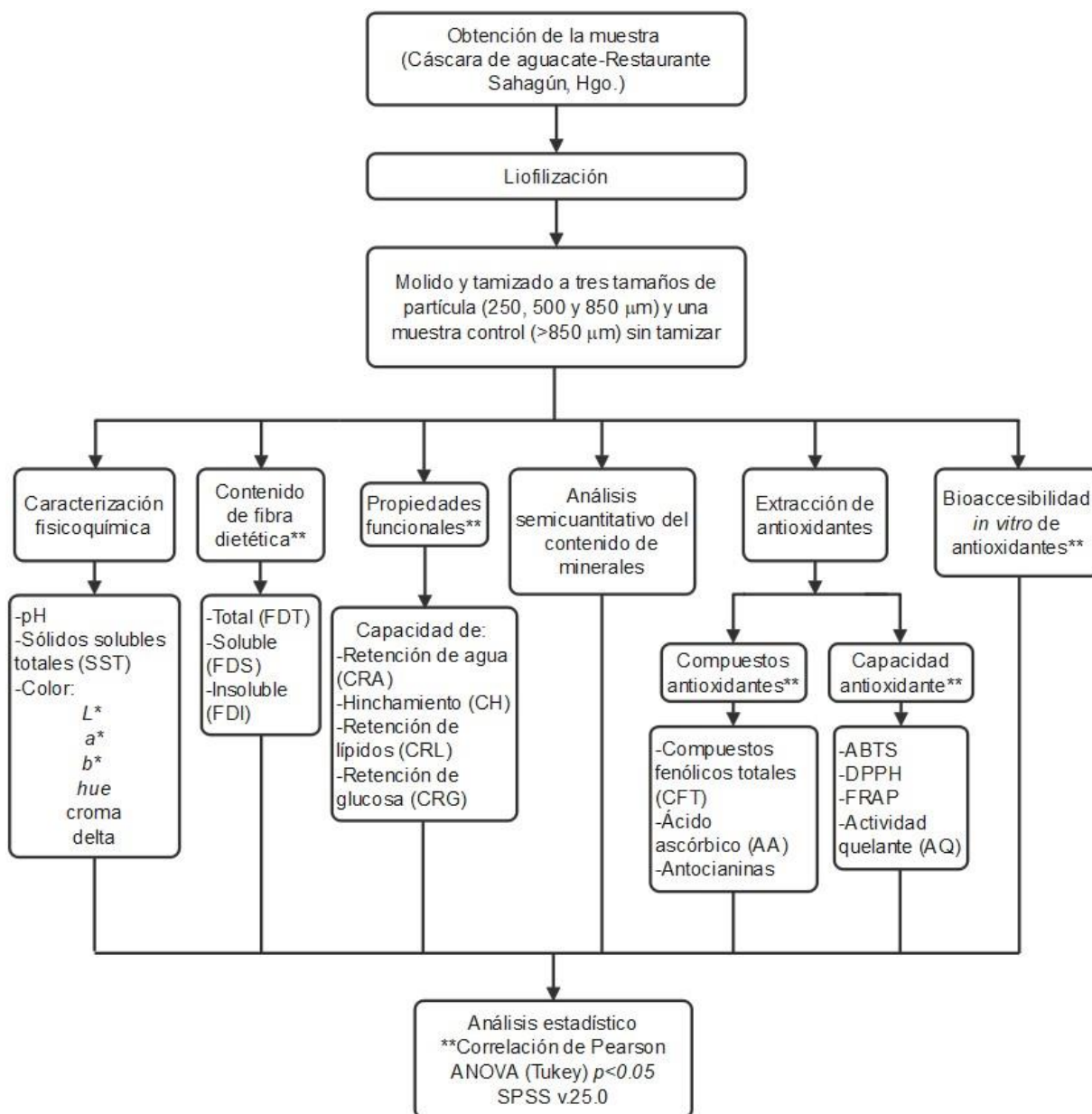


Figura 1. Diagrama del diseño metodológico.

7.1. Obtención de la muestra

La cáscara de aguacate (*Persea americana* Mill var. Hass) congelada, se obtuvo de un restaurante ubicado en la ciudad de Sahagún, Hidalgo. Se trasladó en condiciones de congelación al laboratorio de Tecnofuncionalidad de Alimentos, del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y se almacenó a -32 °C para su posterior liofilización.

7.2. Liofilización de la muestra

La muestra congelada se liofilizó a 0.045 mBar a -52°C (LABCONCO, FreeZone⁶, EUA), se almacenó a -32 °C y se etiquetó en bolsas de cierre hermético hasta su posterior uso.

7.3. Molido y tamizado de la muestra

La muestra liofilizada fue molida y tamizada a tres tamaños de partícula (250 µm, 500 µm y 850 µm) y una muestra sin tamizar (solamente triturada) usada como control (>850 µm).

7.4. Caracterización fisicoquímica

7.4.1. pH

También conocido como potencial de hidrógeno, cuantifica los iones hidrógeno (H⁺) de una solución mediante una escala de 0 a 14 (ácido y alcalino, respectivamente), en la que se considera 7 como neutro (Badui, 2015). El pH se midió con un potenciómetro (Hanna Instruments, pH 210, Rumania), el cual se calibró con las soluciones buffer pH 4 y 7. Se mezclaron 2 g de muestra con 20 mL de agua destilada (1:10 p/v) en vasos de precipitado de 25 mL y se introdujo el electrodo (Vaz et al., 2022).

7.4.2. Sólidos solubles totales (SST)

La cantidad de sólidos solubles relacionan la gravedad específica de una solución con la concentración equivalente de sacarosa pura (Potter, 2007). La medición de SST se realizó a través de un refractómetro con escala de 0 a 32 °Brix (Hangzhou Chincan

Trading Co., Ltd., Brix/ATC FG-113, China), el cual se calibró con una gota de agua destilada. Posteriormente, se preparó una solución acuosa 1:10 (p/v) y se colocó una gota de la muestra en solución con una pipeta Pasteur en el instrumento (Bas-Bellver et al., 2020). Los sólidos solubles totales se expresaron como °Brix.

7.4.3. Color

En 1976 la CIE, por sus siglas en francés (La Commission Internationale de l'Éclairage), creó el modelo de color denominado CIELAB, con el fin de mejorar la representación del color, mediante la descripción de los colores de un objeto que son percibidos por el ojo humano (International Commission on Illumination, 2021). Los instrumentos para medir este parámetro sensorial incluyen espectrofotómetros y colorímetros, los cuales muestran los valores para las coordenadas L^* , a^* y b^* (Küppers, 2002).

Donde:

L^* = Luminosidad de color ($L^*= 0$ indica negro (nula luminosidad) y $L^*= 100$ indica blanco (máxima luminosidad)).

a^* = Coordenadas rojo/verde (+a indica rojo y -a indica verde).

b^* = Coordenadas amarillo/azul (+b indica amarillo y -b indica azul).

Para esta determinación se usó un colorímetro portátil (Generic, CS-10, EUA), donde se determinó L^* , a^* , b^* , los valores obtenidos de los parámetros antes mencionados fueron utilizados para evaluar Hue (h°), Croma (C^*) y diferencia de color (ΔE) mediante las ecuaciones 1-3, respectivamente:

$$h^\circ_{ab} = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$C = \sqrt{(a^2 + b^2)} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Los parámetros de color L^* , a^* y b^* , así como Hue y Croma, se observan en la Figura 2. Los datos obtenidos en las coordenadas L^* , a^* y b^* se introdujeron en el calculador de color EasyRGB (2023), para visualizar con exactitud los colores que se identifican en cada muestra.

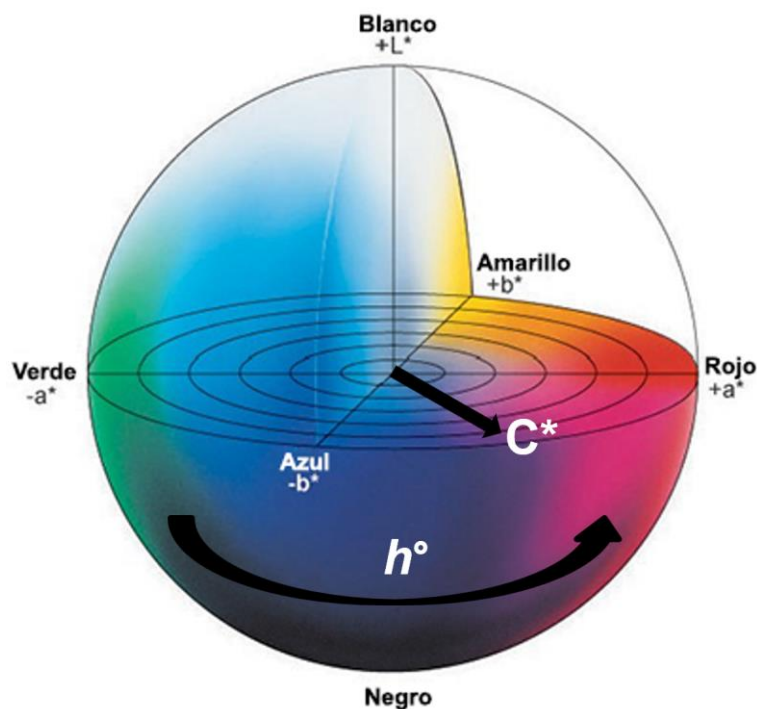


Figura 2. Parámetros de color. CIE L^* , a^* , b^* , hue (h°) y cromatismo (C^*). (Tomado y modificado de Zhang et al., 2022).

7.5. Contenido de fibra dietética total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI)

Para la determinación de fibra dietética total se utilizó la metodología de la AOAC 985.29, mientras que para determinar el contenido de fibra soluble e insoluble se aplicó el procedimiento de Prosky et al. (1988), siendo un método enzimático-gravimétrico. El cual se realizó por medio del kit comercial de FDT (MEGAZYME, K-TDFR-200 A, Irlanda) y consistió en 3 etapas: digestión enzimática para eliminar componentes digeribles (proteína y almidón), filtración para separar compuestos digeribles de los no digeribles y corrección del valor de FDT con la determinación de cenizas y proteínas.

Para la primera etapa, se pesaron 500 mg de muestra por cuadruplicado en matraces Erlenmeyer de 250 mL, a cada matraz se le agregó 25 mL de buffer de fosfatos 0.08 M pH 6 y 50 μ L de α -amilasa (gelatinizar muestras). Los matraces se cubrieron con papel aluminio, se colocaron en un baño de agua (LabTech, LSB-015S, Korea) a 95 °C por 15 min, moviendo cada 5 min y se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 15 min. Después se ajustó el pH a 7.5 con NaOH 0.275 N, para agregar 50 μ L de proteasa (degradación proteína), de nuevo se cubrieron los matraces con papel aluminio, se colocaron en un baño de agua con agitación continua (LabTech, LSB-015S, Korea) durante 30 min a 60 °C y se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 15 min. Posteriormente, se añadió HCl 0.325 M para ajustar el pH entre 4 y 4.6, se añadió 50 μ L de amiloglucosidasa (hidrólisis almidón), se taparon con papel aluminio y nuevamente se colocaron en un baño de agua (LabTech, LSB-015S, Korea) con agitación continua por 30 min a 60 °C y se dejaron enfriar durante 15 min a temperatura ambiente.

Para determinar la fracción soluble e insoluble, las muestras digeridas se centrifugaron (Beckman Coulter, Allegra 25R, EUA) a 10 000 rpm por 10 min, separando el sobrenadante (fibra soluble) del sedimento (fibra insoluble), se colocaron en matraces Erlenmeyer de 250 mL y a cada uno se le agregó 4 volúmenes de etanol al 95%, dejando reposar toda la noche a temperatura ambiente para precipitar la FDT.

En la segunda etapa se filtraron las muestras utilizando crisoles Gooch #2, con una porosidad de 45 a 50 μ m y capacidad de 30 mL, los cuales previamente se llevaron a peso constante en un horno (Scorpion Scientific, A52035, EUA) a 105 °C por 1 h. Para después colocarles 250 mg de celita, llevarlos nuevamente a peso constante y distribuir la celita en el crisol, posteriormente se filtró cada precipitado resultante de la primera etapa. Se realizaron lavados con 10 mL de etanol al 78% (3 veces), 5 mL de etanol al 95% (2 veces) y 5 mL de acetona (2 veces), el residuo que quedó en los crisoles se secó en un horno (Scorpion Scientific, A52035, EUA) a 105 °C por 12 h.

En la tercera etapa, a partir del residuo seco obtenido, dos muestras se destinaron para cenizas y dos para proteínas, con el fin de corregir el valor de FDT, utilizando la ecuación 4. Los resultados se expresaron como porcentaje de FDT (% FDT).

$$\% FDT = \left[\frac{(R_{\text{residuo}} - P_{\text{residuo}} - A_{\text{residuo}}) - B}{M} \right] * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

R residuo: Peso del residuo en mg

P residuo: Peso de proteínas en mg

A residuo: Peso de cenizas en mg

B: (R blanco - P blanco - A blanco) en mg

M: Peso de la muestra en mg

7.6. Propiedades funcionales de la cáscara de aguacate

7.6.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua es la habilidad de la fibra dietética para retener cierta cantidad de agua, cuando se somete a condiciones de fuerza externa, entre ellas la centrifugación (Aguedo et al., 2012). De acuerdo con el procedimiento descrito por Sowbhagya et al. (2007) con algunas modificaciones, se pesaron 500 mg de muestra (P0) y se mezcló (manualmente) con 10 mL de agua destilada, se dejó reposar por 24 h a temperatura ambiente y se centrifugó (3000 rpm durante 20 minutos) (Hamilton Bell, VanGuard V6500, EUA). Posteriormente, se retiró inmediatamente el sobrenadante y se pesó el sedimento (P1). La capacidad de retención de agua se calculó de acuerdo a la ecuación 5:

$$CRA \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{P1 - P0}{P0} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

P0= Peso de la muestra

P1= Peso del sedimento

Los resultados fueron expresados como gramos de agua retenidos por gramo de peso seco de la muestra (g/g).

7.6.2. Capacidad de hinchamiento (CH)

Es el volumen total que adquiere la fibra después de la inmersión en agua durante un periodo de tiempo (Karaman, Yilmaz y Baris, 2017). Se pesaron 200 mg de muestra en una probeta graduada de 10 mL (V0), se agregó 10 mL de agua destilada, se mezclaron manualmente y se dejaron en reposo durante 24 h a temperatura ambiente para medir el volumen final de la muestra (V1) (Raghavendra et al., 2006). La capacidad de hinchamiento se determinó a través de la ecuación 6:

$$CH \left(\frac{mL}{g} \right) = \frac{V1-V0}{Peso\ muestra} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

V0= Volumen inicial de la muestra

V1= Volumen final de la muestra

Los resultados se expresaron como mililitros de agua por gramo de muestra (mL/g).

7.6.3. Capacidad de retención de lípidos (CRL)

Esta capacidad se relaciona con la composición química, el tamaño y el área superficial de las partículas de la fibra insoluble (Villarroel et al., 2003). La CRL se llevó a cabo con el procedimiento descrito anteriormente para CRA. Sin embargo, el agua destilada fue sustituida por aceite de girasol ("Cristal") acorde con lo descrito por Femenia et al. (2006). La capacidad de retención de lípidos se calculó con la ecuación 7 que se muestra continuación:

$$CRL \left(\frac{g}{g} \right) = \frac{P1-P0}{P0}$$

Ecuación 7

Donde:

P0= Peso de la muestra

P1= Peso del sedimento

Los resultados se reportaron como gramos de aceite retenidos por gramo de peso seco de la muestra (g/g).

7.6.4. Capacidad de retención de glucosa (CRG)

La fibra dietética soluble (alta viscosidad) tiene la capacidad de atrapar las moléculas de glucosa dentro de su red, es decir, forma una fuerte barrera lo que retarda la difusión de la glucosa (Zheng et al., 2019).

Esta determinación se realizó de acuerdo con el método descrito por Ou et al. (2001) y Chau, Huang y Lee (2003). Se preparó una solución de DNS (ácido 3,5 dinitrosalicílico), para la cual se calentaron 80 mL de agua a 35 °C en un matraz aforado de 100 mL. Posteriormente se agregó 1 g de DNS, 1 g de NaOH, 20 g de tartrato de sodio y 0.05 g de metabisulfito de sodio, cada reactivo se añadió por separado hasta su disolución. Cuando la mezcla llegó a 50 °C se adicionó 0.2 g de fenol, se aforó a 100 mL y se dejó en ebullición 1 min, finalmente se enfrió a temperatura ambiente y se almacenó por 16 h a 4 °C hasta su uso.

Para la curva patrón (Anexo 1) se preparó una solución de glucosa (concentración 10 g/L), pesando 0.25 g de glucosa en 25 mL de agua destilada, de la cual se realizaron las diluciones 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 mg/mL (glucosa/agua destilada), y se les aplicó la técnica de azúcares reductores acorde con lo descrito por Miller (1959). La cual consistió en tomar 30 µL de cada concentración, añadirle 180 µL de DNS, homogeneizar en un vórtex y colocar a ebullición 15 min, dejar enfriar y agregar 1230 µL de agua destilada, para leerlo a 540 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA). Se usó agua destilada como blanco (tratado con la técnica de azúcares reductores).

Para las muestras se pesó 250 mg en tubos de centrífuga de 15 mL, se añadieron 10 mL de solución glucosada (concentrada a 0.5 g de glucosa en 100 mL de agua destilada) y un blanco (250 mg de muestra con 10 mL de agua destilada), se homogeneizaron en un vórtex. Posteriormente, la mezcla se mantuvo en una incubadora (Labtech, LSI-3016A, Korea) con agitación a 100 rpm por 6 h a 37 °C y se centrifugó (Hamilton Bell, VanGuard V6500, EUA) a 3500 rpm por 15 min. Al sobrenadante se le aplicó la técnica de azúcares reductores, anteriormente descrita. Los resultados fueron expresados como miligramos de glucosa retenidos por gramo de peso seco de la muestra (mg/g).

7.7. Análisis semicuantitativo del contenido de minerales

La cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula se colocó sobre una cinta de granito de doble cara, recubierta con una capa delgada de oro (espesor de 1 mm) y colocada en una máquina ionizadora (Denton Vacuum Desk V, Moorestown, EUA), a una presión de 20 millorr y una corriente de 20 mA durante 4 min. Y se analizó en un Microscopio Electrónico de Barrido con un alcance de 300 000 magnificaciones y una resolución de 30 KV (JEOL, JSM-6300, EUA), en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. El contenido de minerales (magnesio, fósforo, potasio, calcio y hierro) en las muestras se reportó en porcentaje (%).

7.8. Extracción de antioxidantes con solventes orgánicos

Previo a la determinación de compuestos con capacidad antioxidante (fenólicos totales (CFT), ácido ascórbico (AA), antocianinas), se realizó una extracción acuosa - orgánica (Saura-Calixto, Serrano y Goñi, 2007). Se pesaron 250 mg de muestra, se agregaron 10 mL de metanol/agua (50:50 v/v), se agitaron a 300 rpm durante 30 min y centrifugaron (Hamilton Bell, VanGuard V6500, EUA) a 3400 rpm por 20 min. El sobrenadante obtenido se reservó y al precipitado se le agregaron 10 mL de acetona/agua (70:30 v/v) y se llevó a cabo el procedimiento anteriormente descrito.

Finalmente, los sobrenadantes obtenidos fueron mezclados y aforados a 25 mL con metanol/agua y acetona/agua (50:50 v/v).

7.8.1. Contenido de compuestos antioxidantes

7.8.1.1. Compuestos fenólicos totales (CFT)

El método de Folin-Ciocalteu cuantifica los compuestos fenólicos totales (CFT), los cuales reaccionan con el reactivo de Folin-Ciocalteu a pH básico, este contiene una mezcla de wolframato sódico y molibdato sódico en ácido fosfórico, formando el ácido fosfomolibdotúngstico de color amarillo, el reactivo es reducido por los grupos fenólicos originándose el color azul, permitiendo medir el contenido de fenoles a través del espectrofotómetro (Cicco et al., 2009).

De acuerdo con el método descrito por Stintzing et al. (2005), se prepararon los siguientes reactivos: carbonato de sodio al 7.5%, solución de folin-ciocalteu 1:10 y ácido gálico (7.5 mg en 25 mL de agua destilada).

Posteriormente se realizó una curva patrón (Anexo 2) a las concentraciones 0, 100, 200 y 300 mg/L con ácido gálico y agua destilada. Después se aplicó la técnica tomando 100 µL de cada concentración, se adicionó 500 µL de folin-ciocalteu y 400 µL de carbonato de sodio. La mezcla se homogeneizó en un vórtex y se dejó en reposo por 30 min, para ser leída en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA) a 765 nm, utilizando como blanco agua destilada.

A 100 µL de las muestras se les aplicó la misma técnica. Los resultados se expresaron como miligramos Equivalentes de Ácido Gálico en 100 gramos en base seca (mg EAG/100 g bs).

7.8.1.2. Determinación de ácido ascórbico (AA)

La técnica consiste en una reacción de óxido-reducción entre el ácido ascórbico y el DCPI (2,6-diclorofenolindofenol), el ácido ascórbico presente en la muestra se oxida a

ácido dehidroascórbico, mientras que el DCPI se reduce y gana dos átomos de hidrógeno que pierde cada molécula de ácido ascórbico, provocando un cambio de color de azul intenso a rosa (Gökmen et al., 2000).

Para la determinación de ácido ascórbico se usó el DCPI (3 mg en 250 mL de agua destilada), ácido oxálico al 4%, ácido ascórbico (5 mg en 100 mL de agua destilada) y solución amortiguadora (3 g de acetato de sodio, 7 mL de agua destilada y 10 mL de ácido acético glacial).

Se realizó una curva patrón (Anexo 3) con ácido ascórbico disuelto en ácido oxálico, a las concentraciones de 0, 10, 20, 30, 40 y 50 mg/L. Se aplicó la técnica tomando 100 μ L de muestra, se añadió 100 μ L de la solución amortiguadora y 800 μ L de DCPI. Para ser leídas en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA) a 520 nm usando como blanco al ácido oxálico (Dürüst, Sümengen y Dürüst, 1997). Los resultados se expresaron como miligramos Equivalentes de Ácido Ascórbico en 100 gramos en base seca (mg EAA/100 g bs).

7.8.1.3. Contenido de antocianinas

La cuantificación espectrofotométrica de las antocianinas se realiza por el método diferencial de pH, el cual identifica las antocianinas monoméricas a través del cambio de color que depende del pH del medio, es decir, será incoloro a pH 4.5 y coloreado (tono rojizo) a pH 1.0 (Lee, Durst y Wrolstad, 2005).

De acuerdo con la metodología descrita por Giusti y Wrolstad (2001), se prepararon dos soluciones buffer: cloruro de potasio 0.025 M, pH 1.0 y acetato de sodio 0.4 M, pH 4.5, a ambos reactivos se les ajustó el pH con HCl 6 M. Posteriormente en un tubo de centrífuga de 15 mL, se agregó 4.5 mL de cloruro de potasio y otro con 4.5 mL de acetato de sodio, para después añadir 0.5 mL de muestra. La mezcla se homogeneizó en un vórtex, se dejó en reposo por 15 min en oscuridad absoluta a temperatura ambiente. Finalmente se leyó a 510 y 700 nm en un lector de microplacas (Power

Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA), utilizando como blanco cloruro de potasio o acetato de sodio, según sea el caso.

El contenido de antocianinas se calculó con la ecuación 8:

$$\text{Contenido de antocianinas} \left(\frac{\text{mg}}{100 \text{ g}} \right) = \frac{(A * PM * FD * 1000)}{(E * Tp)} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

A= Absorbancia de la resta entre los valores (510 y 700 nm) de acetato de sodio y de cloruro de potasio

PM= Peso molecular de Cianidina-3-glucósido (449.2 g/mol)

FD= Factor de dilución (1:10)

E= Coeficiente de absorbancia molar (26900 L mol⁻¹ cm⁻¹)

Tp= Longitud del recorrido del pozo de la microplaca (0.52 cm)

Los resultados se expresaron como miligramos de Cianidina-3-glucósido por cada 100 gramos en base seca (mg Cy3GI/100 g bs).

7.8.2. Capacidad antioxidante

7.8.2.1. ABTS^{•+}

La reacción entre ABTS (2,2'-azinobis [ácido 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]) y persulfato de potasio origina la producción del radical catión ABTS^{•+} verde-azul, por lo tanto, la adición de antioxidantes al radical preformado provoca su reducción a ABTS, por lo que el grado de decoloración es influido por la concentración del antioxidante y el tiempo de reacción (Re et al., 1999).

La determinación de ABTS se llevó a cabo según Kuskoski et al. (2005), donde el radical catión ABTS^{•+} se formó de la reacción entre ABTS (76.8 mg en 20 mL de agua destilada) 7 mMol y persulfato de potasio (6.6 mg en 10 mL de agua destilada) 2.45 mMol, en condiciones de absoluta oscuridad a temperatura ambiente durante 16 h.

Posteriormente, la mezcla se diluyó en agua destilada hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.1 , a 754 nm.

Para la curva estándar (Anexo 4), se pesaron 3 mg de ácido ascórbico, se diluyeron en 10 mL de agua destilada y se realizaron las siguientes concentraciones: 0, 5, 10, 20, 30, 40 y 50 mg/L. Se tomaron 20 μ L de cada concentración y se añadió 980 μ L de ABTS, se homogeneizaron en un vórtex y se dejaron reposar por 7 min, para leerse a 754 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA). Se usó agua destilada como blanco.

La técnica anteriormente descrita, fue aplicada a las muestras. Los resultados se expresaron como miligramos de Equivalentes de Ácido Ascórbico en 100 gramos en base seca (mg EAA/100 g bs).

7.8.2.2. DPPH•

El radical DPPH• (2,2'-difeníl-1-picrilhidrazilo), se reduce al aceptar un electrón o un átomo de hidrógeno presente en la molécula antioxidante y forma una molécula más estable, provocando un cambio en la coloración (de violeta a amarillo), mientras mayor sea la capacidad de capturar el radical libre, mayor será la reducción del DPPH y se observará la pérdida del color (Mishra, Ojha y Chaudhury, 2012).

De acuerdo con Morales y Jiménez-Pérez (2001), se prepararon los reactivos: Trolox (3.75 mg en 50 mL de etanol) y DPPH (7.4 mg en 100 mL de etanol). Se realizó una curva patrón (Anexo 5) con Trolox a las concentraciones 0, 50, 100, 200 y 300 μ mol/L. Se aplicó la técnica, tomando 100 μ L de cada concentración y se agregaron 500 μ L de DPPH, se agitaron en un vórtex, se dejaron en reposo una hora y fueron leídas a 520 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA). Se usó etanol como blanco. A las muestras se le aplicó la misma técnica y los resultados se expresaron como micromol Equivalentes de Trolox en 100 gramos en base seca (μ mol ET/100 g bs).

7.8.2.3. FRAP

El ensayo FRAP por sus siglas en inglés (Ferric Reducing Antioxidant Power), consiste en la reducción de la forma férrica (Fe^{+3} -TPTZ) del compuesto hierro-2,4,6-tripiridyl-1,3,5-triazina a su forma ferrosa (Fe^{+2} -TPTZ) de color azul intenso, en presencia de antioxidantes y bajo condiciones ácidas (pH 3.6). El pH ácido permite mantener la solubilidad del hierro, además, minimiza el potencial de ionización que provoca la transferencia de hidrógeno, pero aumenta el potencial redox (Prior, Wu y Schaich, 2005).

Se usaron los siguientes reactivos: el reactivo de FRAP 10:1:1, que está constituido por acetato de sodio anhidro 0.3 M a un pH de 3.6 ajustado con ácido acético, TPTZ (diluido en HCl 40 mM) y cloruro férrico 20 mM. Para la curva patrón (Anexo 6) se utilizó sulfato ferroso 5 mM (diluido en HCl 40 mM), a las concentraciones 0, 10, 20, 30, 40 y 50 $\mu\text{mol/L}$. A las concentraciones de la curva y las muestras se les aplicó la técnica, tomando 30 μL de cada una, después se añadió 90 μL de agua destilada y 900 μL del reactivo de FRAP, se agitaron en un vórtex y se introdujeron en un baño de agua (Lumistell, IH-6L, EUA) a 37 °C durante 10 min. Para finalizar fueron leídas en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA) a 593 nm, siendo agua destilada el blanco (Thaipong et al., 2006). Los resultados se expresaron como micromol de Fe^{+2} en 100 gramos en base seca ($\mu\text{mol Fe (II)}/100 \text{ g bs}$).

7.8.2.4. Actividad quelante (% AQ)

La ferrozina forma complejos con el hierro en su forma ferrosa (Fe^{2+}), los cuales en presencia de agentes quelantes, son reducidos y se obtiene un cambio en el color rojo característico del complejo, lo que permite cuantificar la actividad quelante (Gulcin, Buyukokoroglu y Kufrevioglu, 2003a).

Se prepararon las siguientes soluciones: cloruro férrico II tetrahidratado 2 mM, ferrozina 5 mM y EDTA 0.1 M. Por triplicado se añadió 100 μL de agua destilada y otro

triplicado con 100 μ L de EDTA, para posteriormente agregar 50 μ L de cloruro férrico y 450 μ L de etanol. La mezcla se homogeneizó en un vórtex y se dejó reposar por 5 min para después adicionar 400 μ L de ferrozina, se agitó y se dejó reposar durante 10 min. La mezcla fue leída a 562 nm en un lector de microplacas (Power Wave XS UV-Biotek, Software Gen5 v. 2.09, EUA), utilizando agua destilada como blanco. El EDTA y el agua fueron sustituidos por las muestras, aplicando la técnica anteriormente descrita (Gulcin et al., 2003b). El porcentaje de actividad quelante (% AQ) se calculó con la ecuación 9:

$$\% AQ = \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

A0= Absorbancia de la muestra control (Agua)

A1= Absorbancia de la muestra (EDTA)

7.9. Bioaccesibilidad *in vitro* de antioxidantes

La bioaccesibilidad *in vitro* es la cantidad de un componente alimentario presente en el intestino, proveniente de la liberación de la matriz alimentaria sólida y que tiene la capacidad para atravesar la barrera intestinal (Palafox-Carlos, Ayala-Zavala y González-Aguilar, 2011). Se utilizó el modelo de digestión *in vitro* descrito por Trinidad, Wolever y Thompson (1996), con algunas modificaciones (Ramírez-Moreno et al., 2018), que consiste en una fase inicial de simulación de digestión intraluminal, seguida por una fase de diálisis que simula la absorción intestinal.

Se pesaron 500 mg de la muestra liofilizada en tubos de centrífuga de 50 mL, se agregó 20 mL de agua destilada, se vortearon y se ajustó el pH a 2 con HCl 6 M. Después se adicionaron 120 μ L de pepsina (40 mg en 1 mL de HCl 0.1 M), se agitó en un vórtex y colocaron en una incubadora (Labtech, LSI-3016A, Korea) con agitación a 60 rpm por 2 h a 37 °C.

Posteriormente se añadió 1.5 mL de disolución bilis-pancreatina (5 mg de pancreatina, 12.5 mg de colato de sodio y 12.5 mg de desoxicolato de sodio en 1 mL de NaHCO₃ 0.1M) y se homogeneizó en un vórtex. La mezcla se colocó en membranas de diálisis (previamente sumergidas en agua destilada a ebullición, para su ablandamiento y fácil manipulación) tamaño de corte 12 kDa y se dializaron en una solución de NaHCO₃ (0.025 M a pH 7) para ser incubadas (Labtech, LSI-3016A, Korea) en agitación lenta (60 rpm) durante 16 h a 37 °C.

Finalmente, la fracción bioaccesible (aquella que atravesó la membrana de diálisis) se almacenó para determinar compuestos antioxidantes (fenoles totales, ácido ascórbico y antocianinas) y su capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP y actividad quelante), acorde con las metodologías descritas en los apartados 7.8.1 y 7.8.2, respectivamente. La bioaccesibilidad intestinal de los compuestos y su actividad antioxidante de las muestras, se determinó como la diferencia de sus parámetros antes (muestra original) y después de la digestión *in vitro*.

7.10. Análisis estadístico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar (DE) y fueron analizados mediante el modelo unidireccional de varianza (ANOVA). Las diferencias entre las medias se compararon mediante una prueba Tukey a un nivel de significancia de $p < 0.05$. Además, se realizó una correlación de Pearson entre la capacidad antioxidante (ABTS, DPPH y FRAP) y los compuestos antioxidantes en la muestra original y su fracción bioaccesible, así como entre las propiedades funcionales y el contenido de fibra dietética. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 25.0 para Windows.

8. Resultados y discusión

8.1. Caracterización fisicoquímica

8.1.1. pH

Los valores de pH obtenidos en la cáscara de aguacate Hass se observan en la Figura 3. Las muestras presentaron cifras entre 5.73 ± 0.01 y 5.80 ± 0.02 . La cáscara a tamaño de $850 \mu\text{m}$ mostró un pH de 5.80 ± 0.02 , siendo el valor más alto significativamente ($p < 0.05$) en relación con las demás muestras.

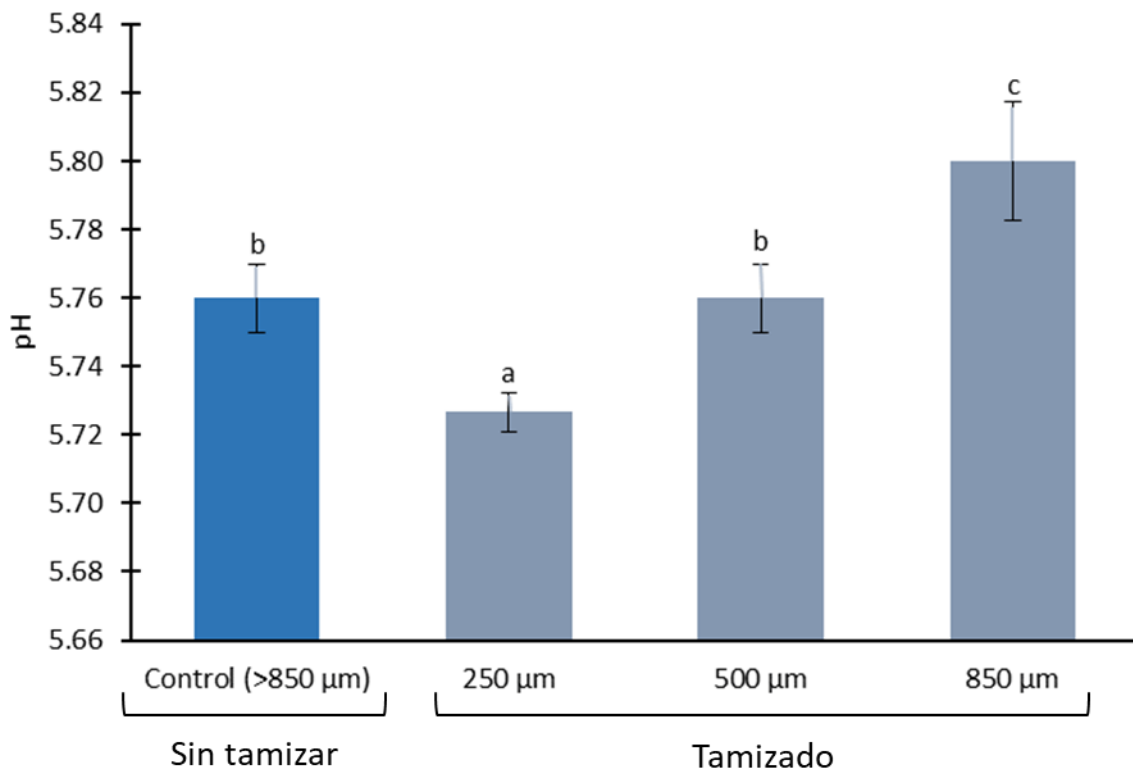


Figura 3. Valores de pH en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. ^{a-c} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

En comparación con otras matrices de alimentos, Romo-Zamarrón et al. (2020), reportaron que la cáscara de papaya liofilizada, con tamaño de partícula mayor a $300 \mu\text{m}$, obtuvieron un pH de 4.4, mientras que a tamaños de entre 180 y $250 \mu\text{m}$ un valor

de pH de 4.1. Estos resultados mostraron una tendencia similar a los de la presente investigación. La disminución del pH con la disminución del tamaño de partícula, se podría atribuir por la cantidad de ácidos orgánicos que disminuyen el pH (Corona, Hernández-Martínez y Meza-Márquez, 2019), los cuales podrían separarse de los componentes a los que se encuentren unidos, por la fractura de la estructura de la fibra ocasionada por la molienda.

8.1.2. Sólidos solubles totales (SST)

En la Figura 4 se presentan los valores de SST en la cáscara de aguacate. La muestra tamizada a 250 μm arrojó la cifra más alta con 4.33 ± 0.12 °Brix, respecto a las otras cáscaras, mientras que en la muestra control se identificó el valor más bajo ($p < 0.05$) con 2.13 ± 0.06 °Brix.

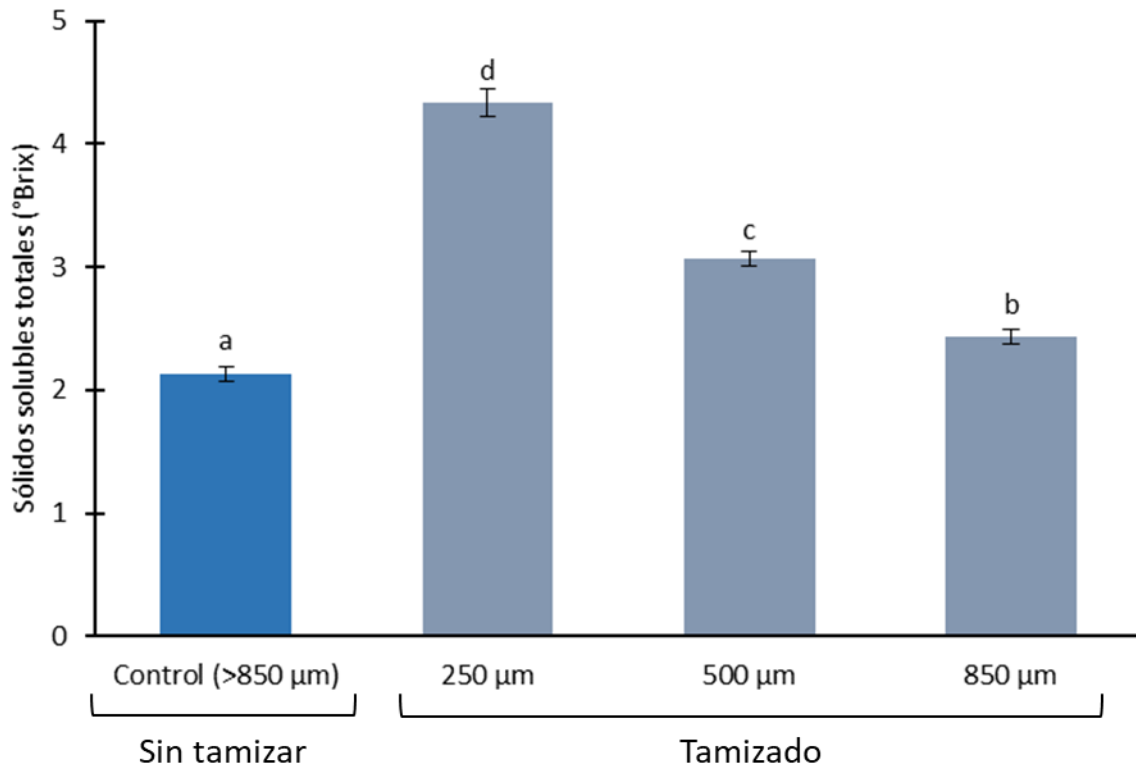


Figura 4. Valores de sólidos solubles totales (°Brix) en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. ^{a-d} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

No fue posible comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con otros estudios, por las diferencias en el tratamiento térmico al que fue sometida la matriz alimentaria. Sin embargo, la disminución del tamaño de partícula provocada por la molienda, contribuye con el aumento en la liberación de los SST por la ruptura de la estructura de la fibra, lo que podría estar explicado por la mayor exposición (accesibilidad) de la superficie interna de la cáscara a los solventes (agua) (Figuroa et al., 2018).

8.1.3. Color

Los parámetros de color en la cáscara de aguacate se aprecian en la Tabla 1 y los valores obtenidos en las coordenadas L^* , a^* y b^* fueron tomados como referencia para

introducirlos al calculador de color EasyRGB (2023), con el fin de percibir objetivamente la coloración del pigmento de cada muestra, obteniéndose diferentes tonalidades verdes (Figura 5).

Tabla 1. Parámetros de color en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula

Coordenadas	Control (>850 μm)	Tamaño de partícula		
		250 μm	500 μm	850 μm
L^*	39.26 \pm 1.13 ^a	50.98 \pm 0.58 ^d	44.44 \pm 0.36 ^c	41.49 \pm 0.09 ^b
a^*	-2.38 \pm 0.08 ^c	-4.86 \pm 0.14 ^a	-3.86 \pm 0.06 ^b	-4.55 \pm 0.22 ^a
b^*	23.58 \pm 0.61 ^a	30.46 \pm 0.28 ^d	29.12 \pm 0.07 ^c	27.36 \pm 0.12 ^b
h°	96.01 \pm 0.76 ^a	99.06 \pm 0.22 ^b	97.08 \pm 0.72 ^a	99.37 \pm 0.43 ^b
C^*	23.71 \pm 0.57 ^a	30.85 \pm 0.29 ^d	29.34 \pm 0.03 ^c	27.83 \pm 0.58 ^b
ΔE	—	13.85 \pm 1.03	7.79 \pm 0.35	4.98 \pm 0.41

^{a-d} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

Se observa que el parámetro de L^* obtuvo cifras entre 39.26 y 50.98, mientras que la coordenada a^* entre -2.38 y -4.86 y la coordenada b^* entre 23.58 y 30.46. El comportamiento en las coordenadas L^* y b^* , así como en la pureza fue inversamente proporcional al tamaño de partícula de todas las cáscaras. Es decir, que a menor tamaño de partícula, existió un aumento en los valores de estos parámetros.

La luminosidad (L^*) de las muestras disminuyó significativamente al aumentar el tamaño de partícula, por lo tanto todas fueron diferentes ($p < 0.05$). Aunque la cáscara tamizada a 250 μm presentó el dato más alto con 50.98 \pm 0.58. En la coordenada a^* ,

todas las muestras se situaron en el eje del color verde, la cáscara control mostró el valor más alto ($p < 0.05$) con -2.38 ± 0.08 . Mientras que para la coordenada b^* , a menor tamaño de partícula, las cáscaras se aproximaron al color amarillo, siendo la muestra tamizada a $250 \mu\text{m}$ el que tuvo la cifra más alta (30.46 ± 0.28) significativamente.

En la cáscara de aguacate tamizada a $500 \mu\text{m}$, el valor de la coordenada a^* fue menor, mientras que en los parámetros L^* y b^* fue mayor a lo reportado por Zafra-Rojas et al. (2018) y Monter-Arciniega et al. (2019), en residuo de zarzamora y tuna púrpura, respectivamente. Para *hue* (h°) o tonalidad, las cáscaras presentaron un rango entre 96.01 y 99.37, ubicándose entre los ángulos 90 y 180° indicando tonalidades amarillas. Por otro lado, el nivel de pureza o croma (C^*) aumentó al disminuir el tamaño de partícula de las muestras, con cifras entre 23.71 y 30.85. Los valores de h° y C^* de la cáscara de aguacate (tamaño de $500 \mu\text{m}$) fueron mayores comparados con otros residuos como el de zarzamora (Zafra-Rojas et al., 2018) y tuna púrpura (Monter-Arciniega et al., 2019). La diferencia en los parámetros de color con los estudios reportados (zarzamora y tuna púrpura) podría deberse a las condiciones precosecha (altura, fertilizantes y poda), climáticas (condiciones hídricas) y de almacenamiento (temperatura y humedad relativa) del aguacate (Benitez et al., 2021). En la etapa de maduración del aguacate, se lleva a cabo un proceso de despolimerización de polisacáridos que se encuentran presentes en la pared celular de la cáscara, provocando modificaciones en su estructura, firmeza y color, y estos son parámetros para valorar la calidad del producto (Tochihuitl-Martíñón et al., 2018). Los cambios que sufre la cáscara de aguacate de verde a púrpura acordes con la etapa de maduración, indican la degradación de la clorofila que se ve reflejada en la pérdida del color verde (Xoca-Orozco et al., 2019; Olivares et al., 2020).

Respecto a la diferencia de color (ΔE) tomando como referencia la muestra control, a menor tamaño de partícula hubo una diferencia evidente (Tabla 1). De acuerdo con Mokrzycki y Tatol (2011), la diferencia con un valor < 2 sólo puede ser percibida por una persona experimentada y cuando es ≥ 5 cualquier persona puede distinguir dos colores distintos.

En las muestras a tamaño de 250 y 500 μm , presentaron valores > 5 con respecto a la cáscara control, por lo que es posible apreciar visualmente que son diferentes a la muestra control. Mientras que la muestra tamizada a 850 μm , la diferencia fue ligeramente < 5 , por lo que la muestra control con la de tamaño de partícula a 850 μm , se podrían percibir como similares (Figura 5A y 5D).

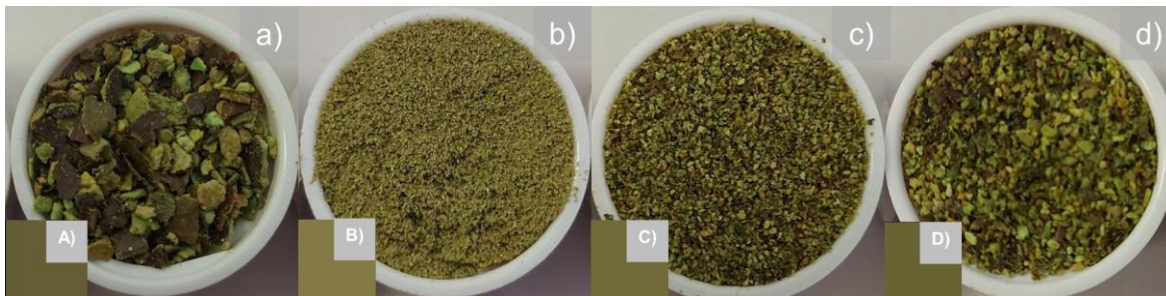


Figura 5. Color obtenido de la cáscara de aguacate. a) Control (sin tamizar, $>850 \mu\text{m}$), b) 250 μm , c) 500 μm y d) 850 μm .

La disminución del tamaño de partícula podría mejorar la estabilidad y tonalidad de los pigmentos que se encuentran en los alimentos, debido a que hay una mayor exposición de la superficie que aumenta la absorción y la dispersión de la luz (Li et al., 2019).

Por otro lado, en la Figura 5, es posible detectar una diferencia entre los colores captados por la cámara (a-d) (percibidos por el ojo humano) y los proporcionados por el calculador de color (A-D). Se aprecia que la Figura 5b (250 μm), es la que presentó más luminosidad en comparación con las demás muestras, resultado que se refleja en las imágenes obtenidas por las herramientas utilizadas, esto coincide con el resultado del parámetro de L^* presentado en la Tabla 1.

Aunque la diferencia de color (ΔE) percibida subjetivamente por cada individuo, depende de varios factores, por ejemplo, el sistema visual del observador (fisiología), la experiencia adquirida de la observación de otros objetos, así como también la iluminación que recibe el objeto (entorno) (Karma, 2020).

8.2. Contenido de fibra dietética total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI)

El contenido de fibra dietética en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula se aprecia en la Tabla 2. Se observa que la muestra no tamizada obtuvo significativamente el mayor porcentaje de fibra total (76.71 %), así como la fracción insoluble (73.95 %). Mientras que la fracción soluble de la cáscara a tamaño de 250 μm , presentó el porcentaje más alto ($p < 0.05$) con 4.91 % en relación a las otras muestras. Lo anterior puede ser debido a la degradación de la hemicelulosa, celulosa y lignina, ocasionada mecánicamente por la molienda, provocando una redistribución en la fracción soluble (Zhu, Du y Xu, 2015; Liu et al., 2016).

Tabla 2. Contenido de fibra dietética en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula

Fibra dietética (%)	Tamaño de partícula (μm)			
	Control (>850 μm)	250	500	850
Total	76.71 \pm 2.04 ^c	44.24 \pm 0.83 ^a	53.91 \pm 0.42 ^b	53.42 \pm 1.31 ^b
Soluble	2.75 \pm 0.24 ^a	4.91 \pm 0.15 ^b	2.69 \pm 0.24 ^a	2.40 \pm 0.24 ^a
Insoluble	73.95 \pm 2.03 ^c	39.33 \pm 0.75 ^a	51.22 \pm 0.22 ^b	51.02 \pm 1.22 ^b

^{a-c} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

En base a lo evaluado por Zafra-Rojas et al. (2018), el contenido de FDT y FDI en residuo de zarzamora evaluado a tamaño de partícula de 500 μm fue menor (44.26 \pm 0.09 y 38.35 \pm 0.39 %, respectivamente), pero mayor en FDS (5.90 \pm 0.52 %), con respecto a la cáscara de aguacate del mismo tamaño de partícula del presente trabajo. La diferencia en los resultados podría ser por distintos factores como la variedad de la

matriz alimentaria, así como el clima y el suelo a los que estuvo expuesta (Serna y Torres, 2015).

Es importante mencionar que el grado de solubilidad de la fibra dietética, es un predictor de su viscosidad, de la fermentación por las bacterias gastrointestinales y también está relacionado con las propiedades funcionales como la capacidad de retención de agua y glucosa CRA (Chawla y Patil, 2010), entre otras. Por lo tanto, el efecto que ejerce la fibra soluble es debido a la formación de una capa viscosa que atrapa las moléculas de lípidos, evitando que entren en contacto con las sales biliares, lo que disminuye el metabolismo de los lípidos y estos sean excretados previniendo la aparición de hiperlipidemia (McRorie y McKeown, 2017; Gan et al., 2020). Un mecanismo similar ocurre con la glucosa, la cual también es atrapada en el retículo formado por la FS y por lo tanto se inhibe la acción de la α -amilasa, regulando los niveles de glucosa en sangre (Dhital et al., 2014; Lattimer y Haub, 2010). La reducción de colesterol se debe a la unión entre la fibra soluble y los ácidos biliares, los cuales no son reabsorbidos y por lo tanto, el hígado usa el colesterol endógeno con el fin de reponer la reserva de ácidos biliares (Capuano, 2017). Además, la FS es el sustrato principal para la fermentación microbiana, reduciendo el riesgo de cáncer de colon (Barber et al., 2020). Por otro lado, la fibra insoluble aumenta el volumen de las heces y la masa fecal, disminuyendo el tiempo de tránsito intestinal y previniendo el estreñimiento por el ablandamiento de las heces (Eswaran, Muir y Chey, 2013; Ho et al., 2012).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se recomienda que los adultos mujeres y hombres, consuman fibra dietética de 25 y 38 g/día, respectivamente (Vilcanqui, Villanueva y Vílchez, 2018). Por lo tanto, 3.3 g, 5.7 g, 4.7 g y 4.7 g de la cáscara de aguacate control, a 250, 500 y 850 μ m, respectivamente, aportarían el 10 % del requerimiento en las mujeres, mientras que para los hombres serían 5 g, 8.6 g, 7.1 g y 7.2 g, respectivamente.

Finalmente, para que la fibra pueda considerarse como una opción de ingrediente alimentario y además ejerza un efecto positivo en la salud debido a sus propiedades funcionales, la proporción entre las fracciones soluble e insoluble debe de ser 1:2, respectivamente (Borchani et al., 2012; García-Amezquita et al., 2018; De Alba y Girón, 2022).

8.3. Propiedades funcionales de la cáscara de aguacate

8.3.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua en la cáscara de aguacate se realizó a diferentes tamaños de partícula y se observa en la Figura 6. Las muestras presentaron un rango entre 5.24 ± 0.18 y 6.98 ± 0.34 g/g. Las cáscaras tamizadas a 250 y 850 μm , fueron mayores significativamente ($p < 0.05$) con 6.73 ± 0.20 y 6.98 ± 0.34 g/g, respectivamente, en comparación con las otras muestras. Mientras que la cáscara a tamaño de 500 μm tuvo el valor más bajo (5.24 ± 0.18 g/g).

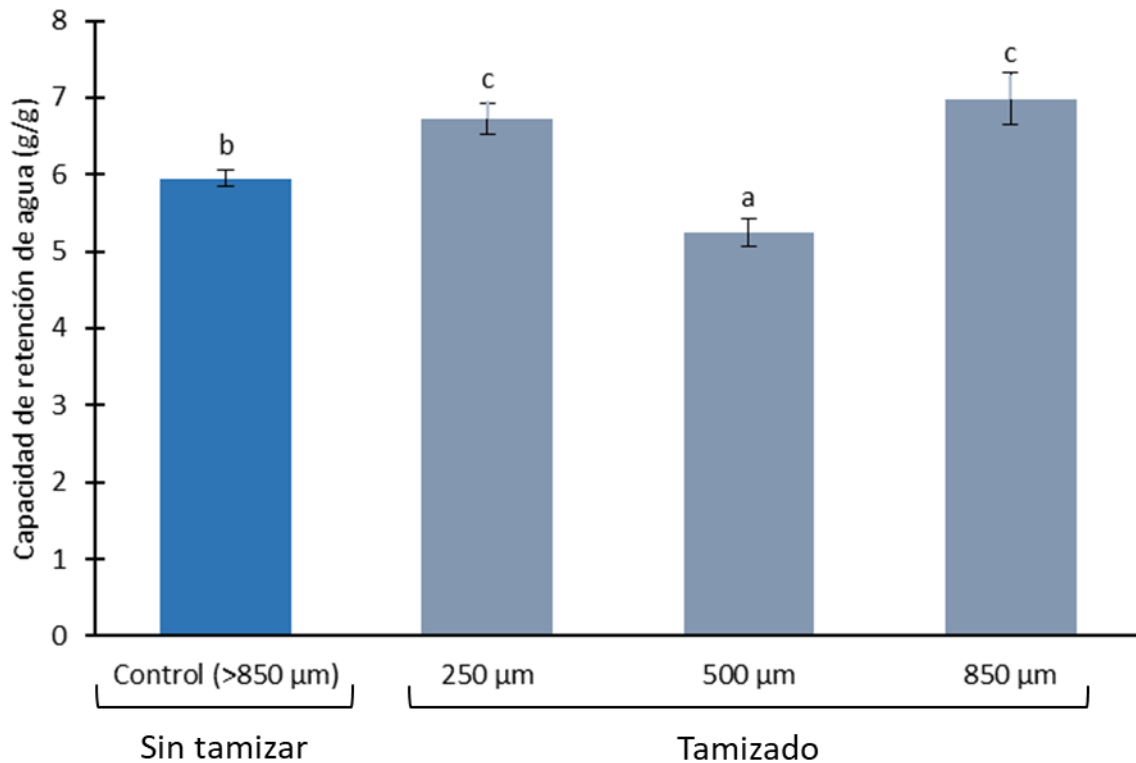


Figura 6. Capacidad de retención de agua (g/g) de la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. ^{a-c} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

Hasta el momento, no existe evidencia científica sobre las propiedades funcionales de la fibra en la cáscara de aguacate. Sin embargo, comparando con la cáscara de papa liofilizada a tamaño de partícula cercano a 500 μm (425 μm), la capacidad para retener agua fue menor (aproximadamente 4.8 g/g) (Ma et al., 2022). La alta CRA en la cáscara de aguacate con un tamaño de 250 μm estaría explicado por su elevado contenido de fibra soluble (ver Tabla 2), que posiblemente originó un retículo que atrapó el agua (Elleuch et al., 2011). Mientras que en la muestra tamizada a 850 μm , probablemente se debió a su estructura con alta porosidad dada por la fibra insoluble. Lo anterior es porque la fibra dietética tiene la capacidad de retener moléculas de agua, de manera intracelular (fibra soluble) por medio de puentes de hidrógeno y extracelularmente por la porosidad de su estructura de red (fibra insoluble) que atrapa el agua (Marc, MSc y Facn, 2018; Xie et al., 2017).

La CRA es una propiedad importante en el aspecto fisiológico ya que impacta en la salud humana, puesto que una elevada retención de agua dada por la fibra de tipo insoluble aumenta el volumen de las heces, mejora la consistencia, la velocidad de defecación, además de disminuir el tiempo de retención de residuos alimentarios en el tracto gastrointestinal, previniendo enfermedades intestinales como el estreñimiento, hemorroides, fisuras, divertículos y cáncer de colon (Gill et al., 2020; McRorie y McKeown, 2017; Xiao et al., 2021; Fuller et al., 2016), entre otros. Las fibras solubles que presentan una alta CRA, estimulan la distensión abdominal produciendo una sensación de saciedad (Suarez y Ford, 2011; Christodoulides et al., 2016).

Por otro lado esta propiedad también posee importancia tecnológica, ya que las fibras con una alta CRA provenientes de residuos vegetales, podrían ser útiles para evitar la sinéresis, modificar la viscosidad y textura en la formulación de alimentos (Elleuch et al., 2011). Lo anterior, debido a que durante la preparación y/o transformación de los alimentos, la fibra tiene la capacidad para unirse al agua (Martínez-Girón, Osorio y Ordoñez-Santos, 2021). En la elaboración de productos cárnicos se ha observado que la fibra no sólo mejora la CRA, sino también la estabilidad de la emulsión y su textura, reemplazando la grasa y proporcionando un sabor neutro (Mehta et al., 2015). Por lo tanto, los resultados de CRA obtenidos en la cáscara de aguacate del presente estudio, podría ser una alternativa de aditivo natural en la formulación de estos alimentos.

8.3.2. Capacidad de hinchamiento (CH)

Los valores obtenidos en la capacidad de hinchamiento de la cáscara de aguacate se encuentran en la Figura 7. Las muestras estuvieron en un intervalo entre 3.00 ± 0.00 y 3.83 ± 0.29 mL/g. La cáscara con tamaño de $250 \mu\text{m}$ presentó 3.83 ± 0.29 mL/g, siendo mayor ($p < 0.05$) con respecto a la muestra tamizada a $850 \mu\text{m}$ (3.00 ± 0.00 mL/g). Cabe mencionar que se observó una correlación positiva ($r = 0.77$) entre la CH y el contenido de fibra soluble, ya que los valores de ambos parámetros estuvieron elevados (Figura 7 y Tabla 2).

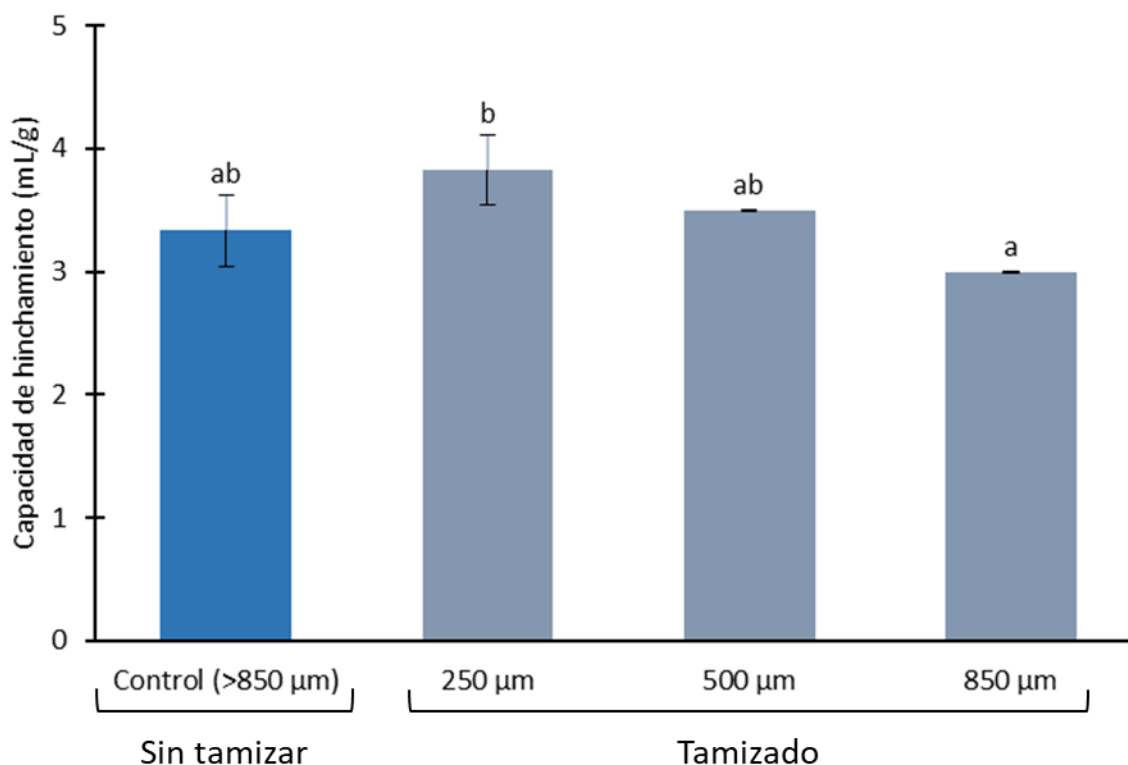


Figura 7. Capacidad de hinchamiento (mL/g) en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. ^{a-b} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

En un residuo de papa liofilizado, molido y tamizado a 425 μm , mostró valores de aproximadamente 3.5 mL/g (Ma et al., 2022), presentando un resultado similar a la cáscara tamizada a 500 μm de esta investigación.

Los resultados del presente estudio coinciden con lo reportado por Nakamura et al. (2016) y Park y Floch (2007), ya que mencionan que la capacidad que tienen las fibras para hinchar, está relacionado con el contenido de fibra dietética soluble. Este comportamiento se debe a que esa fibra aumenta la viscosidad del medio por la interacción del agua con su estructura (Ma y Mu, 2016). Por lo tanto, a menor tamaño de partícula y con más área de superficie específica, mejora la CH (Yu et al., 2018; Zheng y Li, 2018).

En el aspecto fisiológico, esta propiedad provoca una sensación de saciedad lo que conlleva a una disminución del consumo de alimentos, por el aumento de la viscosidad de las fibras solubles, la cual enlentece el vaciado gástrico e incrementa su distensión (mediante la estimulación de los receptores de tensión de la pared estomacal), siendo auxiliar en la prevención de sobrepeso y obesidad (Vilcanqui-Pérez y Vílchez-Perales, 2017; Vilcanqui, Villanueva y Vílchez, 2018). Durante la fermentación de este tipo de fibras, se producen ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (butirato, propionato y acetato) que están implicados en la prevención de cáncer de colon, inhibiendo la histona deacetilasa y la señalización de las células cancerosas y promoviendo la apoptosis de estas últimas (Chen y Vitetta, 2018). Así como en la CRA, en el área tecnológica la CH proporciona textura, viscosidad y volumen a los alimentos (Elleuch et al., 2011). Por lo que la cáscara de aguacate a 250 μm podría ser una alternativa para aplicarse en el área tecnológica, por sus buenas propiedades de hidratación (CRA y CH), las cuales además aportarían efectos benéficos a la salud.

8.3.3. Capacidad de retención de lípidos (CRL)

En la Figura 8 se aprecian los resultados de la capacidad de retención de lípidos, presentando en promedio 3.13 g/g. La cáscara de aguacate control mostró la mayor cifra significativamente (3.86 ± 0.23 g/g), mientras que la muestra a tamaño de 500 μm tuvo la menor capacidad para retener lípidos con 2.41 ± 0.05 g/g.

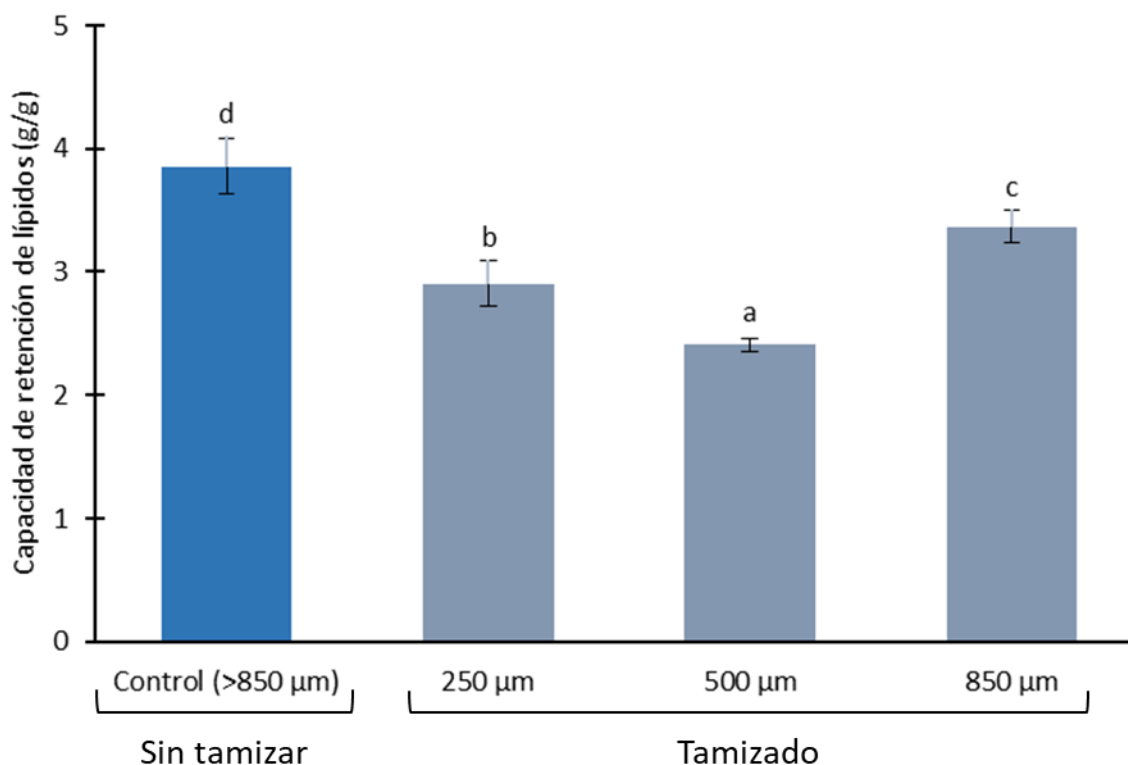


Figura 8. Capacidad de retención de lípidos (g/g) en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. ^{a-d} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

Se observó menor valor de esta propiedad en la cáscara de aguacate (tamaño de partícula de 250 μm) cuando se comparó con otras cáscaras como la de mango *Ataulfo* y *Tommy Atkins* (tamaño de partícula de 50 μm), ya que se reportaron cifras de 3.76 ± 0.01 y 4.12 ± 0.34 g/g, respectivamente (García-Magaña et al., 2013). De acuerdo con Zhao et al. (2018), la estructura de la fibra insoluble presenta una forma de panal que atrapa a los lípidos, esto depende del tamaño de la partícula, ya que a un tamaño grande, la CRL es mayor.

La fibra insoluble que se relaciona con la CRL beneficia a la salud, ya que interviene en el tratamiento de pacientes con dislipidemias, aterosclerosis y enfermedades cardiovasculares (Luo et al., 2017; Fernández et al., 2023). Lo anterior es debido a que esta fibra es capaz de unirse a moléculas como los lípidos, por lo tanto, reduce su

absorción en el intestino delgado y se elimina por las heces (Vilcanqui-Pérez y Vílchez-Perales, 2017). Sin embargo, el efecto mencionado anteriormente está influenciado por la naturaleza de la fibra, de la cantidad ingerida, así como las características fisiológicas del individuo (Van Horn et al., 2008; Angulo-López et al., 2023).

En el área tecnológica, la CRL tiene un impacto en la estabilidad de emulsiones en alimentos formulados con alta proporción de lípidos, así como en los productos de panadería durante el almacenamiento, lo que podría estar explicado por la unión capilar entre el aceite y la estructura porosa de la fibra dietética, la cual influye sobre el sabor y la vida útil (Coelho et al., 2017; Das et al., 2019). Además, permite mejorar la estabilidad en sopas y salsas, debido a la retención de aceite (Villanueva, 2019).

8.3.4. Capacidad de retención de glucosa (CRG)

Las cifras de la capacidad de retención de glucosa se observan en la Figura 9. En la cáscara de aguacate no tamizada se encontró el contenido más alto ($p < 0.05$) con 87.68 ± 1.35 mg/g en comparación con las demás muestras. Mientras que la cáscara a tamaño de $850 \mu\text{m}$ no retuvo glucosa.

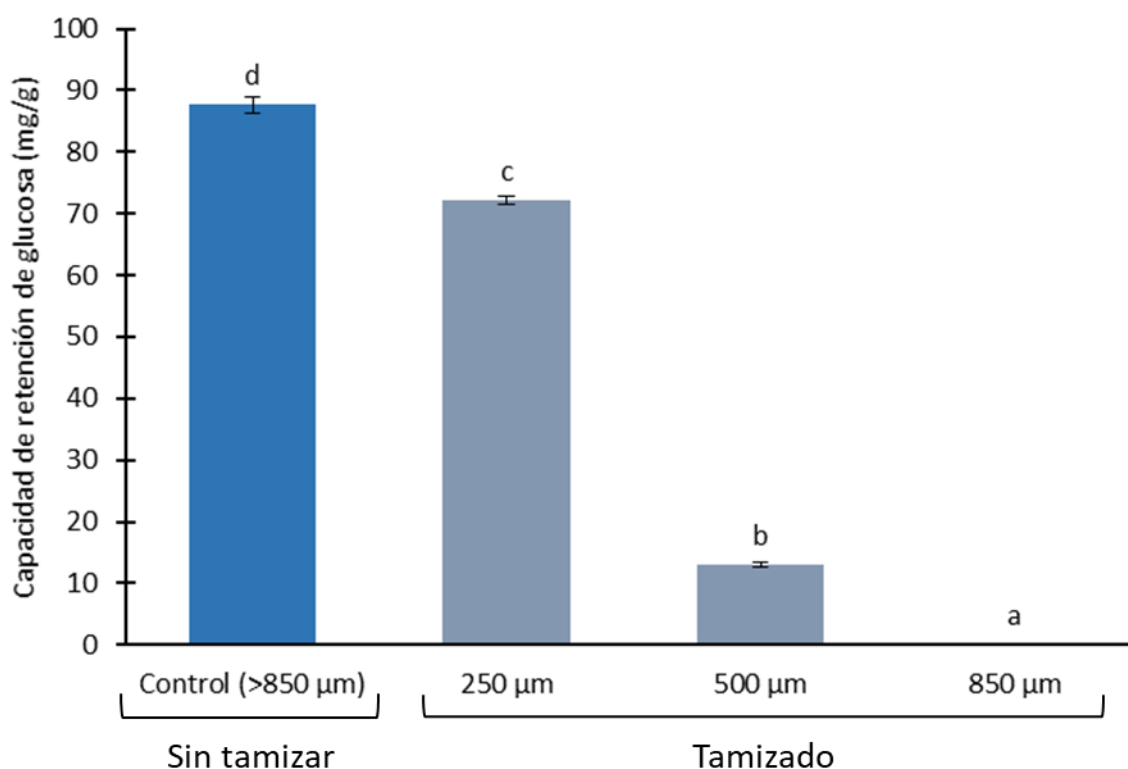


Figura 9. Capacidad de retención de glucosa (mg/g) en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. ^{a-d} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las muestras.

En cáscara de papa liofilizada con tamaño de partícula de 425 μm , se obtuvo mayor CRG con aproximadamente 75 mg/g (Ma et al., 2022), en comparación con la cáscara de aguacate con similar tamaño (500 μm ; 12.93 ± 0.44 mg/g). Así como en la CRL, la fibra insoluble está relacionada con la CRG (Qi et al., 2016), propiedad que también fue elevada en la muestra control. Esta propiedad de CRG, permite disminuir los niveles de glucosa en sangre después de la ingestión de alimentos, ya que al quedar atrapada en la estructura de la fibra insoluble no entra en contacto con las enzimas inhibiendo su mecanismo de acción (Yu et al., 2018). Otra forma para retener a la glucosa es por la viscosidad que genera la fibra soluble (Kabir et al., 2014). Por lo anterior, la cáscara de aguacate podría ser auxiliar en el control de los niveles de glucosa en sangre en pacientes con diabetes (Luo et al., 2017; Pino, Mujica y Arredondo, 2021). De manera general, el tamaño de partícula óptimo de la matriz

alimentaria, estaría dentro del intervalo de 50 a 500 μm , ya que tamaños superiores darían una sensación fibrosa y afectarían la apariencia, masticación y deglución (Fuentes, 1998), ejemplo de ello sería la cáscara de aguacate control y la de tamaño de 850 μm . Por otro lado, tamaños inferiores de partícula afectarían negativamente las propiedades funcionales, con la aparición de grumos, el apelmazamiento y la compresión del producto final (Fuentes 1998).

8.4. Análisis semicuantitativo del contenido de minerales

El porcentaje del contenido de minerales en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula se muestran en la Tabla 3. La cáscara tamizada a 250 μm presentó todos los minerales analizados. El mineral que se encontró en mayor proporción en todas las muestras fue el potasio (0.93 - 2.51 %). Por otro lado, en la cáscara control no se detectó calcio, mientras que en las de tamaño de 500 y 850 μm no se cuantificó hierro.

Tabla 3. Contenido de minerales en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula

Elemento (%)	Control (>850 μm)	Tamaño de partícula (μm)		
		250	500	850
Mg	0.08	0.12	-	0.09
P	0.22	0.12	0.10	-
K	1.38	0.93	2.51	2.49
Ca	-	0.15	0.10	0.18
Fe	0.35	0.21	-	-

Hasta el momento no hay estudios de minerales en cáscara de aguacate. Por lo que los porcentajes se compararon con un residuo de zarzamora liofilizado (500 μm) y éste mostró menor porcentaje de potasio ($0.81 \pm 0.17 \%$), calcio ($0.08 \pm 0.04 \%$), hierro ($0.03 \pm 0.05 \%$) y mayor en magnesio ($0.11 \pm 0.05 \%$) y fósforo ($0.19 \pm 0.08 \%$) (Zafra-Rojas et al., 2018).

Al aumentar el tamaño de partícula, los minerales podrían quedar atrapados dentro de la estructura de la fibra dificultando su cuantificación. La diferencia de resultados del estudio anterior y la cáscara de aguacate del presente trabajo, se debe al contenido de minerales en los frutos, que está influenciado por las reacciones metabólicas celulares, la genética (variedades) y las prácticas agronómicas en los cultivos (uso de fertilizantes). Además de que estos componentes son sintetizados a lo largo del desarrollo del fruto (Ceballos y Montoya, 2013).

Los minerales antes estudiados son importantes en la salud. Por ejemplo, el potasio, contribuye con la disminución de accidentes cerebrovasculares, además mantiene la salud cardiovascular y la función muscular mediante la regulación de la retención de líquidos (Cowan y Wolstenholme, 2016; Dreher y Davenport, 2013). Así mismo, participa en la síntesis de proteínas y glucógeno, en la regulación del pH intracelular y en la actividad de enzimas (Santos, 2019). Por otro lado, el hierro interviene en el transporte de oxígeno, producción de energía, regulación génica, síntesis de ADN, crecimiento y diferenciación celular (Wang et al., 2019); además forma parte de múltiples proteínas como cofactor orgánico o inorgánico (Pantopoulos et al., 2012). Cabe mencionar que la deficiencia de este mineral provoca anemia ferropénica (Alvarado et al., 2022).

Resaltando el contenido de potasio y hierro, la recomendación diaria del primer mineral para mujeres y hombres adultos es de 2600 y 3400 mg, respectivamente, mientras que para el segundo, es de 18 mg para las mujeres y 8 mg para los hombres (National Institutes of Health, 2019a; National Institutes of Health, 2022). Por lo que, la cáscara de aguacate control, a 250 μm , a 500 μm y a 850 μm proporcionarían el 10 % del

requerimiento a la dieta habitual de potasio en las mujeres (18.9 g, 28 g, 10.4 g y 10.5 g) y en los hombres (24.7 g, 36.6 g, 13.6 g y 13.7 g, respectivamente). Mientras que para el hierro se tendrían que consumir 0.52 g y 0.86 g de la cáscara de aguacate control y a 250 μm , respectivamente, para las mujeres, en el caso de los hombres sería 0.23 g y 0.39 g, para la cáscara de aguacate control y la de tamaño de 250 μm , respectivamente y también se cubriría el 10 % de la recomendación para este mineral.

8.5. Compuestos antioxidantes y su bioaccesibilidad *in vitro*

La muestra original después de ser liofilizada, molida y tamizada, se sometió a un proceso de digestión *in vitro* para cuantificar los antioxidantes y su capacidad antioxidante.

8.5.1. Compuestos fenólicos totales (CFT)

En la Figura 10 se observa el contenido de compuestos fenólicos totales de la cáscara de aguacate (muestra original) a diferentes tamaños de partícula. La muestra con un tamaño de 500 μm presentó el mayor contenido fenólico significativamente, con un valor de 8504.17 ± 50.48 mg EAG/100 g bs, respecto a las demás cáscaras. Mientras que en la muestra tamizada a 250 μm tuvo el menor contenido de fenoles (3629.54 ± 32.33 mg EAG/100 g bs).

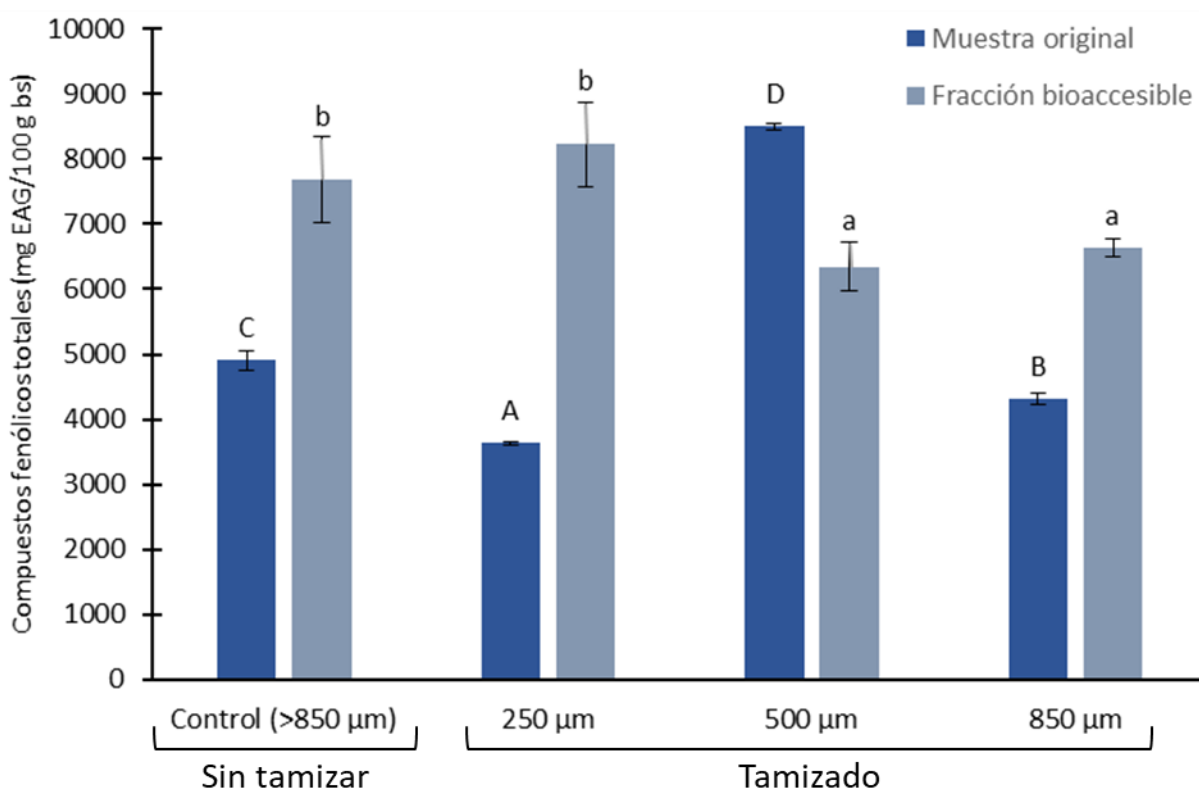


Figura 10. Compuestos fenólicos totales en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. ^{A-D} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en las muestras originales. ^{a-b} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en la fracción bioaccesible.

Se evaluó el contenido de compuestos fenólicos en una cáscara de aguacate Hass (tamaño de partícula de 420 μm) y los valores obtenidos fueron de 1260 ± 30 mg EAG/100 g bs (Wang, Bostic y Gu, 2010). Por otro lado, el residuo de tuna púrpura a un tamaño de 500 μm , tuvo cifras aproximadamente de 750 mg EAG/100 g bs (Monter-Arciniega et al., 2019). En ambos estudios, los resultados fueron menores en comparación con la cáscara de aguacate del presente trabajo. Incluso se destaca que lo reportado por Wang, Bostic y Gu (2010) presentó 6 veces menos la concentración de estos compuestos. La variación en la concentración de los compuestos fenólicos provenientes de los residuos podría ser por la diferencia en las variedades, madurez, temporada de recolección y factores ambientales (suelo y clima) a los que está expuesta la matriz alimentaria; además de la influencia del pretratamiento (secado y

molienda) y el procedimiento de extracción (Majerska, Michalska y Figiel, 2019; Nieto et al., 2016).

Respecto a la fracción dializada (después de la bioaccesibilidad *in vitro*), la cáscara control y el tamaño de 250 μm presentaron los mayores valores significativamente con 7684.11 ± 665.66 y 8227.12 ± 643.54 mg EAG/100 g bs, respectivamente, en comparación con el resto de las muestras. Cabe mencionar que la cáscara tamizada a 250 μm fue la que tuvo más del doble de compuestos fenólicos respecto a su muestra original (Figura 10).

En la fracción bioaccesible de una cáscara de naranja liofilizada a diferentes tamaños de partícula (156, 211, 390 y 633 μm), se encontró una relación directamente proporcional entre el tamaño de partícula y los CFT (aproximadamente 5800 mg EAG/100 g bs), indicando que a mayor tamaño, mayor contenido de estos compuestos (Cai et al., 2020). Sin embargo, en el presente trabajo se mostró un comportamiento contrario, ya que la cáscara de aguacate de menor tamaño de partícula (250 μm) obtuvo la cifra más alta.

La bioaccesibilidad de compuestos fenólicos podría estar influenciada por su contenido procedente de la matriz alimentaria y su liberación de la misma, así como por su estructura química, tamaño molecular, unión con otros compuestos, grado de polimerización y solubilidad (Iglesias-Carres et al., 2019). Además, la exposición a enzimas y la variación en el pH también pueden alterar la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos (Dantas et al., 2019). Por lo que el aumento en el contenido de CFT en la cáscara de aguacate control, podría ser debido a la influencia del proceso de digestión en la liberación de estos compuestos intactos que se encuentran dentro de la matriz alimentaria, lo que los hace más bioaccesibles (Pérez-Perez et al., 2020). Respecto a la muestra con el menor tamaño de partícula, también tuvo la mayor liberación de estos compuestos, debido a la fractura de las paredes celulares de la matriz alimentaria, exponiendo estos compuestos y por lo tanto, elevando su bioaccesibilidad (Singh et al., 2017).

Los CFT poseen propiedades anticancerígenas (Odongo et al., 2017; Luo et al., 2017), antiinflamatorias (Franceschelli et al., 2017; Sajid et al., 2017), hepatoprotectoras (Jia et al., 2017) y antifúngicas (Ayub et al., 2017). Por otro lado, para aportar el 10 % de los compuestos fenólicos a la dieta habitual, el consumo recomendado es de 1 g/día (Brat et al., 2006). Por lo que para cubrir el porcentaje antes mencionado se debería consumir 2.04 g, 2.76 g, 1.18 g y 2.32 g de la cáscara de aguacate control, a 250 μm , a 500 μm y a 850 μm , respectivamente. Es importante mencionar que por su alto contenido en CFT, la cáscara de aguacate podría incluirse en la formulación de algunos alimentos como conservador natural (antimicrobiano), además de mejorar sus características sensoriales (Ballesteros et al., 2017).

8.5.2. Determinación de ácido ascórbico (AA)

En la Figura 11 se visualizan los resultados de ácido ascórbico en la cáscara de aguacate (muestra original) a diferentes tamaños de partícula. La cáscara tamizada a 850 μm tuvo 5076.90 ± 150.97 mg EAA/100 g bs, siendo la cifra más alta significativamente en comparación con el resto de las muestras. Por otro lado, la cáscara no tamizada y la de tamaño de 500 μm presentaron los valores más bajos (121.17 ± 9.08 y 231.73 ± 3.59 mg EAA/100 g bs, respectivamente), sin embargo, no existió diferencia significativa ($p > 0.05$) entre ellas.

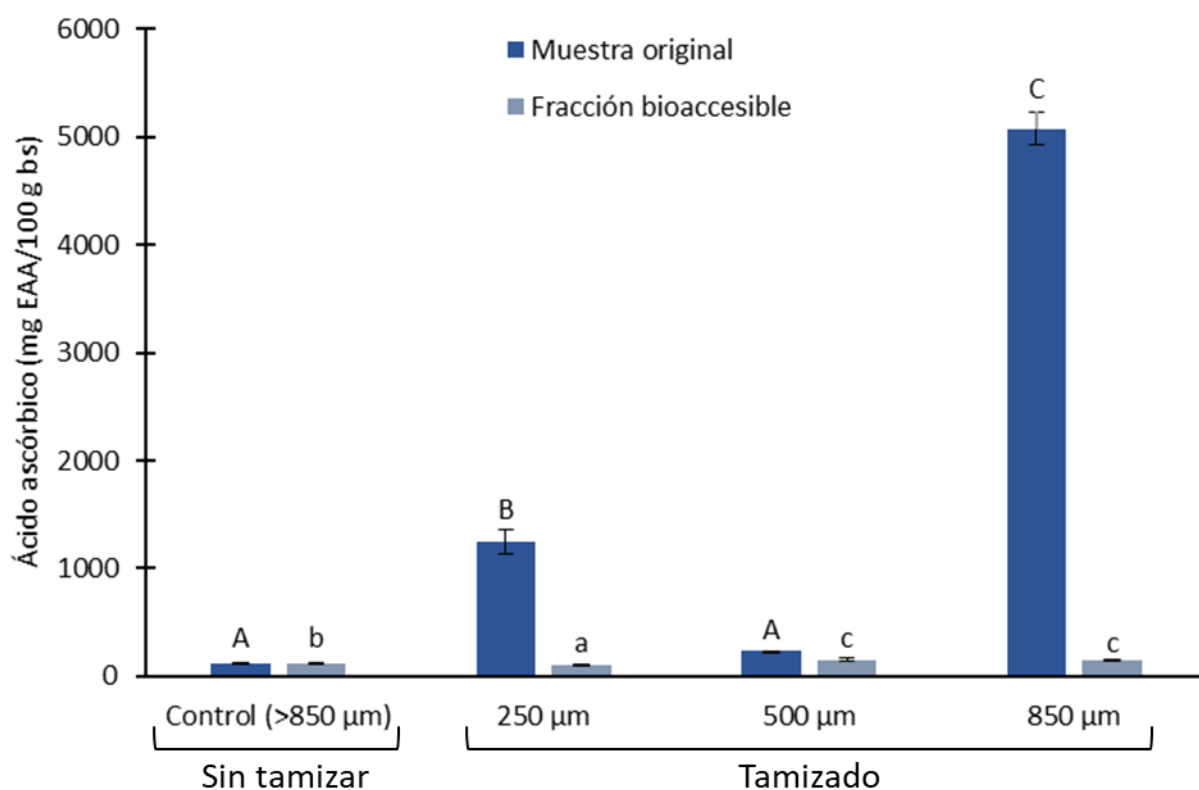


Figura 11. Ácido ascórbico en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. ^{A-C} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en las muestras originales. ^{a-c} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en la fracción bioaccesible.

Serna-Cock, Torres-León y Ayala-Aponte (2015), evaluaron el contenido de ácido ascórbico en cáscara de mango de las variedades *Tommy Atkins*, *Keitt* y *Criollo*, los valores se encontraron entre 332.96 y 512.63 mg EAA/100 g bs, siendo menores a las cáscaras de aguacate tamizadas a 250 y 850 μm del presente estudio. El tamaño de partícula repercute en la eficiencia de extracción, puesto que controla la cinética de transferencia de masa y el ingreso del solvente para el arrastre de los compuestos bioactivos (Meullemiestre et al., 2016).

Por otro lado, en la Figura 11 se muestra la fracción bioaccesible y se observó que las cáscaras de aguacate a tamaño de 500 y 850 μm, obtuvieron valores de 155.15 ± 11.59 y 142.31 ± 7.68 mg EAA/100 g bs, respectivamente, siendo más altos significativamente en relación con las otras muestras. La cáscara tamizada a 500 μm

presentó un 66 % de absorción, mientras que la cáscara control tuvo una total absorción en relación con su muestra original.

No fue posible comparar este parámetro con otros estudios, por diferir en los métodos de extracción y cuantificación. Sin embargo, la elevada bioaccesibilidad del ácido ascórbico en las cáscaras de aguacate con tamaño de partícula de 500 y 850 μm , podría ser debido a que los compuestos bioactivos que se encuentran en el interior de las células intactas no son alterados durante la digestión gastrointestinal, por lo tanto, el ácido ascórbico no es degradado por el oxígeno o los cambios de pH, además al ser una vitamina hidrosoluble facilita su liberación (Barba et al., 2017; Cilla et al., 2012; Akter et al., 2022).

Las propiedades que tiene el ácido ascórbico sobre la salud, se deben a sus efectos inmunomoduladores (Cimmino, Neel y Aifantis, 2018), antiinflamatorios (Monacelli et al., 2017) y antioxidantes (Villagrán et al., 2019). De acuerdo con los National Institutes of Health (2019b), la ingesta recomendada de vitamina C para hombres y mujeres adultos sanos, es de 90 y 75 mg, respectivamente. Por lo tanto, la cáscara de aguacate control, a 250 μm , a 500 μm y a 850 μm contribuirían con el 10 % del requerimiento en los hombres si se consumieran 7.44 g, 0.72 g, 3.9 g y 0.18 g, respectivamente y en mujeres la cantidad de 6.2 g, 0.6 g, 3.25 g y 0.15 g, respectivamente.

8.5.3. Contenido de antocianinas

En la Figura 12 se presentan los valores de antocianinas de la muestra original y su bioaccesibilidad. La cáscara sin tamizar y la del tamaño de partícula de 250 μm , tuvieron cifras similares significativamente con 50.40 ± 1.70 y 52.52 ± 3.88 mg Cy3GI/100 g bs, respectivamente, ambos fueron mayores ($p < 0.05$) en relación con las otras muestras. Mientras que la cáscara tamizada a 850 μm arrojó la cifra más baja (26.80 ± 2.61 mg Cy3GI/100 g bs).

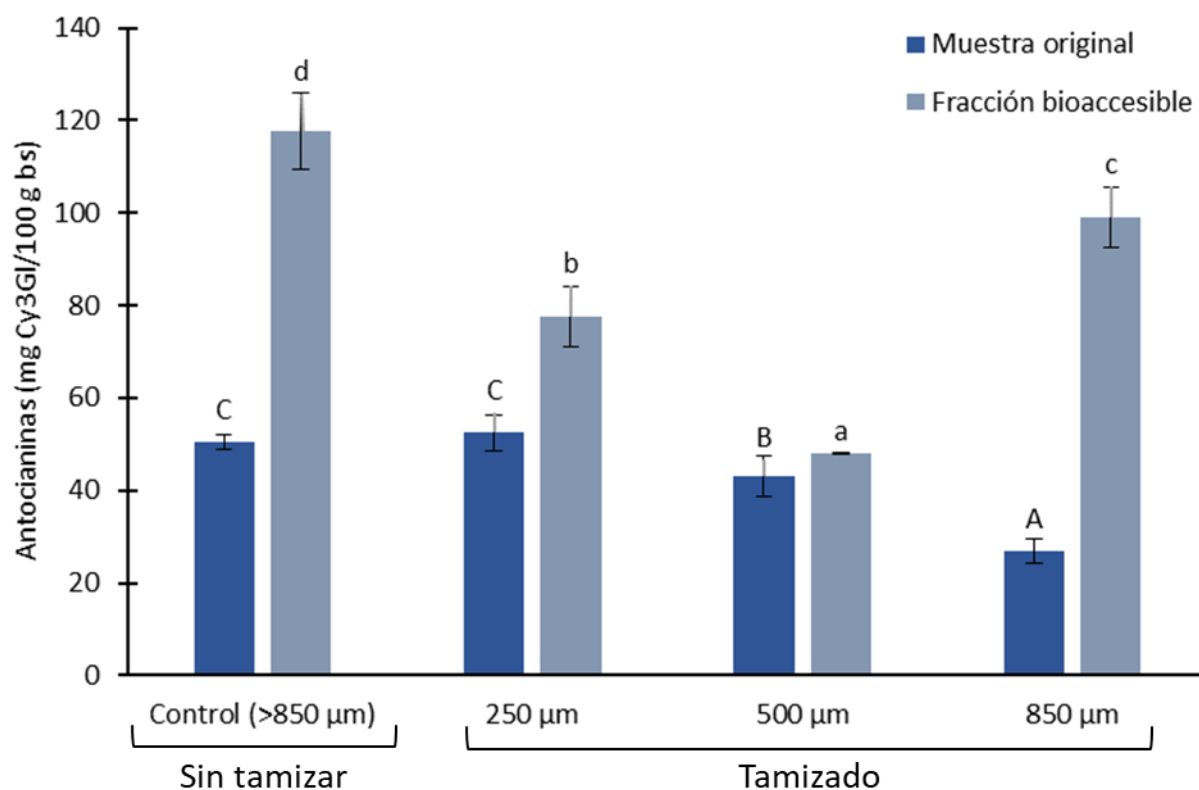


Figura 12. Antocianinas en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. ^{A-C} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en las muestras originales. ^{a-d} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en la fracción bioaccesible.

Cantidades menores de estos compuestos se encontraron en cáscara de mango de las variedades *Tommy Atkins* y *Keitt* (19.32 ± 3.05 y 16.02 ± 0.73 mg Cy3GI/100 g bs, respectivamente) (Serna-Cock, Torres-León y Ayala-Aponte, 2015). La reducción del tamaño de partícula, rompe la estructura de la matriz alimentaria e incrementa el área de superficie y los compuestos antioxidantes que se encuentran dentro son liberados (Zhao et al., 2018). Aunque a tamaños de partícula grandes los componentes intracelulares son protegidos y atraviesan lentamente los poros de la pared celular (Capuano, 2017).

Respecto a la bioaccesibilidad de las antocianinas totales, se aprecia que la cáscara de aguacate control fue mayor significativamente con 117.70 ± 8.29 mg Cy3GI/100 g bs, mientras que la muestra tamizada a 500 µm arrojó la cifra más baja (48.15 ± 0.00

mg Cy3GI/100 g bs). El porcentaje de bioaccesibilidad de todas las cáscaras fue mayor al 100% respecto a su muestra original. Sin embargo, la cáscara de aguacate a tamaño de 850 μm obtuvo el mayor porcentaje de liberación de antocianinas (369%) (Figura 12).

Un residuo de zarzamora liofilizado a tamaño de 500 μm mostró mayor bioaccesibilidad de antocianinas (123.02 ± 9.26 mg Cy3GI/100 g bs) (Zafra-Rojas et al., 2020), cuando se comparó con la cáscara de aguacate del presente estudio con el mismo tamaño de partícula. Lo anterior podría ser debido a que las células ingeridas que se encuentran intactas, encapsulan (protegen) los nutrientes intracelulares y no sufren alteraciones químicas durante las condiciones gastrointestinales, sobre todo por los cambios de pH a los que son muy inestables las antocianinas (Capuano, 2017; Berg et al., 2012; Brummer, Kaviani y Tosh, 2014; Edwards et al., 2015).

Las antocianinas son usadas en la industria alimentaria como colorantes en batidos, vinos, tortillas, entre otros, aunque también podrían aplicarse en textiles, algodón, seda o en el cabello humano (Phan et al., 2020). Además, estudios preclínicos han reportado la acción de las antocianinas contra el cáncer, inflamación, enfermedades cardiovasculares y obesidad (Chen et al., 2018; Saulite et al., 2019; Thilavech et al., 2018). De acuerdo a Bueno et al. (2012), se recomienda un consumo de antocianinas entre 12.5 y hasta 250 mg/día. Por lo anterior, 12.5 g de cáscara de aguacate control, a 250 μm , a 500 μm y a 850 μm , proporcionarían el 10% de estos compuestos dentro del intervalo recomendado.

8.6. Capacidad antioxidante

Se analizó la capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP y actividad quelante) de las cáscaras de aguacate a los diferentes tamaños de partícula, tanto en la muestra original como en su fracción bioaccesible (Figura 13). La capacidad antioxidante medida por ABTS (muestra original) en la cáscara de tamaño de 850 μm , mostró significativamente la actividad más elevada (5864.92 ± 580.94 mg EAA/100 g bs). Por el contrario, las muestras tamizadas a 250 μm y 500 μm tuvieron la menor capacidad

antioxidante (1934.30 ± 138.26 y 2315.48 ± 19.63 mg EAA/100 g bs, respectivamente) (Figura 13a).

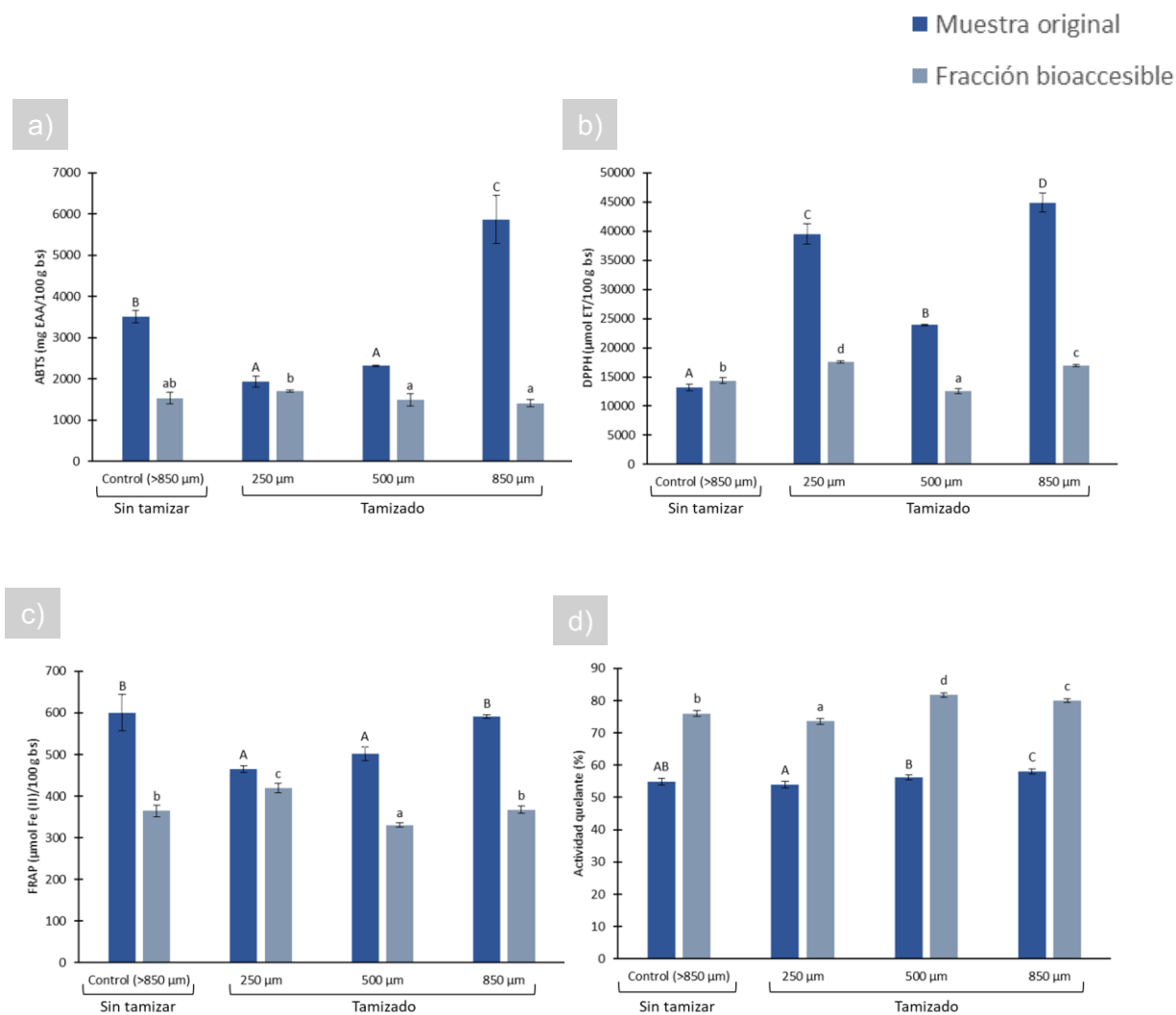


Figura 13. Capacidad antioxidante en la cáscara de aguacate a diferentes tamaños de partícula. a) ABTS, b) DPPH, c) FRAP y d) Actividad quelante. ^{A-D} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en las muestras originales. ^{a-d} Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) en la fracción bioaccesible.

En comparación con otras matrices de alimentos, se analizó un residuo de zarzamora liofilizado a tamaño de partícula de 500 μm y se reportaron valores de 5422.38 ± 71.50

mg EAA/100 g bs (Zafra-Rojas et al., 2018), los cuales fueron mayores a la muestra del mismo tamaño de partícula del presente estudio.

Los resultados de la capacidad antioxidante (ABTS) en la fracción bioaccesible se observan en la Figura 13a. La cáscara a tamaño de 250 μm tuvo mayor capacidad para atrapar radicales libres ($p < 0.05$) (1705.38 ± 24.83 mg EAA/100 g bs) en relación a las demás muestras, excepto por la cáscara no tamizada. Cabe mencionar que la cáscara a 250 μm representó el 88% de absorción respecto a su muestra original.

Por otro lado, los datos obtenidos en la capacidad antioxidante medida por DPPH (muestra original) en la cáscara de aguacate se aprecian en la Figura 13b. La cáscara a tamaño de 850 μm presentó la mayor capacidad significativamente, con un valor de 44878.07 ± 1622.21 $\mu\text{mol ET}/100$ g bs, en contraste con la muestra no tamizada (13201.51 ± 524.95 $\mu\text{mol ET}/100$ g bs). En un estudio evaluaron diferentes variedades (*Slimcado*, *Simmonds*, *Loretta*, *Choquette*, *Booth 7*, *Booth 8*, *Tonnage* y *Hass*) de cáscara de aguacate liofilizada y tamizada a 420 μm y los resultados se situaron en un rango entre 3970 ± 530 y 18980 ± 1080 $\mu\text{mol ET}/100$ g bs (Wang, Bostic y Gu, 2010). Estos resultados fueron menores a lo reportado en la muestra con similar tamaño de partícula (500 μm) del presente trabajo.

En la Figura 13b se presenta la capacidad antioxidante por DPPH en la fracción bioaccesible. La muestra con tamaño de 250 μm mostró la cifra más alta (17606.10 ± 193.96 $\mu\text{mol ET}/100$ g bs) y la cáscara tamizada a 500 μm fue la que obtuvo el valor más bajo (12594.12 ± 423.97 $\mu\text{mol ET}/100$ g bs). Cabe resaltar que el mayor porcentaje de la capacidad antioxidante (DPPH) en la fracción bioaccesible fue en la muestra sin tamizar con 108%.

En la cáscara de aguacate también se midió la capacidad antioxidante por FRAP (muestra original) y los resultados se presentan en la Figura 13c. La cáscara control y la tamizada a 850 μm obtuvieron cifras similares ($p > 0.05$) con 600.69 ± 43.59 y 591.27 ± 3.74 mg Fe (II)/100 g bs, respectivamente, y fueron las más altas ($p < 0.05$). Ortega-Arellano, Jimenez-Del-Rio y Velez-Pardo, (2019), analizaron la capacidad antioxidante

por FRAP en una cáscara de aguacate (lío­filizado) de las variedades *Hass*, *Fuerte* y *Colinred*, y los valores fueron mayores (732.28 ± 0.04 , 707.10 ± 0.07 y 774.40 ± 0.17 $\mu\text{mol Fe (II)}/100 \text{ g bs}$, respectivamente) en comparación con los resultados del presente estudio. Sin embargo, la variedad Reed reportada por esos mismos autores fue menor ($555.39 \pm 0.13 \mu\text{mol Fe (II)}/100 \text{ g bs}$), respecto a la muestra sin tamizar y la del tamaño de partícula de $850 \mu\text{m}$ de la presente investigación.

Los valores obtenidos de la capacidad antioxidante medida por FRAP en la cáscara de aguacate (fracción bioaccesible) se aprecian en la Figura 13c. En la muestra tamizada a $250 \mu\text{m}$ se encontró el valor más alto ($p < 0.05$) con un valor de $419.46 \pm 11.19 \text{ mg Fe (II)}/100 \text{ g bs}$, equivalente al 90% de bioaccesibilidad en relación con su muestra original.

Por otra parte, se puede observar en la Figura 13d la actividad quelante de la cáscara de aguacate (muestra original y su fracción bioaccesible) a los diferentes tamaños de partícula. El tamaño de $850 \mu\text{m}$ en la muestra original fue mayor ($p < 0.05$) en comparación con las otras cáscaras, arrojando $57.98 \pm 0.74\%$, mientras que la muestra tamizada a $250 \mu\text{m}$ fue menor ($53.99 \pm 1.01\%$) respecto a la cáscara con tamaño de $500 \mu\text{m}$ ($56.17 \pm 0.75 \%$). Hasta el momento no se han encontrado investigaciones sobre la actividad quelante en la cáscara de aguacate. Sin embargo, se realizó un estudio en hojas de té verde (*Camellia sinensis*), las cuales fueron molidas y tamizadas a un tamaño de partícula de $425 \mu\text{m}$ y posteriormente se obtuvo un extracto al que se le determinó la actividad quelante ($90.78 \pm 0.40 \%$) (Makanjuola, 2017). Esta fue más alta que los resultados del presente estudio en la cáscara de aguacate con similar tamaño de partícula ($500 \mu\text{m}$).

El porcentaje de actividad quelante en la fracción bioaccesible de las cáscaras de aguacate se aprecia en la Figura 13d. La muestra con tamaño de $500 \mu\text{m}$ ($81.74 \pm 0.72\%$) fue el mayor significativamente en relación con todas las cáscaras, presentando 1.4 veces más actividad en la fracción bioaccesible respecto a su muestra original.

Hasta el momento, no existe evidencia científica sobre la bioaccesibilidad *in vitro* de la capacidad antioxidante en la cáscara de aguacate. Sin embargo, de acuerdo a Zafra-Rojas et al. (2020), en la fracción bioaccesible del residuo de zarzamora liofilizado y tamizado a 500 μm , se presentaron valores de 870.18 ± 95.46 mg EAA/100 g bs para ABTS y 1183.32 ± 18.89 $\mu\text{mol ET}/100$ g bs para DPPH, los cuales fueron menores a lo reportado en el presente estudio, en relación al mismo tamaño de partícula; sin embargo cuando se comparó la capacidad antioxidante por FRAP, la cáscara de aguacate mostró mayores cifras (4725.81 ± 57.59 $\mu\text{mol Fe (II)}/100$ g bs).

De manera general, la capacidad antioxidante se correlaciona con el contenido de compuestos fenólicos totales provenientes de extractos de origen vegetal (Aryal et al., 2019; Orozco-Angelino, Espinosa-Ramírez y Serna-Saldívar, 2023). Lo anterior concuerda con lo encontrado en el presente estudio en la fracción bioaccesible, ya que existió una alta correlación entre la capacidad antioxidante por FRAP y los compuestos fenólicos totales ($r^2 = 0.79$). Cabe mencionar que se presentó otra elevada correlación entre la capacidad antioxidante por ABTS y DPPH y el ácido ascórbico ($r^2 = 0.82$ y 0.80 , respectivamente) de la muestra original.

Respecto al comportamiento en la fracción bioaccesible, los resultados obtenidos en la presente investigación podrían ser debido a que al reducirse el tamaño de partícula, se incrementa la superficie disponible para la acción de las enzimas digestivas y por lo tanto se eleva la efectividad en la digestión y absorción gastrointestinal de los antioxidantes (Ha et al., 2020; Xu y Luo, 2014).

9. Conclusiones

- Las cifras más elevadas de pH y sólidos solubles totales se obtuvieron en la cáscara de aguacate con tamaño de partícula de 850 y 250 μm , respectivamente. La muestra tamizada a 250 μm también presentó los valores más altos significativamente en los parámetros de color, al ser la más homogénea y por lo tanto podría ser visualmente aceptada.
- El contenido de fibra dietética total e insoluble fue mayor ($p < 0.05$) en la cáscara de aguacate sin tamizar (control), mientras que el tamaño de partícula de 250 μm exhibió el porcentaje más elevado significativamente de fibra soluble.
- Respecto a las propiedades funcionales, la muestra tamizada a 250 μm reveló una mayor capacidad de retención de agua e hinchamiento ($p < 0.05$), en comparación con las demás cáscaras. A diferencia de la muestra control que se encontró elevada en la capacidad de retención de lípidos y de glucosa.
- En la cuantificación de minerales, el potasio tuvo el porcentaje más elevado en todas las muestras analizadas.
- En relación al contenido de ácido ascórbico y su capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP y actividad quelante), la cáscara de aguacate tamizada a 850 μm presentó el mayor incremento significativamente.
- Los compuestos fenólicos totales y su capacidad antioxidante (DPPH, FRAP y actividad quelante) fueron analizados después del proceso de la bioaccesibilidad *in vitro*. Se observó que la cáscara de aguacate a un tamaño de 250 μm fue la más alta significativamente, respecto a las demás muestras.

De manera general, la cáscara de aguacate tamizada a 250 μm obtuvo las mejores propiedades, tanto fisicoquímicas como antioxidantes, seguido de la muestra con tamaño de partícula de 850 μm . Por todo lo anterior, el tamaño de partícula propuesto en el presente estudio es el de 250 μm . Sin embargo, dependerá del área en la que se vaya a aprovechar este residuo. Finalmente, la cáscara de aguacate podría ser de

interés para la generación de nuevos productos alimentarios con propiedades funcionales y antioxidantes benéficas para la salud.

10. Recomendaciones

- Identificar y cuantificar los compuestos fenólicos presentes en la cáscara de aguacate Hass a diferentes tamaños de partícula mediante cromatografía líquida de alta resolución.
- Investigar el perfil de ácidos grasos insaturados.
- Evaluar el potencial antimicrobiano y antiinflamatorio de la cáscara de aguacate Hass a diferentes tamaños de partícula.
- Evaluar la dosis letal de la cáscara de aguacate Hass mediante un modelo animal.

11. Referencias bibliográficas

- Aguedo, M., Kohnen, S., Rabetafika, N., Vanden, B., Sterckx, J., Blecker, C. y Paquot, M. (2012). Composition of by products from cooked fruit processing and potential use in food products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 27(1), 61-69. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2012.04.005>
- Ahmad, A. y Khalid, N. (2018). Dietary fibers in modern food production: a special perspective with β -glucans. *In Biopolymers for Food Design*, 125-156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811449-0.00005-0>
- Aires, A. (2017). Phenolics in foods: Extraction, analysis and measurements. *Phenolic Compounds*, 61-88. <http://dx.doi.org/10.5772/66889>
- Ajila, C., Leelavathi, K. y Rao, U. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 319-326. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.10.001>
- Akter, S., Addepalli, R., Netzel, M., Tinggi, U., Fletcher, M., Sultanbawa, Y. y Osborne, S. (2022). In vitro bioaccessibility and intestinal absorption of selected bioactive compounds in *Terminalia ferdinandiana*. *Frontiers in Nutrition*, 8, 1-11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.818195>
- Alvarado, C., Yanac-Avila, R., Marron-Veria, E., Málaga-Zenteno, J. y Adamkiewicz, T. (2022). Avances en el diagnóstico y tratamiento de deficiencia de hierro y anemia ferropénica. *Anales de la Facultad de Medicina*, 83(1), 65-69. <https://doi.org/10.15381/anales.v83i1.21721>
- Angulo-López, J., Flores-Gallegos, A., Ascacio-Valdes, J., Contreras, J., Torres-León, C., Rúelas-Chácon, X. y Aguilar, C. (2023). Antioxidant dietary fiber sourced from agroindustrial byproducts and its applications. *Foods*, 12 (159), 1-15. <https://doi.org/10.3390/foods12010159>
- Araújo, R., Rodriguez-Jasso, R., Ruiz, H., Pintado, M. y Aguilar, C. (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>

- Aryal, S., Baniya, M., Danekhu, K., Kunwar, P., Gurung, R. y Koirala, N. (2019). Total phenolic content, flavonoid content and antioxidant potential of wild vegetables from Western Nepal. *Plants*, 8(4), 96. <https://doi.org/10.3390/plants8040096>
- Association of Official Analytical Chemists. (1985). *Official Methods of Analysis*. (14th ed). 1st suppl. Secs. 43, A14-43, A20, p.399.
- Athaydes, B., Alves, G., Assis, A., Gomes, J., Rodrigues, R., Campagnaro, B., Nogueira, B., Silveira, D., Kuster, R., Pereira, T., Kitagawa, R. y Gonçalves, R. (2019). Avocado seeds (*Persea americana* Mill.) prevents indomethacin-induced gastric ulcer in mice. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 119, 751–760. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.057>
- Ayub, M., Hussain, A., Hanif, M., Chatha, S., Kamal, G., Shahid, M. y Janneh, O. (2017). Variation in phenolic profile, β -Carotene and flavonoid contents, biological activities of two Tagetes species from Pakistani flora. *Chemistry & Biodiversity*, 14(6). <https://doi.org/10.1002/cbdv.201600463>
- Badui, S. (2015). *La ciencia de los alimentos en la práctica* (1^a ed.). Pearson Educación: México.
- Ballesteros, L., Ramirez, M., Orrego, C., Teixeira, J. y Mussatto, S. (2017). Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food Chemistry*, 237, 623–631. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142>
- Barba, F., Mariutti, L., Bragagnolo, N., Mercadante, A., Barbosa-Canovas, G. y Orlie, V. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and Nonthermal processing. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.006>
- Barber, T., Kabisch, S., Pfeiffer, A. y Weickert, M. (2020). The health benefits of dietary fibre. *Nutrients*, 12(10), 3209. <https://doi.org/10.3390/nu12103209>
- Bas-Bellver, C., Andrés, C., Seguí, L., Barrera, C., Jimenéz-Hernández, N., Artacho, A., Betoret, N. y Gosalbes, M. (2020). Valorisation of persimmon and blueberry by-products to obtain functional powders: *in vitro* digestion and

fermentation by gut microbiota. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(30), 8080-8090. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c02088>

- Benitez, J., Sánchez, A., Bolaños, C., Bernal, L., Ochoa-Martínez, C., Vélez, C. y Sandoval, A. (2021). Cambios fisicoquímicos del aguacate Hass durante el almacenamiento frío y la maduración acelerada. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(2), 41-56. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1363>
- Berg, T., Singh, J., Hardacre, A. y Boland, M. (2012). The role of cotyledon cell structure during in vitro digestion of starch in navy beans. *Carbohydrate Polymers*, 87, 1678-1688. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.075>
- Betoret, E. y Rosell, C. (2020). Effect of particle size on functional properties of *Brassica napobrassica* leaves powder. Starch interactions and processing impact. *Food Chemistry*: X, 8, 100106. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2020.100106>
- Bhuyan, D., Alsherbiny, M., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O., Barooah, M., Li, C. y Papoutsis, K. (2019). The odyssey of bioactive compounds in avocado (*Persea americana*) and their health benefits. *Antioxidants*, 8(10), 426. <https://doi.org/10.3390/antiox8100426>
- Bonilla-Porras, A., Salazar-Ospina, A., Jimenez-Del-Rio, M., Pereañez-Jimenez, A. y Velez-Pardo, C. (2014). Pro-apoptotic effect of *Persea americana* var. Hass (avocado) on jurkat lymphoblastic leukemia cells. *Pharmaceutical Biology*, 52(4), 458-465. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.842599>
- Borchani, C., Besbes, S., Masmoudi, M., Bouaziz, M., Blecker, C. y Attia, H. (2012). Influence of oven-drying temperature on physicochemical and functional properties of date fibre concentrates. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 1541-1551. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0549-z>
- Brat, P., Georgé, S., Bellamy, A., Chaffaut, L. D., Scalbert, A., Mennen, L., Arnault, N. y Amiot, M. (2006). Daily polyphenol intake in France from fruit and vegetables. *The Journal of Nutrition*, 136(9), 2368-2373. <https://doi.org/10.1093/jn/136.9.2368>

- Brummer, Y., Kaviani, M. y Tosh, S. (2014). Structural and functional characteristics of dietary fibre in beans, lentils, peas and chickpeas. *Food Research International*, 67, 117-125. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.009>
- Bucić-Kojić, A., Planinić, M., Tomas, S., Bilić, M. y Velić, D. (2007). Study of solid–liquid extraction kinetics of total polyphenols from grape seeds. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.027Get>
- Bueno, J., Sáez-Plaza, P., Ramos-Escudero, F., Jiménez, A., Fett, R. y Asuero, A. (2012). Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: Chemical structure, color, and intake of anthocyanins. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 42(2), 126-151. <https://doi.org/10.1080/10408347.2011.632314>
- Cai, Y., Qin, W., Ketnawa, S. y Ogawa, Y. (2020). Impact of particle size of pulverized citrus peel tissue on changes in antioxidant properties of digested fluids during simulated *in vitro* digestion. *Food Science and Human Wellness*, 9(1), 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.12.008>
- Capuano, E. (2017). The behavior of dietary fiber in the gastrointestinal tract determines its physiological effect. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(16), 3543-3564. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1180501>
- Chau, C., Huang, Y. y Lee, M. (2003). *In vitro* hypoglycemic effects of different insoluble fiber-rich fractions prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. cv. Liucheng. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(22), 6623–6626. <https://doi.org/10.1021/jf0344449y>
- Chawla, R. y Patil, G. (2010). Soluble Dietary Fiber. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 178–196. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00099.x>
- Chen, J. y Vitetta, L. (2018). Inflammation-modulating effect of butyrate in the prevention of colon cancer by dietary fiber. *Clinical Colorectal Cancer*, 17(3), 541-544. <https://doi.org/10.1016/j.clcc.2018.05.001>

- Chen, X., McClements, D., Zhu, Y., Chen, Y., Zou, L., Liu, W., Cheng, C., Dongwen, F. y Liu, C. (2018). Enhancement of the solubility, stability and bioaccessibility of quercetin using protein-based excipient emulsions. *Food Research International*, 114, 30–37. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.07.062>
- Ceballos, A. y Montoya, S. (2013). Evaluación química de la fibra en semilla, pulpa y cáscara de tres variedades de aguacate. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 103-112.
- Christodoulides, S., Dimidi, E., Fragkos, K., Farmer, K., Whelan, K. y Scott, S. (2016). Systematic review with metaanalysis: effect of fibre supplementation on chronic idiopathic constipation in adults. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*. 44(2), 103–116. <https://doi.org/10.1111/apt.13662>
- Cicco, N., Lanorte, M., Paraggio, M., Viggiano, M. y Lattanzio, V. (2009). A reproducible, rapid and inexpensive Folin–Ciocalteu micro-method in determining phenolics of plant methanol extracts. *Microchemical Journal*, 91(1), 107-110. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.08.011>
- Cilla, A., Alegría, A., de Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Cano, M., Plaza, L., Clemente, G., Lagarda, M. y Barberá, R. (2012). Bioaccessibility of tocopherols, carotenoids, and ascorbic acid from milk-and soy-based fruit beverages: Influence of food matrix and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(29), 7282-7290. <https://doi.org/10.1021/jf301165r>
- Cimmino, L., Neel, B. y Aifantis, I. (2018). Vitamin C in stem cell reprogramming and cancer. *Trends in Cell Biology*, 28(9), 698-708. <https://doi.org/10.1016/j.tcb.2018.04.001>
- Coelho, E., Gomes, R., Machado, B., Oliveira, R., Lima, M., Azevedo, L. y Guez, M. (2017). Passion fruit peel flour-Technological properties and application in food products. *Food Hydrocolloids*. 62, 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.07.027>
- Corona, L., Hernández-Martínez, D. y Meza-Márquez, O. (2019). Análisis de parámetros fisicoquímicos, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en

piel, pulpa y fruto entero de cinco cultivares de manzana (*Malus domestica*) cosechadas en México. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 22(1), 166-174. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1193>

- Cowan, A. y Wolstenholme, B. (2016). Avocado. *Encyclopedia of Food and Health*. 294-300. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00049-0>
- Dai, F. y Chau, C. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(1), 37-42. <http://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006>
- Dantas, A., Mafaldo, I., de Li, P., dos Santos, M., Magnani, M. y Borges, G. (2019). Bioaccessibility of phenolic compounds in native and exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier. *Food Chemistry*, 274, 202–214. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.099>
- Das, P., Khan, M., Rahman, M., Majumder, S. y Islam, M. (2019). Comparison of the physico-chemical and functional properties of mango kernel flour with wheat flour and development of mango kernel flour based composite cakes. *NFS Journal* 17, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.10.001>
- De Alba, J. y Girón, E. (2022). La fibra dietética como ingrediente funcional en la formulación de productos cárnicos. *Tecnociencia Chihuahua*, 16(1), 892-892. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.892>
- Del Castillo-Llamosas, A., Del Río, P., Pérez-Pérez, A., Yáñez, R., Garrote, G. y Gullón, B. (2021a). Recent advances to recover value-added compounds from avocado by-products following a biorefinery approach. *Current Opinion in Green Sustainable Chemistry* 28, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.100433>
- Del Castillo-Llamosas, A., Rodríguez-Martínez, B., Del Río, P., Eibes, G., Garrote, G. y Gullón, B. (2021b). Hydrothermal treatment of avocado peel waste for the simultaneous recovery of oligosaccharides and antioxidant phenolics. *Bioresource Technology*, 342, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125981>

- de Melo, M., Pereira, D., Moura, R., da Silva, E., de Melo, F., Dias, C., Silva, M., de Oliveira, M., Viera, V., Pintado, M., Dos Santos, S. y Soares, J. (2019). Maternal supplementation with avocado (*Persea americana* Mill.) Pulp and oil alters reflex maturation, physical development, and offspring memory in rats. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 9. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00009>
- Dhital, S., Dolan, G., Stokes, J. y Gidley, M. (2014). Enzymatic hydrolysis of starch in the presence of cereal soluble fibre polysaccharides. *Food & Function*, 5, 579–586. <https://doi.org/10.1039/c3fo60506j>
- Dick-Pérez, M., Zhang, Y., Hayes, J., Salazar, A., Zobotina, O. y Hong, M. (2011). Structure and interactions of plant cell-wall polysaccharides by two- and three-dimensional magic-angle-spinning solid-state NMR. *Biochemistry*, 50, 989-1000. <https://doi.org/10.1021/bi101795q>
- Dreher, M. y Davenport, A. (2013). Hass avocado composition and potential health effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(7), 738-750. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2011.556759>
- Dürüst, N., Sümengen, D. y Dürüst, Y. (1997). Ascorbic acid and element contents of foods of Trabzon (Turkey). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6), 2085-2087. <https://doi.org/10.1021/jf9606159>
- EasyRGB (2023). *Convert color data into different standards and color spaces*. Recuperado de <https://www.easyrgb.com/en/convert.php>
- Edem, D., Ekanem, I. y Ebong, P. (2009). Effect of aqueous extracts of alligator pear seed (*Persea americana* Mill) on blood glucose and histopathology of pancreas in alloxan-induced diabetic rats. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 22(3), 272–276.
- Edwards, C., Grundy, M., Grassby, T., Vasilopoulou, D., Frost, G., Butterworth, P., Berry, S., Sanderson, J. y Ellis, P. (2015). Manipulation of starch bioaccessibility in wheat endosperm to regulate starch digestion, postprandial glycemia, insulinemia, and gut hormone responses: A randomized controlled trial in healthy ileostomy participants. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 102(4), 791-800. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.106203>

- Egbuonu, A., Opara, I. y Uchenna, N. (2018). Proximate, functional, anti nutrient and antimicrobial properties of avocado pear (*Persea americana*) seed. *Journal of Nutritional Health and Food Engineering*, 8(1), 78-82. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00260>
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C. y Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124(2), 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Eser, O., Songur, A., Yaman, M., Cosar, M., Fidan, H., Sahin, O., Mollaoglu, H. y Buyukbas, S. (2011). The protective effect of avocado soybean unsaponifiables on brain ischemia/reperfusion injury in rat prefrontal cortex. *British Journal of Neurosurgery*, 25(6), 701–706. <https://doi.org/10.3109/02688697.2010.520767>
- Eswaran, S., Muir, J. y Chey, W. (2013). Fiber and functional gastrointestinal disorders. *American Journal of Gastroenterology*, 108(5), 718-727. <https://doi.org/10.1038/ajg.2013.63>
- FAOSTAT. (2020). *Food and agriculture data*. Recuperado de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Farias, D., Neri-Numa, I., de Araújo, F. y Pastore, G. (2020). A critical review of some fruit trees from the Myrtaceae family as promising sources for food applications with functional claims. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125630>
- Femenia, A., Lefebvre, A., Thebaudin, J., Robertson, J. y Bourgeois, C. (2006). Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber. *Journal of Food Science*, 62(4), 635-639. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb15426.x>
- Fernández, C., Bravo, J., Urbina, F., Blanco, J. y Zumaran, B. (2023). Mecanismos fisiopatológicos de la dislipidemia. *Nova*, 21(40), 11-39. <https://doi.org/10.22490/24629448.6882>

- Fidelis, J., Monteiro, A., Scapim, M., Monteiro, C., Morais, D., Claus, T., Visentainer, J. y Yamashita, F. (2015). Development of an active biodegradable film containing tocopherol and avocado peel extract. *Italian Journal of Food Science*, 27(4), 468-475. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113302>
- Figueroa, C., Karnopp, A., Los, P., Teles, J., Simões, D., Barana, A., Kubiaki, F., Oliveira J. y Granato, D. (2018). Chemical characterization and functional properties of apple pomace as a potential food ingredient. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 137-144.
- Flores, R. (2019). Fibra dietaria: una alternativa para la alimentación. *Ingeniería Industrial*, (37), 229-237. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2019.n037.4550>
- Franceschelli, S., Pesce, M., Ferrone, A., Gatta, D., Patruno, A., De Lutiis, M., Quiles, J., Grilli, A., Felaco, M. y Speranza, L. (2017). Biological effect of licochalcone C on the regulation of PI3K/Akt/eNOS and NF-κB/iNOS/NO signaling pathways in H9c2 cells in response to LPS stimulation. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(4), 690-704. <https://doi.org/10.3390/ijms18040690>
- Fuertes, S. (1998). Tendencias actuales en el uso de la fibra dietética en la alimentación. En séptimo simposio de alimentos. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Fuller, S., Beck, E., Salma, H. y Tapsell, L. (2016). New horizons for the study of dietary fiber and health: a review. *Journal of Plants Foods for Human Nutrition*, 71(1): 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0529-6>
- Gan, J., Huang, Z., Yu, Q., Peng, G., Chen, Y., Xie, J., Shaoping, N. y Xie, M. (2020). Microwave assisted extraction with three modifications on structural and functional properties of soluble dietary fibers from grapefruit peel. *Food Hydrocolloids*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105549>
- Garbanzo, M. (2010). Manual de aguacate: buenas prácticas de cultivo variedad Hass. (2a ed.). Costa Rica: Ministerio de agricultura y ganadería. Recuperado de <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-4259.pdf>

- García-Amezquita, L., Tejada-Ortigoza, V., Serna-Saldivar, S. y Welti-Chanes, J. (2018). Dietary fiber concentrates from fruit and vegetable by-products: processing, modification, and application as functional ingredients. *Food and Bioprocess Technology*, 11, 1439-1463. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2117-2>
- García-Magaña, M., García, H., Bello-Pérez, L., Sáyago-Ayerdi, S. y Mata-Montes de Oca, M. (2013). Functional properties and dietary fiber characterization of mango processing by-products (*Mangifera indica* L., cv *Ataulfo* and *Tommy Atkins*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 68, 254-258. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0364-y>
- Gill, S., Rossi, M., Bajka, B. y Whelan, K. (2020). Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Gastroenterology & Hepatology*, 18(2), 101-116. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-00375-4>
- Giusti, M. y Wrolstad, R. (2001). Anthocyanins, Characterization and Measurement with UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, 1-13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Gökmen, V., Kahraman, N., Demir, N. y Acar, J. (2000). Enzymatically validated liquid chromatographic method for the determination of ascorbic and dehydroascorbic acids in fruit and vegetables. *Journal of Chromatography. A*, 881(1-2), 309–316. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00080-7](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00080-7)
- Gulcin, İ. (2020). Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview. *Archives of Toxicology*, 94(3), 651-715. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02689-3>
- Gulcin, I., Buyukokuroglu, M. y Kufrevioglu, O. (2003a). Metal chelating and hydrogen peroxide scavenging effects of melatonin. *Journal of Pineal Research*, 34(4), 278–281. <https://doi.org/10.1034/j.1600-079x.2003.00042.x>
- Gulcin, I., Oktay, M., Kirecci, E. y Kufrevioglu, O. (2003b). Screening of antioxidant and antimicrobial activities of anise (*Pimpinella anisum* L.) seed extracts. *Food Chemistry*, 83(3), 371-382. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00098-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00098-0)

- Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, M., Guillén-Andrade, H. y Chávez-Bárceñas, A. (2010). Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia*, 35(9), 647-653.
- Ha, E., Park, H., Lee, S., Sim, W., Jeong, J., Baek, I. y Kim, M. (2020). Pure trans-resveratrol nanoparticles prepared by a supercritical antisolvent process using alcohol and dichloromethane mixtures: Effect of particle size on dissolution and bioavailability in rats. *Antioxidants*, 9(4), 342. <https://doi.org/10.3390/antiox9040342>
- Hijová, E., Bertková, I. y Štofilová, J. (2019). Dietary fibre as prebiotics in nutrition. *Central European Journal of Public Health*, 27(3), 251-255. <https://doi.org/10.21101/cejph.a5313>
- Ho, K., Tan, C., Mohd, M. y Seow-Choen, F. (2012). Stopping or reducing dietary fiber intake reduces constipation and its associated symptoms. *World Journal of Gastroenterology*, 18(33), 4593-4596. <https://doi.org/10.3748/wjg.v18.i33.4593>
- Iglesias-Carres, L., Mas-Capdevila, A., Bravo, F., Aragonès, G., Arola-Arnal, A. y Muguerza, B. (2019). A comparative study on the bioavailability of phenolic compounds from organic and nonorganic red grapes. *Food Chemistry*, 299. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125092>
- International Commission on Illumination. (2021). *Photometry - The CIE System of Physical Photometry*. Recuperado de <https://cie.co.at/publications/photometry-cie-system-physical-photometry-2>
- Jia, M., Ren, D., Nie, Y. y Yang, X. (2017). Beneficial effects of apple peel polyphenols on vascular endothelial dysfunction and liver injury in high choline-fed mice. *Food & Function*, 8(3), 1282-1292. <https://doi.org/10.1039/C7FO00147A>
- Kabir, A., Samad, M., D'Costa, N., Akhter, F., Ahmed, A. y Hannan, J. (2014). Anti-hyperglycemic activity of *Centella asiatica* is partly mediated by carbohydrase inhibition and glucose-fiber binding. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 14, 31–44. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-31>

- Karaman, E., Yilmaz, E. y Baris, N. (2017). Physicochemical, microstructural and functional characterization of dietary fibers extracted from lemon, orange and grapefruit seeds press meals. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 11, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2017.06.001>
- Karma, I. (2020). Determination and measurement of color dissimilarity. *International Journal of Engineering and Emerging Technology*, 5(1), 67-71.
- Küppers, H. (2002). *Atlas de los colores*. Recuperado de https://www.unirioja.es/cu/fede/color_de_vino/capitulo01.pdf
- Kuskoski, E., Asuero, A., Troncoso, A., Mancini-Filho, J. y Fett, R. (2005). Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology (Campinas)*, 25(4), 726–732. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>
- Lattimer, J. y Haub, M. (2010). Effects of dietary fiber and its components on metabolic health. *Nutrients*. 2, 1266–1289. <https://doi.org/10.3390/nu2121266>
- Lee, J., Durst, R. y Wrolstad, R. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269–1278. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- Li, X., Luo, Y., Chai, X., Yu, Y. y Yao, P. (2019). Effects of particle size on color stability and antioxidant capacity of mulberry anthocyanin extract immobilized on chitosan microspheres. *Food Research International*, 116, 1018-1026.
- Liu, Y., Wang, L., Liu, F. y Pan, S. (2016). Effect of grinding methods on structural, physicochemical, and functional properties of insoluble dietary fiber from orange peel. *International Journal of Polymer Science*, 2016, 1-8. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/6269302>
- Luo, X., Wang, Q., Zheng, B., Lin, L., Chen, B., Zheng, Y. y Xiao, J. (2017). Hydration properties and binding capacities of dietary fibers from bamboo shoot shell and its hypolipidemic effects in mice. *Food and Chemical Toxicology*, 109, 1003–1009. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.02.029>

- Ma, M. y Mu, T. (2016). Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chemistry*, 194, 237–246. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.095>
- Ma, Q., Ma, Z., Wang, W., Mu, J., Liu, Y., Wang, J., Stipkovits, L., Hui, X., Wu, G. y Sun, J. (2022). The effects of enzymatic modification on the functional ingredient-Dietary fiber extracted from potato residue. *LWT*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112511>
- Majerska, J., Michalska, A. y Figiel, A. (2019). A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
- Makanjuola, S. (2017). Influence of particle size and extraction solvent on antioxidant properties of extracts of tea, ginger, and tea–ginger blend. *Food Science and Nutrition*, 5(6), 1179-1185. <https://doi.org/10.1002/fsn3.509>
- Marc, P., MSc, D. y Facn, D. (2018). The benefits of dietary fiber intake on reducing the risk of cancer: an umbrella review of meta-analyses. *Journal of Chiropractic Medicine*, 17, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.12.001>
- Martínez-Girón, J., Osorio, C. y Ordoñez-Santos, L. (2021). Effect of temperature and particle size on physicochemical and techno-functional properties of peach palm peel flour (*Bactris gasipaes*, red and yellow ecotypes). *Food Science and Technology International*, 28(6), 535-544. <https://doi.org/10.1177/10820132211025133>
- McRorie, J. y McKeown, N. (2017). Understanding the physics of functional fibers in the gastrointestinal tract: an evidence-based approach to resolving enduring misconceptions about insoluble and soluble fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 117(2): 251-264. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.09.021>
- Meena, L., Neog, R., Yashini, M. y Sunil, C. (2022). Pineapple pomace powder (freeze-dried): Effect on the texture and rheological properties of set-type yogurt.

<https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100101>

- Mehta, N., Ahlawat, S., Sharma, D. y Dabur, R. (2015). Novel trends in development of dietary fiber rich meat products – a critical review. *Journal of Food Science Technology*, 52(2), 633-47. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1010-2>
- Melgar, B., Dias, M., Ciric, A., Sokovic, M., Garcia-Castello, E., Rodriguez-Lopez, A., Barro, L. y Ferreira, I. (2018). Bioactive characterization of *Persea americana* Mill. by-products: A rich source of inherent antioxidants. *Industrial Crops and Products*, 111, 212-218. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.024>
- Meullemiestre, A., Petitcolas, E., Maache-Rezzoug, Z., Chemat, F. y Rezzoug, S. (2016). Impact of ultrasound on solid–liquid extraction of phenolic compounds from maritime pine sawdust waste. Kinetics, optimization and large scale experiments. *Ultrasonics Sonochemistry*, 28, 230-239. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.07.022>
- Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Mishra, K., Ojha, H. y Chaudhury, N. (2012). Estimation of antiradical properties of antioxidants using DPPH assay: A critical review and results. *Food Chemistry*, 130(4), 1036-1043. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.127>
- Mokrzycki, W. y Tatol, M. (2011). Color difference delta E - a survey. *Machine Graphics and Vision*, 20(4), 383-411.
- Monacelli, F., Acquarone, E., Giannotti, C., Borghi, R. y Nencioni, A. (2017). Vitamin C, aging and Alzheimer's disease. *Nutrients*, 9(7), 670-696. <https://doi.org/10.3390/nu9070670>
- Monter-Arciniega, A., Hernández-Falcón, T., Cruz-Cansino, N., Ramírez-Moreno, E., Alanís-García, E., Arias-Rico, J. y Ariza-Ortega, J. (2019). Functional properties, total phenolic content and antioxidant activity of purple

cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) waste: comparison with commercial fibers. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2897-2906. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0320-z>

- Morales, F. y Jiménez-Pérez, S. (2001). Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*, 72(1), 119-125. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00239-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00239-9)
- Nakamura, S., Tanabe, K., Morita, S., Hamaguchi, N., Shimura, F. y Oku, T. (2016). Metabolism and bioavailability of newly developed dietary fiber materials, resistant glucan and hydrogenated resistant glucan, in rats and humans. *Nutrition & Metabolism*, 13(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12986-016-0073-2>
- Nakov, G., Brandolini, A., Hidalgo, A., Ivanova, N., Jukić, M., Komlenić, D. y Lukinac, J. (2020). Influence of apple peel powder addition on the physico-chemical characteristics and nutritional quality of bread wheat cookies. *Food Science and Technology International*, 26(7), 574-582. <https://doi.org/10.1177/1082013220917282>
- National Institutes of Health (NIH). (2022). *Hierro. Hoja informativa para consumidores*. Recuperado de <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Iron-DatosEnEspañol/>
- National Institutes of Health (NIH). (2019a). *Potasio. Hoja informativa para consumidores*. Recuperado de <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Potassium-DatosEnEspañol/>
- National Institutes of Health (NIH). (2019b). *Vitamina C. Hoja informativa para consumidores*. Recuperado de <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-DatosEnEspañol/>
- Nieto, J., Cueto, M., Farroni, A., de Escalada, P. y Gerschenson, L. (2016). Antioxidant characterization of new dietary fiber concentrates from papaya pulp and peel (*Carica Papaya* L.). *Journal of Functional Foods*, 27, 319-328. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.012>

- Norma Mexicana NMX-FF-016-SCFI-2016 [En línea]. Productos alimenticios no industrializados para uso humano - Fruta fresca - Aguacate Hass (*Persea Americana* Mill) - Especificaciones. 21 jul 2016 [consulta: 21 abr 2022]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5445368&fecha=21/07/2016#gsc.tab=0
- OCDE-FAO. (2020). *Perspectivas Agrícolas 2020-2029*. Recuperado de https://read.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/ocde-fao-perspectivas-agricolas-2020-2029_a0848ac0-es#page253
- Odongo, G., Schlotz, N., Herz, C., Hanschen, F., Baldermann, S., Neugart, S., Trierweiler, B., Frommherz, L., Franz, C., Ngwene, B., Luvonga, A., Schreiner, M., Rohn, S. y Lamy, E. (2017). The role of plant processing for the cancer preventive potential of Ethiopian kale (*Brassica carinata*). *Food & Nutrition Research*, 61(1), 1-11. <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1271527>
- Olivares, D., Alvarez, E., Veliz, D., Garcia-Rojas, M., Diaz, C. y Defilippi, B. (2020). Effects of 1-Methylcyclopropene and controlled atmosphere on ethylene synthesis and quality attributes of avocado cvs. Edranol and Fuerte. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2020/5075218>
- Oluwaniyi, O., Nwosu, F. y Okoye, C. (2017). Comparative study of the constituents of the fruits pulps and seeds of *Canarium ovatum*, *Persea americana* and *Dacryodes edulis*. *Jordan Journal of Chemistry*, 12(2), 113-125.
- Orozco-Angelino, X., Espinosa-Ramírez, J. y Serna-Saldívar, S. (2023). Extrusion as a tool to enhance the nutritional and bioactive potential of cereal and legume by-products. *Food Research International*, 169, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112889>
- Ortega-Arellano, H., Jimenez-Del-Rio, M. y Velez-Pardo, C. (2019). Neuroprotective effects of methanolic extract of avocado *Persea americana* (var. Colinred) peel on paraquat-induced locomotor impairment, lipid peroxidation and shortage of life span in transgenic *knockdown* parkin *Drosophila*

melanogaster. *Neurochemical Research*, 44, 1986-1998.

<https://doi.org/10.1007/s11064-019-02835-z>

- Otles, S. y Nakilcioglu, E. (2019). Total dietary fiber intake, whole grain consumption, and their biological effects. *Bioactive Molecules in Food*, 701-722. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_7
- Ou, S., Kwok, K., Li, Y. y Fu, L. (2001). *In vitro* study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(2), 1026-1029. <https://doi.org/10.1021/jf000574n>
- Padilla-Camberos, E., Martínez-Velázquez, M., Flores-Fernández, J. y Villanueva-Rodríguez, S. (2013). Acute toxicity and genotoxic activity of Avocado seed extract (*Persea Americana* Mill., c.v. Hass). *The Scientific World Journal*, 2013, 1-4. <https://doi.org/10.1155/2013/245828>
- Pahuja-Ramos, M., Ortiz-Moreno, A., Chamorro-Cevallos, G., Hernández-Navarro, M., Garduño-Siciliano, L., Necochea-Mondragón, H. y Hernández-Ortega, M. (2012). Hypolipidemic effect of avocado (*Persea americana* Mill) seed in a hypercholesterolemic mouse model. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 67(1), 10–16. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0280-6>
- Palafox-Carlos, H., Ayala-Zavala, J. y González-Aguilar, G. (2011). The role of dietary fiber in the bioaccessibility and bioavailability of fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Food Science*, 76(1), R6-R15. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01957.x>
- Pantopoulos, K., Porwal, S., Tartakoff, A. y Devireddy, L. (2012). Mechanisms of mammalian iron homeostasis. *Biochemistry*, 51(29), 5705–5724. <https://doi.org/10.1021/bi300752r>
- Park, J. y Floch, M. (2007). Prebiotics, probiotics, and dietary fiber in gastrointestinal disease. *Gastroenterology Clinics of North America*, 36(1), 47-63. <https://doi.org/10.1016/j.gtc.2007.03.001>
- Peerajit, P., Chiewchan, N. y Devahastin, S. (2012). Effects of pretreatment methods on health-related functional properties of high dietary fiber powder from

lime residues. *Food Chemistry*, 132(4), 1891-1898.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.022>

- Pérez-Perez, L., Del Toro, C., Sánchez, E., González, R., Reyes, A., Borboa, J., Soto, J. y Flores-Cordova, M. (2020). Bioaccesibilidad de compuestos antioxidantes de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México, mediante un sistema gastrointestinal *in vitro*. *Biotecnia*, 22(1), 117-125. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1159>
- Phan, K., Van Den Broeck, E., Van Speybroeck, V., De Clerck, K., Raes, K. y De Meester, S. (2020). The potential of anthocyanins from blueberries as a natural dye for cotton: A combined experimental and theoretical study. *Dyes and Pigments*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.108180>
- Pinelo, M., Del Fabbro, P., Manzocco, L., Nuñez, M. y Nicoli, M. (2005). Optimization of continuous phenol extraction from *Vitis vinifera* byproducts. *Food Chemistry*, 92(1), 109-117. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.07.015>
- Pino, J., Mujica, V. y Arredondo, M. (2021). Effect of dietary supplementation with oat β -glucan for 3 months in subjects with type 2 diabetes: A randomized, double-blind, controlled clinical trial. *Journal of Functional Foods*, 77, 1-8. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2020.104311>
- Potter, N. (2007). *La ciencia de los alimentos* (1st ed). The Avi Publishing Company: Connecticut.
- Prior, R., Wu, X. y Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- PROFECO. (2021). *¡Para aguacates, los de México!* Recuperado de <https://www.gob.mx/profeco/documentos/para-aguacates-los-de-mexico?state=published>
- Prosky, L., Asp, N-G., Schweizer, T., DeVries, J. y Furda, I. (1988). Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food

products: interlaboratory study. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*, 71(5),1017-1023.

- Qi, J., Li, Y., Masamba, K., Shoemaker, C., Zhong, F., Majeed, H. y Ma, J. (2016). The effect of chemical treatment on the in vitro hypoglycemic properties of rice bran insoluble dietary fiber. *Food Hydrocolloids*, 52, 699–706. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.008>
- Raghavendra, S., Ramachandra-Swamy, S., Rastogi, N., Raghavarao, K., Kumar, S. y Tharanathan, R. (2006). Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: A source of dietary fiber. *Journal of Food Engineering*, 72(3), 281-286. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.008>
- Ramírez-Maganda, J., Blancas-Benítez, F., Zamora-Gasga, V., García-Magaña, M., Bello-Perez, L., Tovar, J. y Sáyago-Ayerdi, S. (2015). Nutritional properties and phenolic content of a bakery product substituted with a mango (*Mangifera indica*) ‘Ataulfo’ processing by-product. *Food Research International*, 73, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.004>
- Ramírez-Moreno, E., Zafra-Rojas, Q., Arias-Rico, J., Ariza-Ortega, J., Alanís-García, E. y Cruz-Cansino, N. (2018). Effect of ultrasound on microbiological load and antioxidant properties of blackberry juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), 1-6 <https://doi.org/10.1111/jfpp.13489>
- Ramos-Aguilar, A., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L., Gardea-Bejar, A., Yahia, E., Ornelas-Paz, J., Perez-Martinez, J., Rios-Velasco, C. y Escalante-Minakata, P. (2021). Metabolomic analysis and physical attributes of ripe fruits from Mexican Creole (*Persea americana* var. *Drymifolia*) and “Hass” avocados. *Food Chemistry*, 354, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129571>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M. y Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Ribas-Agustí, A., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. y Elez-Martínez, P. (2017). Food processing strategies to enhance phenolic compounds

bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), 2531-2548. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2017.1331200>

- Romo-Zamarrón, K., Pérez-Cabrera, L., Ramírez-Carrillo, R. y Dias-Narvaez, G. (2020). Polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de papaya: producción y caracterización. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 692-697.
- Rotta, E., de Morais, D., Biondo, P., dos Santos, V., Matsushita, M. y Visentainer, J. (2016). Use of avocado peel (*Persea americana*) in tea formulation: a functional product containing phenolic compounds with antioxidant activity. *Acta Scientiarum. Technology*, 38(1), 23-29. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i1.27397>
- Saavedra, J., Córdova, A., Navarro, R., Díaz-Calderón, P., Fuentealba, C., Astudillo, C., Toledo, L., Enrione, J. y 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>
- Sajid, M., Khan, M., Shah, S., Majid, M., Ismail, H., Maryam, S., Batool, R. y Younis, T. (2017). Investigations on anti-inflammatory and analgesic activities of *Alnus nitida* Spach (Endl). stem bark in Sprague Dawley rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 198, 407-416. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.01.041>
- Salazar-López, N., Domínguez-Avila, J., Yahia, E., Belmonte-Herrera, B., Wall-Medrano, A., Montalvo-González, E. y González-Aguilar, G. (2020). Avocado fruit and by-products as potential sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109774>
- Sankalpa, K., Ramachandra, C., Dinesha, B., Nidoni, U. y Hiregoudar, S. (2016). Effect of drying and grinding methods on physical and hydration properties of sweet orange peel powder. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 6(2), 295. <https://doi.org/10.5958/2277-9396.2016.00053.2>

- Santos, A. (2019). Homeostasis del potasio. *Monografía de Nefrología*, 1(1), 10-20.
- Saulite, L., Jekabsons, K., Klavins, M., Muceniece, R. 7 Riekstina, U. (2019). Effects of malvidin, cyanidin and delphinidin on human adipose mesenchymal stem cell differentiation into adipocytes, chondrocytes and osteocytes. *Phytomedicine*, 53, 86–95. <https://doi.org/10.1016/J.PHYMED.2018.09.029>
- Saura-Calixto, F., Serrano, J. y Goñi, I. (2007). Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chemistry*, 101(2), 492-501. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.006>
- Segovia, F. Corral-Pérez, J. y Almajano, M. (2016). Avocado seed: modeling extraction of bioactive compounds. *Industrial Crops and Products*. 85, 213–220, <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.03.005>
- SEMARNAT. (2021). *Aguacate, un delicioso fruto con más de 10 mil años de historia*. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/aguacate-un-delicioso-fruto-con-mas-de-10-mil-anos-de-historia?idiom=es>
- Serna, L. y Torres, C. (2015). Potencial agroindustrial de cáscaras de mango de las variedades Keitt y Tommy Atkins (*Mangifera indica*). *Acta Agronómica*, 66(2), 110-115. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43579>
- Serna-Cock, L., Torres-León, C. y Ayala-Aponte, A. (2015). Evaluación de polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) como fuente de ingredientes funcionales. *Información Tecnológica*, 26(2), 41-50. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000200006>
- SIAP. (2022). *Escenario mensual de productos agroalimentarios. Aguacate*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/703573/Escenario_aguacate_ene22.pdf
- Singh, B., Singh, J., Kaur, A. y Singh, N. (2017). Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: a review. *Food Research International*, 101, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.026>

- Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., Jurikova, T. y Sochor, J. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(10), 24673–24706. <https://doi.org/10.3390/ijms161024673>
- Stintzing, F., Herbach, K., Mosshammer, M., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., Akoh, C., Bunch, R. y Felker, P. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 442–451. <https://doi.org/10.1021/jf048751y>
- Soares, N. y Ford, A. (2011). Systematic review: the effects of fibre in the management of chronic idiopathic constipation. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*. 33 (8), 895–901. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2011.04602.x>
- Sowbhagya, H., Suma, P., Mahadevamma, S. y Tharanathan, R. (2007). Spent residue from cumin potential source of dietary fiber. *Food Chemistry*, 104, 1220-1225. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.066>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L. y Byrne, D. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6-7), 669-675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Thilavech, T., Abeywardena, M. Y., Dallimore, J., Adams, M. y Adisakwattana, S. (2018). Cyanidin-3-rutinoside alleviates methylglyoxal-induced cardiovascular abnormalities in the rat. *Journal of Functional Foods*, 49, 258–266. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2018.08.034>
- Tochiuitl-Martiñón, A., Chávez-Franco, S., Saucedo-Veloz, C., Suarez-Espinosa, J. y Guerra-Ramírez, D. (2018). Extractos de *Persea americana* Mill. que retrasan maduración en frutos de aguacate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8), 1639-1650. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i8.1720>
- Tremocoldi, M., Rosalen, P., Franchin, M., Daiuto, R., Augusto, J., Massarioli, P., Denny, C., Paschoal, J., Melo, P. y De Alencar, S. (2018). Exploration of

avocado by-products as natural sources of bioactive compounds. *PloS one*, 13(2), 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192577>

- Trinidad, T., Wolever, T. y Thompson, L. (1996). Availability of calcium for absorption in the small intestine and colon from diets containing available and unavailable carbohydrates: an in vitro assessment. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 47(1), 83–88. <https://doi.org/10.3109/09637489609028565>
- Van Horn, L., McCoin, M., Kris-Etherton, P., Burke, F., Carson, J., Champagne, C., Karmally, W. y Sikand, G. (2008). The evidence for dietary prevention and treatment of cardiovascular disease. *Journal of the American Dietetic Association* 108, 287–331. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2007.10.050>
- Vaz, A., Odriozola-Serrano, I., Oms-Oliu, G. y Martín-Belloso. (2022). Physicochemical properties and bioaccessibility of phenolic compounds of dietary fibre concentrates from vegetable by-products. *Foods*, 11(17), 1-15. <https://doi.org/10.3390/foods11172578>
- Velderrain-Rodríguez, G., Salvia-Trujillo, L., González-Aguilar, G. y Martín-Belloso, O. (2021a). 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, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102665>
- Velderrain-Rodríguez, G., Quero, J., Osada, J., Martín-Belloso, O. y Rodríguez-Yoldi, M. (2021b). Phenolic-rich extracts from avocado fruit residues as functional food ingredients with antioxidant and antiproliferative properties. *Biomolecules*, 11(977), 1-22. <https://doi.org/10.3390/biom11070977>
- Vilcanqui, F., Villanueva, M. y Vílchez, C. (2018). Propiedades funcionales *in-vitro* y efectos fisiológicos *in-vivo* sobre ratas Holtzman de dietas con nuevas fuentes de fibra. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3), 223-231. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182018000400223>
- Vilcanqui-Pérez, F. y Vílchez-Perales, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión.

Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 67(2), 146-156.

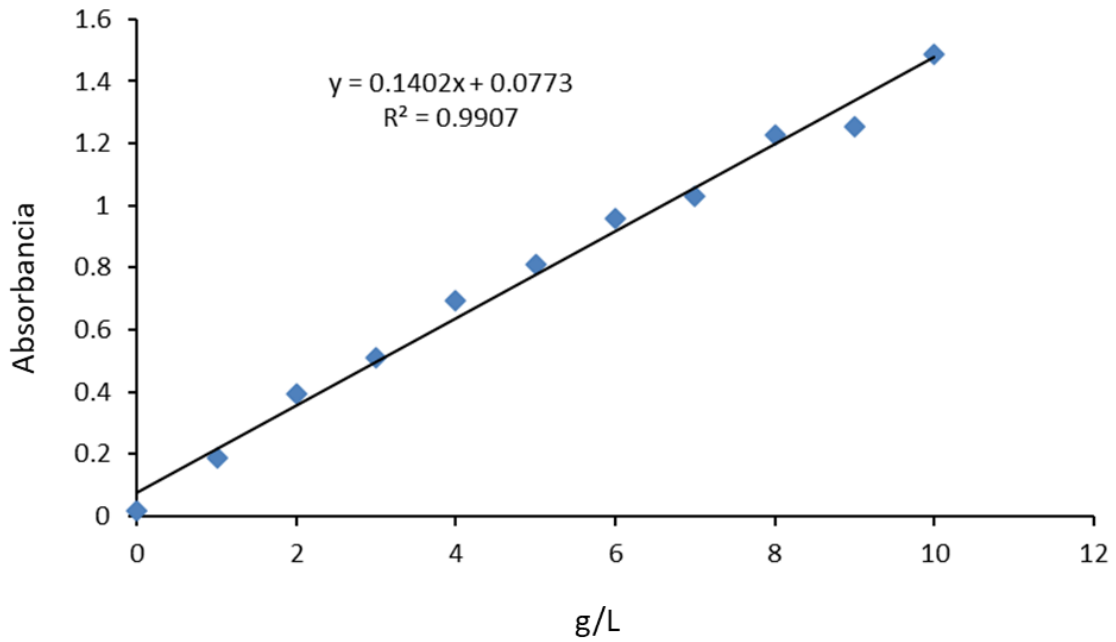
<http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400223>

- Villagrán, M., Muñoz, M., Díaz, F., Troncoso, C., Celis-Morales, C. y Mardones, L. (2019). Vitamin C in health and disease: a current perspective. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(6), 800-808. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000600800>
- Villanueva, R. (2019). Fibra dietaria: una alternativa para la alimentación. *Ingeniería Industrial*, (37), 229-242. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2019.n037.4550>
- Villarroel, M., Acevedo, C., Yáñez, E. y Biolley, E. (2003). Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación de productos de panadería. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 53(4), 400-407.
- Vuolo, M., Lima, V. y Junior, M. (2019). Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. In *Bioactive Compounds: Health Benefits and Potencial Applications*. Woodhead Publishing, 33–50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>
- Wang, L., Song, S., Zhang, B., Ai, C., Wen, C., Gong, Y., Jiang, L., Sun, Z., Han, Y. y Xiao, H. (2019). A sulfated polysaccharide from abalone influences iron uptake by the contrary impacts of its chelanting and reducing activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 138, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.072>
- Wang, W., Bostic, T. y 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>
- Xiao, L., Ye, F., Zhou, Y. y Zhao, G. (2021). Utilization of pomelo peels to manufacture value-added products: A review. *Food Chemistry*, 351, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129247>

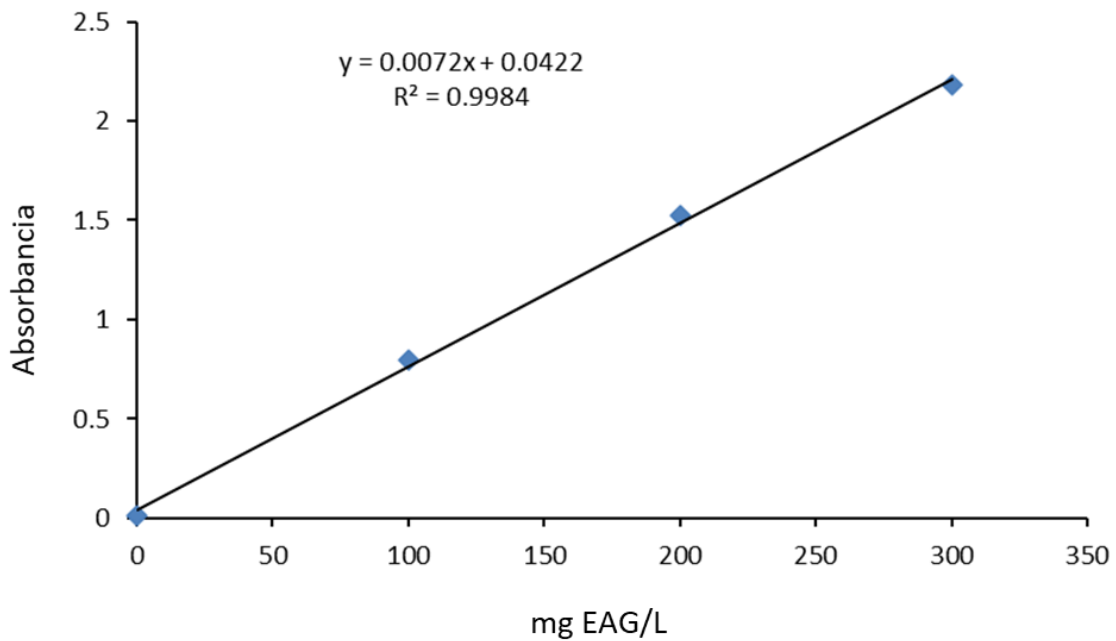
- Xie, F., Wang, Y., Wu, J. y Wang, Z. (2017). Insoluble dietary fibers from *Angelica keiskei* by-product and their functional and morphological properties. *Starch-Stärke*, 69(3-4), 1-12. <https://doi.org/10.1002/star.201600122>
- Xoca-Orozco, L., Aguilera-Aguirre, S., López-García, U., Gutiérrez-Martínez, P. y Chacón-López, A. (2019). Effect of chitosan on the in vitro control of *Colletotrichum sp.*, and its influence on post-harvest quality in Hass avocado fruits. *Revista Bio Ciencias*, 5, 1-20. <https://doi.org/10.15741/revbio.05.e355>
- Xu, J. y Luo, K. (2014). Enhancing the solubility and bioavailability of isoflavone by particle size reduction using a supercritical carbon dioxide-based precipitation process. *Chemical Engineering Research and Design*, 92(11), 2542–2549. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2014.03.018>
- Yu, G., Bei, J., Zhao, J., Li, y Cheng, C. (2018). Modification of carrot (*Daucus carota* Linn. var. Sativa Hoffm.) pomace insoluble dietary fiber with complex enzyme method, ultrafine comminution, and high hydrostatic pressure. *Food Chemistry*, 257, 333–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.037>
- Zafra-Rojas, Q., Cruz-Cansino, N., Delgadillo-Ramírez, A., Alanís-García, E., Añorve-Morga, J., Quintero-Lira, A., Castañeda-Ovando, A. y Ramírez-Moreno, E. (2018). Organic acids, antioxidants, and dietary fiber of Mexican blackberry (*Rubus fruticosus*) residues cv. Tupy. *Journal of Food Quality*, 2018, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2018/5950761>
- Zafra-Rojas, Q., González-Martínez, B., Cruz-Cansino, N., López-Cabanillas, M., Suárez-Jacobo, A., Cervantes-Elizarrarás, A. y Ramírez-Moreno, E. (2020). Effect of ultrasound on *in vitro* bioaccessibility of phenolic compounds and antioxidant capacity of blackberry (*Rubus fruticosus*) residues cv. Tupy. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 608-613. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00855-7>
- Zhang, S., Li, K., Pu, J. y Ni, W. (2022). Preparation and basic properties of Praseodymium-Neodymium-Chromium containing imitation gemstone glass. *Materials*, 15(7341), 1-11. <https://doi.org/10.3390/ma15207341>

- Zhao, G., Zhang, R., Dong, L., Huang, F., Tang, X., Wei, Z. y Zhang, M. (2018). Particle size of insoluble dietary fiber from rice bran affects its phenolic profile, bioaccessibility and functional properties. *LWT - Food Science and Technology*, 87, 450-456. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2017.09.016>
- Zheng, Y. y Li, Y. (2018). Physicochemical and functional properties of coconut (*Cocos nucifera* L) cake dietary fibres: Effects of cellulase hydrolysis, acid treatment and particle size distribution. *Food Chemistry*, 257, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.012>
- Zheng, Y., Wang, Q., Huang, J., Fang, D., Zhuang, W., Luo, X., Zuo, X., Zheng, B. y Cao, H. (2019). Hypoglycemic effect of dietary fibers from bamboo shoot shell: An *in vitro* and *in vivo* study. *Food and Chemical Toxicology*, 127, 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.008>
- Zhong, C., Zu, Y., Zhao, X., Li, Y., Ge, Y., Wu, W., Zhang, Y., Li, Y. Guo, D. (2016). Effect of superfine grinding on physicochemical and antioxidant properties of pomegranate peel. *International Journal of Food Science & Technology*, 51(1), 212-221. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12982>
- Zhu, F., Du, B. y Xu, B. (2015). Superfine grinding improves functional properties and antioxidant capacities of bran dietary fibre Qingke (hull-less barley) grown in Qinghai-Tibet Plateau, China. *Journal of Cereal Science*, 65, 43-47. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.006>

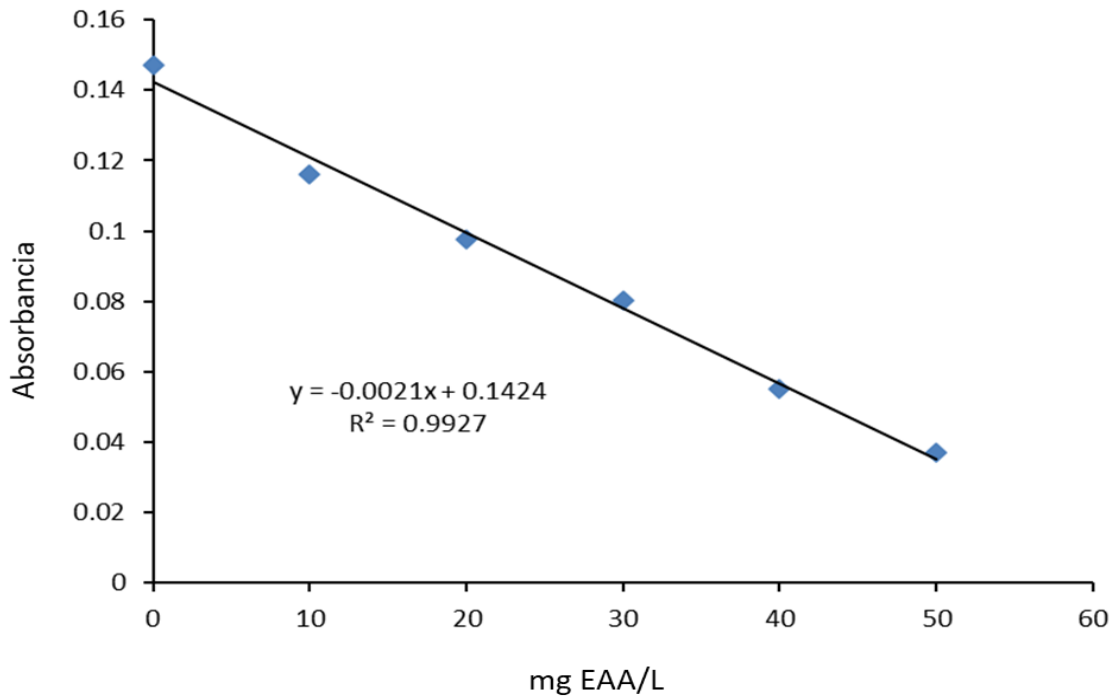
ANEXOS



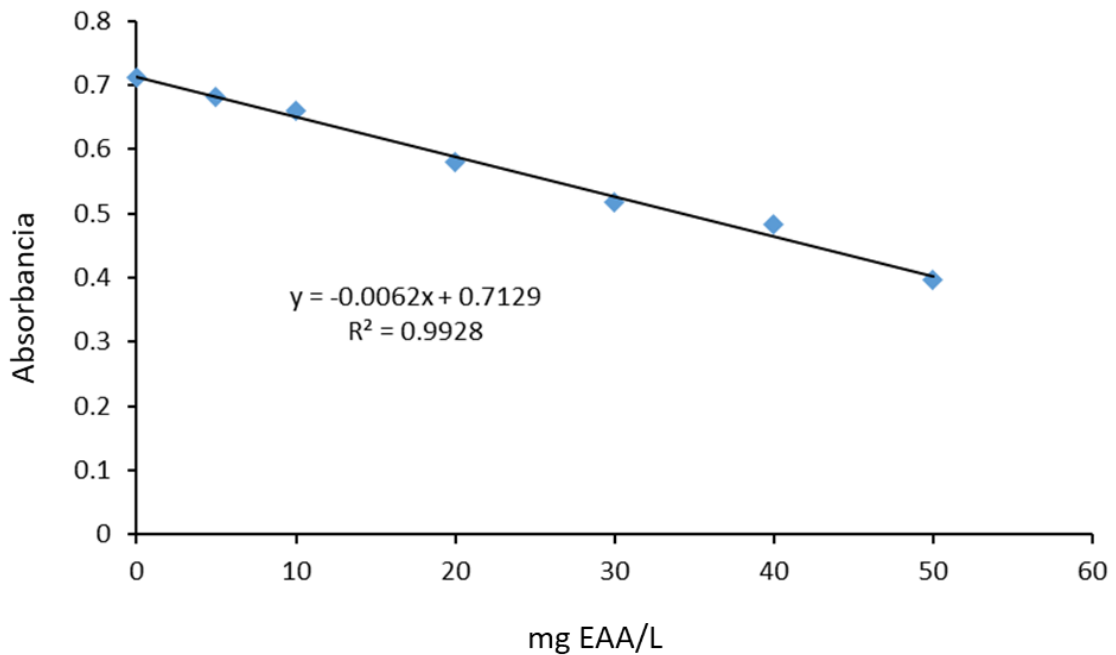
Anexo 1. Curva de calibración de glucosa para capacidad de retención de glucosa.



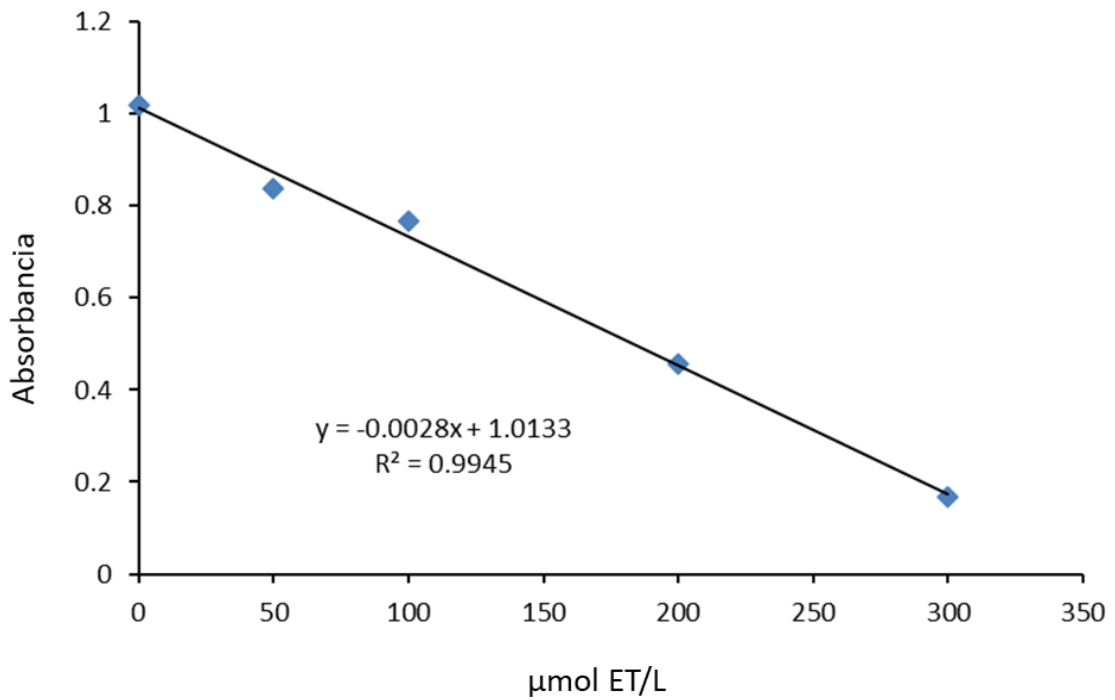
Anexo 2. Curva de calibración de ácido gálico para los compuestos fenólicos totales.



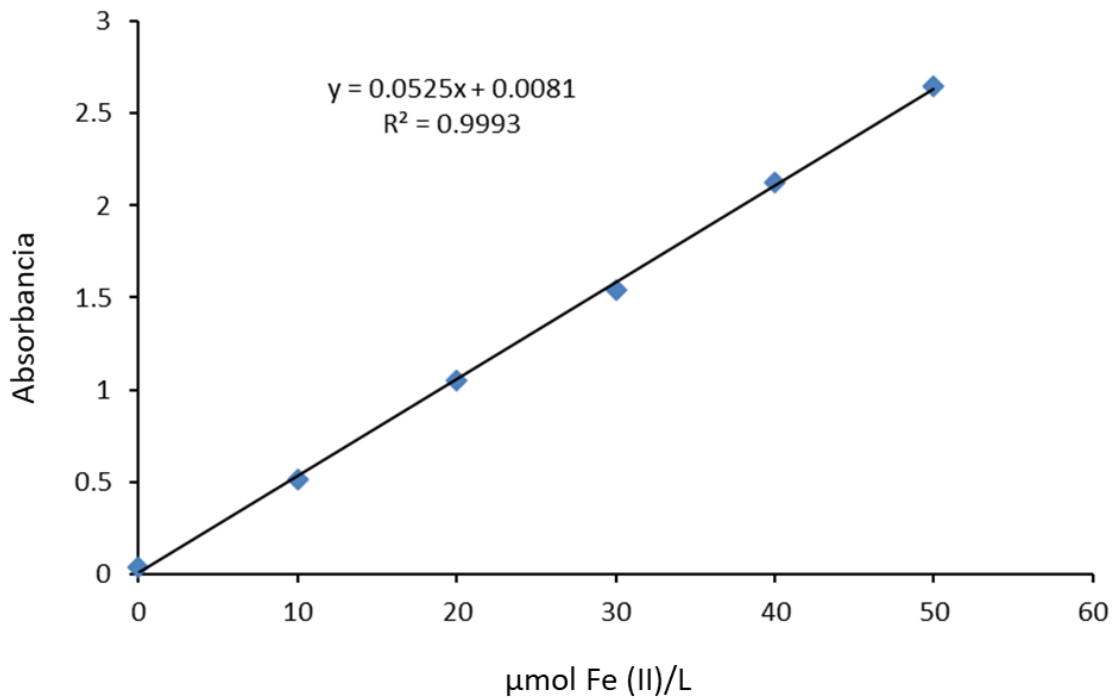
Anexo 3. Curva de calibración de ácido ascórbico para la determinación de ácido ascórbico.



Anexo 4. Curva de calibración de ácido ascórbico para la capacidad antioxidante por ABTS.



Anexo 5. Curva de calibración de Trolox para la capacidad antioxidante por DPPH.



Anexo 6. Curva de calibración de sulfato ferroso para la capacidad antioxidante por FRAP.