



UADY

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

POSGRADO INSTITUCIONAL EN CIENCIAS
QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS

EVALUACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y
ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA CÁSCARA Y
SEMILLA DE DOS FRUTAS CON ALTO ÍNDICE DE
DESPERDICIO

TESIS

PRESENTADA POR

JOSABET NARAI UUH NARVAEZ

EN OPCIÓN AL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS
QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

2020



UADY

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

POSGRADO INSTITUCIONAL EN CIENCIAS
QUIMICAS Y BIOQUÍMICAS

**EVALUACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS
Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE LA
CÁSCARA Y SEMILLA DE DOS FRUTAS CON
ALTO ÍNDICE DE DESPERDICIO**

TESIS

PRESENTADA POR

JOSABET NARAI UUH NARVAEZ

EN OPCIÓN AL GRADO DE

**MAESTRA EN CIENCIAS
QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS**

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

2020



UADY
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

**COORDINACIÓN GENERAL
DEL SISTEMA DE POSGRADO
INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN**

MAESTRÍA EN CIENCIAS
QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS

Mérida, Yuc., 5 de noviembre de 2020

Oficio Num.: PICQB/224/2020

Asunto: Autorización de digitalización

La tesis "Evaluación de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de la cáscara y semilla de dos frutas con alto índice de desperdicio" presentada por Josabet Narai Uuh Narvaez, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar por el grado de Maestra en Ciencias Químicas y Bioquímicas, ha sido aprobada en cuanto a su contenido científico y en cuanto a lo establecido en el Manual de Procedimientos del Posgrado Institucional en Ciencias Químicas y Bioquímicas, por lo que se le autoriza la digitalización de los ejemplares correspondientes.

Directores de la tesis

Dr. David Betancur Ancona

Dr. Luis Antonio Chel Guerrero

Sinodales

Dra. Tania Isolina Coral Martínez

Dr. Eduardo Castañeda Pérez

Dra. Yolanda Moguel Ordóñez

Firmas

**ATENTAMENTE
"LUZ, CIENCIA Y VERDAD"**

**DRA. MAIRA RUBI SEGURA CAMPOS
COORDINADORA DEL POSGRADO INSTITUCIONAL
EN CIENCIAS QUÍMICAS Y BIOQUÍMICAS**



POSGRADO INSTITUCIONAL
EN CIENCIAS QUÍMICAS
Y BIOQUÍMICAS

c.c. Archivo
MRSC

AGRADECIMIENTOS

Tu mayor valor puede ser tu voluntad de persistir más que cualquier otra persona”

Brian Tracy

A lo largo de mi vida la persistencia es definitivamente mi mayor valor, la cual me ha llevado a alcanzar mis objetivos de vida, el concluir el grado de estudio me provoca gran satisfacción y me motiva a continuar preparándome profesionalmente.

Doy gracias a Dios por infundirme el empuje de su espíritu en los momentos de miedo y guiar mi vida a confines más seguros, por las experiencias, personas y lugares que conocí a lo largo de la maestría que hoy definen la persona que soy.

Agradezco a mis directores de tesis el Dr. David Betancur y el Dr. Luis Chel por darme la oportunidad de trabajar con ellos, por su paciencia, consejos y su honestidad. Por motivarme a mejorar profesionalmente y brindarme todo para concluir con este proyecto.

A mi comité tutorial el Dr. Eduardo Castañeda, Dra. Tania Coral y la Dra. Yolanda Moguel por brindarme sus conocimientos, por su disponibilidad para atenderme ante mis dudas, su paciencia, sus conocimientos y su profesionalismo, los cuales me han aportado motivación y superación personal.

Sin duda debo agradecer al pilar más fuerte que tengo en mi vida, mi familia, mi madre que me ha hecho una mujer fuerte y con valores, mi padre el más amoroso y apoyándome incondicionalmente, mi hermano Jonatan que comparte conmigo este profesión y que siempre estuvo alentándome y apoyándome en los momentos de frustración, a mi hermano Josafat que siempre me hace poner los pies en la tierra y definitivamente a mi abuela Justina, tía Mimi, mis primas Yaelli y Alía mujeres increíbles que siempre estuvieron motivándome a alcanzar mis sueños.

También quiero agradecer de manera profunda a mis amigos de generación, con los que pase momentos agradables y a los cuales admiro, sobre todo a mi gran amiga Anai por su compañía, por siempre estar para mí y por su gran ética de trabajo, también a mi querido amigo Ulil por sus consejos, apoyo profesional y por hacer más ameno este viaje.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Yucatán, por brindar las instalaciones, laboratorios, equipos y reactivos para llevar a cabo las experimentaciones del proyecto, así como a sus técnicos por su amabilidad y por los apoyos otorgados para realizar la estancia académica, sin duda una institución llena de valores, comprometida con el desarrollo de sus estudiantes.

Finalmente quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el otorgamiento de la beca de tiempo completo con numero 842381 así como los apoyos complementarios otorgados durante el período de vigencia del posgrado.

Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Ciencias de los Alimentos, Laboratorio de Análisis Instrumental y Química orgánica de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán, bajo la dirección del Dr. David Abram Betancur Ancona y el Dr. Luis Antonio Chel Guerrero, con el apoyo de una beca concedida por el CONACYT con número de becario 842381

RESUMEN

El mango y el aguacate son dos frutas con altos índices de desperdicio, lo cual genera un impacto negativo en el medio ambiente, la seguridad alimentaria y al desarrollo económico. Sin embargo, los desperdicios de estas frutas presentan potencial para la recuperación de compuestos bioactivos, por lo cual, su utilización es una forma de avanzar hacia sistemas alimentarios más sostenibles. En el presente estudio, fueron evaluados los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de la cáscara y la semilla del mango ataulfo y del aguacate local. Los desperdicios fueron procesados en harinas: cáscara de mango (CM), cáscara de aguacate (CA), semilla de mango (SM) y semilla de aguacate (SA). Se determinó la composición química proximal y la fibra dietética total de las harinas, posteriormente fueron extraídos los aceites de las semillas y se determinaron las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos. Se evaluaron los compuestos fenólicos totales (CFT), carotenoides y clorofila en los aceites y las cáscaras, además la vitamina C solo en esta última. Finalmente, fue evaluada la actividad antioxidante de los extractos por 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) y 2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico (ABTS). Los aceites presentaron parámetros de calidad similares al aceite de coco y palma, el ácido oleico fue mayoritario en el aceite de semilla de mango (ASM) y linoleico en el aceite de semilla de aguacate (ASA). La mayor cantidad de compuestos bioactivos fue: en CM el CFT (186.11 mg EAG/g) y vitamina C (123.3 mg de ac. ascórbico/ 100g); en ASM los carotenoides (120.76 mg de β -caroteno/ kg de aceite) y en CA las clorofilas totales (496.82 mg/ kg). Los extractos con mayor actividad antioxidante expresado en mol equivalentes de Trolox por gramo de muestra analizado por DPPH y ABTS fueron: en CFT la CM con 0.255 y la CA 0.987 respectivamente; en carotenoides la CA con 0.0803 y el ASM 1.846; en clorofilas totales el ASA con 0.023 y 0.036 y en vitamina C la CA con 1.522 y 0.00023 en ambos métodos respectivamente. Las cáscaras y las semillas de mango ataulfo y aguacate local obtenidos de los desperdicios, pueden ser fuentes alternativas de compuestos bioactivos y antioxidantes, representando una opción sustentable y de bajo costo para la industria alimentaria, farmacéutica y/o de cosméticos.

ABSTRACT

Mango and avocado are two fruits with high waste rates, which generates a negative impact on the environment, food security and economic development. However, the waste of these show high potential for the recovery of bioactive compounds, therefore their use is a way to move towards more sustainable food systems. In the present study the bioactive compounds and antioxidant activity of ataulfo mango and local avocado peels and seeds were evaluated. The waste was processed to obtain flours from mango peel (CM), avocado peel (CA), mango seed (SM) and avocado seed (SA). The proximal chemical composition and the total dietary fiber of the flours were analyzed. Subsequently the oils were extracted from the seeds and the physicochemical characteristics and the fatty acid profile were determined. Total phenolic compounds (CFT), carotenoids and chlorophyll contents were evaluated in oils and peels, as well as vitamin C only in the latter. Finally, the antioxidant activity of the extracts was evaluated by 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH) and 2,2-Azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS). The oils presented quality parameters similar to olive and palm oil, oleic acid was the major constituent in mango seed oil (ASM) and linoleic acid in avocado seed oil (ASA). The highest quantity of bioactive compounds was: in CM the CFT (186.11 mg GAE/g) and vitamin C (123.3 mg of ascorbic acid / 100g); in ASM the carotenoids (120.76 mg of β -carotene /kg of oil) and in CA the total chlorophylls (496.82 mg / kg). The extracts with the highest antioxidant activity expressed in equivalent mole of Trolox per gram of sample analyzed by DPPH and ABTS were: in CFT the CM with 0.255 and the CA 0.987 respectively; in carotenoids the CA with 0.0803 and the ASM 1.846; in total chlorophylls the ASA with 0.023 and 0.036 and in vitamin C the CA with 1.522 and 0.00023 in both methods respectively. The peels and seeds of ataulfo mango and local avocado obtained from food waste can be alternative sources of bioactive compounds and antioxidants, representing a sustainable and low-cost option for the food, pharmaceutical and/or cosmetic industry.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1. Desperdicio de alimentos, problemática nivel mundial.....	3
2.2. Desperdicios de alimentos en México	4
2.3. Desperdicio de alimentos, un recurso para la recuperación de compuestos bioactivos	5
2.3.1. Desperdicio de frutas y hortalizas	6
2.4. Compuestos bioactivos con actividad antioxidante	8
2.4.1. Polifenoles	9
2.4.2. Ácido ascórbico.....	11
2.4.3. Carotenoides	12
2.4.5. Clorofilas.....	14
2.5. Mango	15
2.5.1. Cáscara de mango.....	16
2.5.2. Semilla de mango	18
2.5.3. Mango ataulfo	19
2.6. Aguacate	20
2.6.1. Cáscara de aguacate	21
2.6.1. Semilla de aguacate	22
2.6.2. Aguacate local	24
3. HIPÓTESIS	27
4. JUSTIFICACIÓN	29
5. OBJETIVOS	31
5.1. Objetivo general	31
5.2. Objetivos particulares	31
6. MATERIALES Y MÉTODOS	33
6.1. Procedimiento experimental	33
6.2. Materiales.....	35
6.2.1. Materia prima.....	35
6.3. Métodos	35
6.3.1. Preparación de la materia prima	35

6.3.2. Obtención de harinas.....	36
6.4. Análisis químico proximal (AQP) de las harinas de cáscara y semilla	36
6.4.1. Humedad	37
6.4.2. Cenizas.....	37
6.4.3. Proteína cruda	37
6.4.4. Grasa cruda	38
6.4.5. Fibra cruda.....	38
6.4.6. Extracto libre de nitrógeno	39
6.5. Fibra dietética total de la cáscara y semilla del mango ataulfo y aguacate local	39
6.6. Características fisicoquímicas y composición de ácidos grasos del aceite de la semilla de mango ataulfo y aguacate local	40
6.6.1. Extracción de aceite por solvente orgánico	40
6.6.2. Índice de refracción.....	41
6.6.3. Índice de yodo	41
6.6.4. Índice de acidez	41
6.6.5. Índice de peróxido.....	42
6.6.6. Composición de ácidos grasos	42
6.7. Compuestos bioactivos del aceite crudo de la semilla y la cáscara de mango ataulfo y aguacate local.....	43
6.7.1. Extracción de compuestos fenólicos totales.....	43
6.7.2. Cuantificación de compuestos fenólicos totales	44
6.7.3. Extracción de carotenoides	44
6.7.4. Cuantificación de carotenoides	45
6.7.5. Determinación de clorofila.....	45
6.8. Contenido de vitamina C, de la cáscara de mango ataulfo y aguacate local.....	46
6.9. Actividad antioxidante de los extractos de compuestos bioactivos de los aceites de semilla y cáscara del mango ataulfo y aguacate local	46
6.9.1. Evaluación de la actividad antioxidante por el método de captación de radicales, DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)	46
6.9.2. Evaluación de la actividad antioxidante por el método de captación de radicales ABTS (2,2-Azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)	47
6.10. Análisis estadístico.....	47
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
7.1. Análisis químico proximal (AQP) de las harinas de cáscara y semilla	49
7.2. Fibra dietética total de la cáscara y semilla de mango ataulfo y aguacate local.	50
7.3. Características fisicoquímicas y composición de ácidos grasos del aceite de la semilla de mango ataulfo y aguacate local	52
7.3.1. Caracterización fisicoquímica.....	52

7.3.2. Composición de ácidos grasos	54
7.4. Compuestos bioactivos del aceite de semilla y cáscaras de mango ataulfo y aguacate local.....	55
7.5. Actividad antioxidante de los extractos de compuestos bioactivos de los aceites de semillas y cáscaras del mango ataulfo	57
8. CONCLUSIONES.....	61
9. PERSPECTIVAS.....	63
10. REFERENCIAS.....	65
ANEXO I. LISTADO DE ABREVIATURAS	77
ANEXO II. ÍNDICE DE ECUACIONES.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Desperdicio de frutas y hortalizas como recurso para la recuperación de compuestos bioactivos.....	8
Figura 2. Estructuras químicas de algunos polifenoles: Ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos y lignanos.....	10
Figura 3. Estructura química del ácido ascórbico.....	12
Figura 4. Estructuras químicas del α -caroteno (a), β -caroteno (b), ϵ -caroteno (c) y licopeno (d).....	13
Figura 5. Estructuras de clorofilas <i>a</i> y <i>b</i>	15
Figura 6. Estructura interna y externa de la semilla de mango.....	18
Figura 7. Mango ataulfo.	20
Figura 8. Aguacate local del estado de Yucatán	24
Figura 9. Diagrama general del procedimiento experimental.....	34
Figura 10. Características del mango ataulfo y aguacate local seleccionados, a) sobremaduración b) hongos y c) daños mecánicos.....	35
Figura 11. Fibra dietética total de la cáscara y semilla de mango ataulfo y aguacate local (g/100g BS)	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales compuestos bioactivos con actividad antioxidante.....	9
Tabla 2. Compuestos bioactivos en cáscara de mango y su actividad antioxidante.....	17
Tabla 3. Compuestos bioactivos en la semilla de mango y su actividad antioxidante....	19
Tabla 4. Compuestos bioactivos en cáscara y semilla de aguacate.....	23
Tabla 5. Análisis químico proximal de las harinas de cáscara y semilla del mango ataulfo y aguacate local. (% B.S*).....	49
Tabla 6. Características fisicoquímicas del aceite crudo obtenido de la semilla de los desperdicios de mango ataulfo y aguacate local.....	53
Tabla 7. Composición de ácidos grasos de aceite de semilla de mango ataulfo y aguacate local (g/100g).....	54
Tabla 8. Compuestos bioactivos analizados en las cáscaras y aceites de semilla de mango ataulfo y aguacate local.....	55
Tabla 9. Actividad antioxidante DPPH y ABTS de los compuestos bioactivos del aceite de semilla y cáscara del mango ataulfo y aguacate local.....	58
Tabla 10. Resumen de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de la cáscara y semilla del mango ataulfo y aguacate local.....	60

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el desperdicio de alimentos ha generado un impacto negativo sobre la seguridad alimentaria, el medio ambiente y el desarrollo económico. De acuerdo al informe presentado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)¹, aproximadamente un tercio de los alimentos producidos para el consumo humano se pierde o se desperdicia, lo equivalente a 1.3 mil millones de ton/año a nivel mundial, estas cifras resultan alarmantes y es probable que la generación de desperdicios alimentarios aumenten de manera gradual en los próximos años, sin la implementación de sistemas alimentarios sostenibles.

En México, el mango y el aguacate, son los alimentos con mayores índices de desperdicio: 54.54% y 53.97%² respectivamente, esto es consecuencia de la selección por estética, daños mecánicos durante la distribución y/o venta, así como la mala organización en las fechas límites de consumo. Sin embargo, los desperdicios de estas frutas tienen el potencial para ser utilizados en la recuperación de compuestos de alto valor como los compuestos bioactivos, que puede generar alternativas en la gestión de los desperdicios alimentarios, así como nuevas oportunidades en la industria alimentaria, farmacéutica o de cosméticos, en vez de ser desechados en basureros.

Los compuestos bioactivos son metabolitos secundarios que se encuentran extensamente en el reino vegetal y se consideran ingredientes no nutricionales pero vitales para el mantenimiento de la salud humana.³ Por ejemplo, los compuestos fenólicos o polifenoles son el grupo más grande de fitoquímicos que desempeñan papeles importantes en la prevención de enfermedades degenerativas, muchas de estas enfermedades están relacionadas con el estrés oxidativo de las especies reactivas de oxígeno (ERO) y nitrógeno (ERN).⁴

Otros compuestos bioactivos son los carotenoides, que son responsables de la coloración roja, naranja y amarilla de algunas frutas o vegetales, entre los cuales se encuentran, el β -caroteno, el α -caroteno y el licopeno considerados los mejores depuradores de oxígeno singlete, la ingesta dietética de estos compuestos presentan efectos deseables contra varios tipos de cáncer.⁵ También se encuentran las clorofilas que son pigmentos verdes típicos en organismos fotosintéticos, tienen interesantes propiedades antioxidantes, antígenotóxicas, antimutagénicas, antiinflamatorios y de prevención del cáncer.⁶

El ácido ascórbico o vitamina C, es un compuestos bioactivo considerado un poderoso antioxidante que suprime la pigmentación y la descomposición de la melanina de la piel mejorando su elasticidad, promoviendo así la formación de colágeno, por lo cual es muy utilizado en productos cosméticos y dermatológicos.⁷ Asimismo, en los desperdicios del mango y aguacate se podría recuperar la fibra dietética la cual ha demostrado

proporcionar varios efectos metabólicos y fisiológicos en el tracto gastrointestinal, también presenta efectos preventivos específicos contra algunas enfermedades, como la diabetes y el cáncer de colon.⁸ En el presente estudio se evaluaron los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante en la cáscara y semilla del mango ataulfo y aguacate local, dos frutas con alto índice de desperdicio en Yucatán.

2. ANTECEDENTES

2.1. Desperdicio de alimentos, problemática nivel mundial

La disponibilidad de suficientes alimentos saludables es esencial para la supervivencia de la especie humana. A pesar de su importancia, se desperdicia una gran cantidad de alimentos comestibles en toda la cadena agroalimentaria, debido a expectativas exageradas, sistemas técnicos y de gestión ineficaces entre otras causas.⁹

El estudio realizado por Gustavsson y col.¹, a través de la FAO, determinó que un tercio de los alimentos destinados al consumo humano se pierde o se desperdicia en todo el mundo, lo que equivale a aproximadamente a 1300 millones de ton/año, afectando la seguridad alimentaria, la calidad e inocuidad de los alimentos, al desarrollo económico y medioambiente.

Por ejemplo, la pérdida de alimentos se asocia con aproximadamente 173 millones de m³ de consumo de agua por año, lo que representa 24% de toda el agua utilizada en la agricultura, también la cantidad de tierras dedicadas al cultivo de alimentos que se erosionan ha sido estimada en 198 millones de hectáreas por año, un área aproximadamente del tamaño de México, a lo que se agrega el uso de 26 a 28 millones de ton de fertilizantes.¹⁰

Una grave preocupación relacionada con los desperdicios de alimentos, es la seguridad alimentaria, sobre todo en países en desarrollo. La FAO¹¹ estima que los alimentos desaprovechados en América Latina serían suficientes para satisfacer las necesidades alimenticias de 300 millones de personas.

A nivel económico, la pérdida de alimentos que pueden evitarse tiene un impacto negativo directo en los ingresos, tanto de los agricultores como de los consumidores. Cabe mencionar que la inseguridad alimentaria es a menudo más una cuestión de acceso que de suministro dada la magnitud de las pérdidas de alimentos, invertir de manera rentable en su reducción podría ser una forma de disminuir el precio de los alimentos siempre y cuando los beneficios financieros procedentes de la reducción de las pérdidas no fueran mayores que sus costes.¹

Se reportó que cada año se desperdician alrededor de un 30 % de cereales; 40-50% de tubérculos, frutas y hortalizas; un 20% de semillas oleaginosas, carne y productos lácteos; y 35% de pescados.¹² Los desperdicios de alimentos dependen en gran medida de las condiciones específicas y situación local de cada país o cultura.

Por desgracia, en cada fase de la cadena de suministros de alimentos ocurre alguna pérdida, sin embargo, la fase más influyente es en la venta al por menor, sobre todo en situaciones en las que no se toman medidas en los embalajes de protección, temperatura

y humedad, así como la exposición en la manipulación de los productos hacia los compradores, especialmente en productos frescos, con el fin de satisfacer la demanda de los consumidores.¹³

Asimismo, los hogares son responsables de la mayor proporción de desperdicios de alimentos que podrían evitarse, siendo las principales causas: la falta de conocimiento sobre los métodos óptimos para almacenar los alimentos, la confusión en la fecha de caducidad y adquisición de alimentos en mayor proporción de lo necesario.¹⁴ Solo en Estados Unidos, el Servicio de Investigación Económica (ERS)¹⁵, estimó que el 31% de los alimentos suministrados se desperdiciaron a nivel minorista y de consumo, siendo 10% las pérdidas en los establecimientos a nivel de venta al por menor y 21% en los hogares.

Dada las grandes cantidades de desperdicios de alimentos que se genera en los hogares y comercios, la prevención en las etapas finales de la cadena agroalimentaria es de suma importancia para ayudar a prevenir un mayor cambio climático^{16,17}, asegurar alimentos para toda la población y por tal motivo evitar pérdidas económicas.

De acuerdo con Morone y col.¹⁸ para promover estrategias para mitigar o combatir el desperdicio de los alimentos, se necesita con urgencia modelos de consumo alternativos y nuevas tecnologías de valorización, por ejemplo el uso de tecnologías sostenibles e integradas como físicas, químicas y de bioconversión que valorizan los residuos agroindustriales, que en un futuro podrían ser usados como materia prima para producir productos de origen biológico. Según Khalid y col.¹⁹ la reducción de los desperdicios de alimentos puede disminuir los costos en productos alimentarios, beneficiar al medio ambiente, mejorar la seguridad alimentaria y la salud humana.

2.2. Desperdicios de alimentos en México

En México, el estudio más reciente en relación a los desperdicios de alimentos se llevó a cabo en 2013 por el grupo técnico de pérdidas y mermas de alimentos coordinado por la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)², en donde se estimó que se desperdicia 20 millones ton/año de alimentos desde la puerta de la granja hasta el comercio minorista y alrededor de 11 millones de ton adicionales proveniente de los hogares y pequeñas empresas, en total los desperdicios representan el 37% de la producción agropecuaria en el país.²⁰ Asimismo, se reportaron los alimentos con mayores índices de desperdicio que fueron: guayaba 57.73%, leche de vaca 57.14%, mango 54.54%, pescados y sardinas 54.07%, aguacate 53.97%, plátano verde y tabasco 53.76%, nopal 53.26%, manzana y perón 49.07%, arroz 46.87%, uva 45.53% y pepino 45.46%.

La cantidad de alimentos desperdiciados en México genera 36 millones de ton de dióxido de carbono y por esta misma causa se estima la pérdida de 40 mil millones de litros de agua por año.²¹ El costo de los desperdicios de alimentos para la economía de México

es significativo, con estimaciones de aproximadamente 500 mil millones de pesos cada año.²² Sabiendo que México es un país donde 53 millones de personas viven en la pobreza, de los cuales 24 millones son inseguros de alimentos y 9 millones viven en la pobreza extrema, por lo tanto, proporcionar alimentos a quienes lo necesitan debería considerarse una prioridad, así mismo si se recuperaran los alimentos desperdiciados, podrían alimentar durante semanas alrededor de 7.4 millones de personas que padecen pobreza extrema y carencia alimentaria en el país.²³

Cabe señalar que han sido muchos los esfuerzos e historias de éxito para el combate de esta problemática alrededor del mundo, desde la consolidación de acuerdos de cooperación y leyes hasta políticas públicas en la materia.

Sin duda uno de los esfuerzos más destacables de la comunidad internacional es haber incluido dentro de las metas contempladas en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, el objetivo 12 sobre producción y consumo responsables, donde se establece la meta de reducir la mitad de los desperdicios de alimentos generados en la venta al por menor y los consumidores, en las cadenas de producción y suministro, incluyendo las pérdidas posteriores a la cosecha.¹¹

Por lo que México se esfuerza en alcanzar el objetivo mencionado, las acciones para atender esta problemática en el país se enfocan en tres áreas claves que son la prevención, la recuperación de los alimentos que pueden aprovecharse y la revalorización de los residuos orgánicos.²⁰ El potencial de los desperdicios alimentarios para crear nuevas oportunidades y mercados se ha subestimado hasta hace muy poco, sin embargo, la conciencia de los consumidores sobre los problemas ambientales y las presiones legislativas, aumenta los requisitos de nuevos métodos para reducir los desperdicios alimentarios, en lugar de su desecho.²⁴

2.3. Desperdicio de alimentos, un recurso para la recuperación de compuestos bioactivos

La recuperación de los desperdicios alimentarios es una forma de recapturar compuestos valiosos y/o desarrollar nuevos productos con valor de mercado, así bien podría reducir significativamente los niveles de desperdicios de alimentos y crear nuevas oportunidades y beneficios para todos los relacionados con un sistema de producción de alimentos, por lo tanto una forma importante de aumentar la sostenibilidad en la cadena agroalimentaria, ya que no se puede ignorar la necesidad de actuar de manera sostenible.²⁴

Nazzaro y col.¹⁴ mencionan que para limitar la producción y la acumulación de desperdicio de alimentos, una ruta es usarlo tanto como sea posible, esto implica la explotación de nuevos usos potenciales, por ejemplo a través de la recuperación de

moléculas biológicamente importantes, que pueden ser interesantes desde diferentes puntos de vista.

Baiano²⁵, afirma que la recuperación de los desperdicios de alimentos, se puede lograr mediante diferentes técnicas de extracción para obtener componentes de alto valor como proteínas, polisacáridos, fibras, componentes de sabor y fitoquímicos, que se pueden reutilizar como ingredientes nutricionales y farmacológicamente funcionales. Sin embargo, estas técnicas dependen del tipo de biomoléculas, matriz de extracción, la relación entre los costos de producción y los valores económicos de los compuestos a extraer.

De igual manera Kumar y col.²⁶, indican que los desperdicios alimentarios, los subproductos de diversas actividades industriales, agrícolas, domésticas y otras actividades del sector alimentario, se encuentran en constante aumento. Por lo que diferentes desechos de alimentos obtenidos de frutas, verduras, cereales y otras industrias de procesamiento de alimentos pueden usarse como fuente potencial de compuestos bioactivos y nutraceuticos, los cuales se han aplicado en el tratamiento de diversas dolencias.

Los compuestos bioactivos se han recuperados de diferentes residuos de alimentos industriales como: hojas, cáscaras comestibles y no comestibles, semillas, desechos, cortezas, huesos, pulpa, tortas de prensa, salvado, orujo, maltas, lúpulo, caparazón de crustáceos y camarones, algas y otros derivados del pescado. Estos compuestos recuperados se han estudiado por sus efectos positivos (antioxidantes, antimicrobianos, inmunomoduladores e hipocolesterolémicos) en la salud humana: enzimas, probióticos, prebióticos, fitoesteroles de fibra, péptidos, proteínas, isoflavonas, saponinas, ácido fítico, entre otros.²⁷

2.3.1. Desperdicio de frutas y hortalizas

Las frutas y las hortalizas tienen un papel crucial en la dieta y en la vida, por lo tanto, ha aumentado la producción de manera significativa como resultado de la creciente población mundial y los cambios en los hábitos alimenticios, pero la falta de métodos e infraestructuras de manipulación adecuados, han provocado enormes desperdicios de estos importantes alimentos, así como de sus componentes.²⁸

De acuerdo a la FAO¹ el 45 % de las frutas y hortalizas se desperdicia a lo largo de la cadena de suministros, los cuales son desechados como basura en vertederos o ríos, lo que representa una amenaza para el medio ambiente debido a su alta biodegradabilidad, lixiviados y emisiones de metano.²⁹

Desafortunadamente los desperdicios de frutas y hortalizas no han sido considerados valiosos, pero el escenario ha cambiado últimamente ya que podrían utilizarse para la recuperación de biomoléculas de gran valor, puesto que son una excelente fuente de pigmentos, compuestos fenólicos, fibras dietéticas, derivados del azúcar, ácidos orgánicos y minerales, entre otros componentes.²⁸

Los desperdicios de frutas y hortalizas, no solo incluye las partes comestibles si no también las partes no comestibles, como las cáscara, semillas, tallos y hojas; en donde se encuentran diversos compuestos bioactivos e incluso en mayores concentraciones que en la pulpa.^{28,30} Por ejemplo se han hallado compuestos bioactivos en las cáscaras de plátano como los fenoles, fitoesteroles, carotenoides (luteína, β -caroteno, α -caroteno, violaxantina, auroxantina, neoxantina, isoluteína, β -criptoxantina y α -criptoxantina), antocianinas, aminos biogénicas, vitaminas (B₃, B₆, B₁₂, C y E), fibras dietéticas (celulosa, lignina, almidón resistente, pectina, hemicelulosas) y muchos otros fitoquímicos con propiedades antioxidantes como la dopamina y la L-dopa.³¹

Las cortezas, cáscaras y las semillas de frutas y verduras poseen altas cantidades de compuestos fenólicos, por ejemplo; la cáscara de papa posee un 50% de fenoles de todo el contenido de compuestos bioactivos.²⁸ En las cáscaras de zanahoria se han hallado una variedad de compuesto de alto valor como la pectina, una fibra dietética soluble que consiste en unidades de ácido D-galacturónico, L-ramnosa, L-arabinosa y D-galactosa, así como otros monosacáridos y carotenoides (α - y β -caroteno).³¹

Aguirre y col.³² recuperaron betacianinas y polifenoles de los tallos y las hojas de la remolacha, para luego encapsularlas en perlas de alginato de Ca (II), las cuales conservaban el 70% de actividad antioxidante, estos compuestos bioactivos han demostrado poseer valiosas cualidades como la protección contra el desarrollo y progresión de muchas condiciones patológicas crónicas.

Las semillas son excelentes fuentes de compuestos como fibras dietéticas y fenoles, además pueden ser usadas para la extracción de aceites, que pudiesen poseer propiedades para el mejoramiento para la salud, como las semillas de dátiles que son excelentes fuentes de compuestos fenólicos y antioxidantes.²⁸ También en algunas semillas de cítricos como el limón, se han recuperado compuestos como la hesperidina, neohesperidina y naringenina, a esta última se le ha relacionado efectos antidiabéticos.³¹

Por lo tanto, los desperdicios las frutas y las hortalizas pueden representar una fuente importante de biomoléculas como; fibras dietéticas, polifenoles y pigmentos, entre otros, que pueden resultar beneficioso para diferentes industrias (Figura 1)

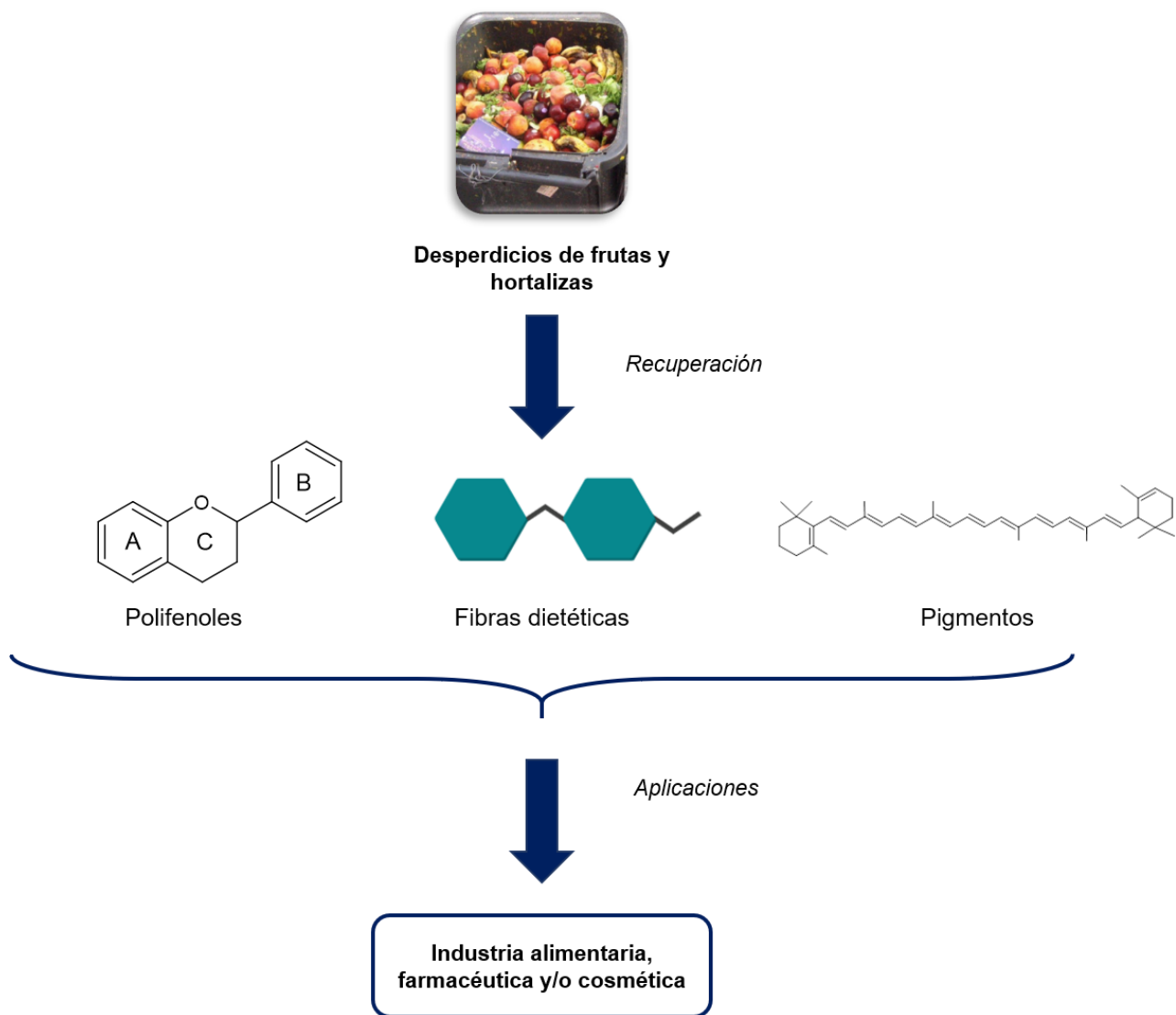


Figura 1. Desperdicio de frutas y hortalizas como recurso para la recuperación de compuestos bioactivos.

2.4. Compuestos bioactivos con actividad antioxidante

Los compuestos bioactivos son fitoquímicos que se encuentra presenten en plantas, frutas, vegetales y recientemente se han recuperado de diferentes residuos agroindustriales (subproductos de pescado, torta prensada, maltas, orujos y otros), los cuales presentan actividades biológicas, relacionadas con su capacidad para modular uno o más procesos metabólicos, lo que resulta en la promoción de mejores condiciones de salud.²⁷

Se han estudiado diferentes compuestos bioactivos por su rol positivo en la salud, como los antioxidantes, estos incluyen una clase heterogénea (compuestos polifenólicos, carotenoides, tocoferoles, fitoesteroles y compuestos organosulfurados) con diferentes estructuras químicas (hidrófilas o lipófilas), rango de concentraciones y como efectividad contra especies oxidativas.⁷

Las especies oxidativas como los radicales libres de oxígeno y otras especies reactivas de oxígeno (ERO), se forman en todos los organismos aeróbicos y desempeñan una gran cantidad de funciones útiles, más sin embargo algunos de ellos pueden causar daño a las biomoléculas ("daño oxidativo"), lo cual contribuye al desarrollo y la progresión de ciertas enfermedades como el cáncer y las enfermedades neurodegenerativas.³³

En cambio, los antioxidantes neutralizan los radicales libres, jugando un papel crucial en la conservación de las funciones celulares, nuestro sistema de defensa incluye antioxidantes endógenos que pueden ser enzimáticos (glutación peroxidasa, superóxido dismutasa y catalasa) o no enzimáticos (ácido úrico, ácido lipoico, bilirrubina, glutación y melatonina) y los antioxidantes exógenos que es donde se enfocara esta investigación, son los obtenidos de fuentes naturales como frutas o vegetales (polifenoles, carotenoides, vitaminas y otros) (Tabla 1).³⁴

Tabla 1.- Principales compuestos bioactivos con actividad antioxidante.

Compuestos bioactivos	Antioxidantes
Vitaminas	Vitamina E y C
Oligoelementos	Zinc y selenio
Carotenoides	B-caroteno, licopeno, luteína, zeaxatina
Ácidos fenólicos	Acido clorogénicos, ácido gálico y cafeico, etc.,
Flavonoles	Quercetina, kaempferol, miricetina
Flavanoles	Proantocianidinas y catequinas
Antiocianidinas	Cianidina y pelogonidina
Isoflavonas	Genisteína, daidzeina y glicetina
Flavononas	Naringenina, eriodictyol y hesperetina
Flavonas	Luteolina y apigenina

Fuente: Bouayed y Bohn.³⁴

2.4.1. Polifenoles

Los polifenoles son el grupo más grande de fitoquímicos (Figura 2) y muchos de ellos se han encontrado en alimentos de origen vegetal y son considerados fuentes antioxidantes que complementan y se suman a las funciones de las vitaminas y enzimas antioxidantes como defensa contra el estrés oxidativo causado por el exceso de ERO.⁴

La característica aromática y el sistema altamente conjugado con múltiples grupos hidroxilo permiten que estos compuestos sean buenos donantes de electrones o átomos de hidrógeno, neutralizando los radicales libres y otras ERO.³⁶ A través de los años se le ha atribuido a los polifenoles el rol en la prevención de enfermedades degenerativas, particularmente los cánceres, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, esta evidencia es respaldada con estudios *in vivo*.³⁷

Un importante compuestos fenólicos son los flavonoides, lo cuales han mostrado una fuerte actividad antioxidante en sistemas *in vitro*, principalmente gracias a su bajo potencial de oxidación lo que les confiere capacidad de estabilizar radicales libres donando electrones o átomos de hidrógeno.³⁸

Los compuestos fenólicos han sido hallados en algunos alimentos como en el aceite de semilla de sésamo (1294.1 mg de ligandanos/100g), harina de soya (572.3 mg de flavonoides/100g) y vino rojo (3.4 mg estilbenos/100g).³⁵ Actualmente se han encontrado otras fuentes naturales de compuesto fenólicos como en las cáscaras de mandarina (naringin), cáscara de naranja (hesperidina) y residuos de semilla de grosella negra después de la extracción de aceites (fenoles), los cuales han sido destinados a diferentes aplicaciones industriales.²⁹

Los fenoles antioxidantes destinados a aplicaciones farmacéuticas y alimentarias son un objetivo común en las estrategias de recuperación y valorización de los desperdicios de frutas y verduras, ya que se han asociado con una reducción en la incidencia de enfermedades como el cáncer, enfermedades cardíacas, daño hepático y trastornos neurodegenerativos y también son adecuados para aplicaciones alimentarias en sustitución de otros antioxidantes químicos con toxicidad documentada, como BHA y BHT.³⁹

2.4.2. Ácido ascórbico

El ácido ascórbico o la vitamina C (Figura 3) es un fuerte antioxidante que se encuentra principalmente en frutas y verduras, los seres humanos son incapaces de sintetizarlo a falta de la enzima L-gulonolactona oxidasa, por lo que se requiere obtenerlo de la dieta, ayuda a prevenir el escorbuto y se le atribuye efectos anticancerígenos, también actúa en combinación con otros antioxidantes primarios como los carotenoides, enzimas antioxidantes y con la vitamina E regenerando el α -tocoferol desde el radical α -tocoferilo en membranas y lipoproteínas.³⁸

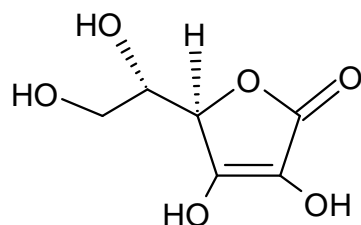


Figura 3. Estructura química del ácido ascórbico. Fuente: Shahidi y Ambigaipalan.³⁵

El ácido ascórbico un antioxidante soluble en agua y su mecanismo de inhibición de la oxidación se basa principalmente en su potencial reductor, puede actuar como un eliminador de oxígeno, eliminando los radicales libres generados en la fase acuosa y mantiene los compuestos de hierro en un estado no catalítico reducido, además es el único antioxidante endógeno en plasma que puede proteger contra el daño peroxidativo inducido por radicales peroxilo.⁴⁰

El ácido ascórbico tiene una oxidación monovalente reversible que facilita la pérdida de electrones, lo que desempeña un papel importante en el sistema de reducción de la oxidación bioquímica, participando en muchas reacciones de transporte electrónico, como la biosíntesis de colágeno, la degradación del ácido 4-hidroxibenzoico, la síntesis de noradrenalina y la desaturación de ácidos grasos saturados.⁴¹

A nivel molecular, es un potente agente reductor, como los solubles en grasa (vitamina E) y como tal posee importancia general como antioxidante, por lo tanto, afecta el potencial "redox" del cuerpo, es decir los estados relativos de oxidación / reducción de otras sustancias solubles en agua dentro y fuera de las células, comúnmente es usado como conservante natural en productos alimenticios.⁷

Se ha recuperado vitamina C de las cáscaras de zanahoria (3.5 mg de ácido ascórbico/100 g), la cual ha sido incluida en productos alimentarios que han tenido un impacto benéfico en la presión arterial, enfermedades cardíacas, infecciones virales, asma y en la prevención de la degeneración muscular.³¹ Por lo tanto también es un objetivo para ser recuperado en desperdicios de frutas y hortalizas.

2.4.3. Carotenoides

Los carotenoides son un grupo de aproximadamente 700 compuestos orgánicos responsables de la pigmentación amarilla, naranja, roja o púrpura de muchas frutas y verduras. Los carotenoides de hidrocarburos, es decir, β -caroteno, licopeno se conocen como carotenos, mientras que los derivados oxigenados se denominan xantofilas, estos compuestos son uno de los principales grupos de pigmentos naturales, su principal uso es en la adición en productos alimenticios como refrescos, lácteos, postres, salsas y condimentos, por lo que son considerados una herramienta útil para la modificación del color en los alimentos y al mismo tiempo mejorar sus propiedades antioxidantes y nutricionales.⁴²

Los carotenos y xantofilas son antioxidantes solubles en lípidos, que principalmente reprimen el oxígeno singlete en sistemas *in vitro* e *in vivo*, estos carotenoides consisten en cadenas largas, alifáticas y sistemas conjugados de dobles enlaces que sirven como cromóforos que absorben la luz (Figura 4), se encuentran presentes principalmente en el exoesqueleto de animales marinos como crustáceos, algas, frutas y verduras de colores como espinacas, col rizada, guisantes, judías verdes, espárragos, maíz amarillo, tomates, pimientos rojos y zanahoria.⁴⁰

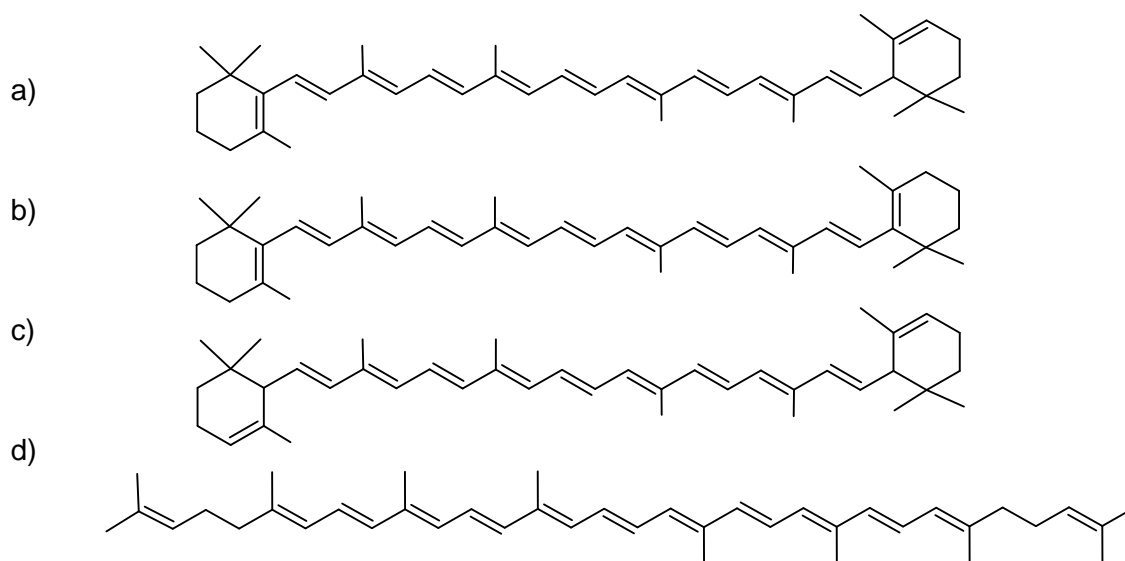


Figura 4. Estructuras químicas del α -caroteno (a), β -caroteno (b), ϵ -caroteno (c) y licopeno (d). Fuente: Shahidi y Ambigaipalan.⁴⁰

Una de las funciones fisiológicas más importantes de los carotenoides principalmente β -caroteno es su acción como precursores de la vitamina A y también por su actividad como antioxidante, eliminan los radicales peroxílicos mediante la adición de radicales al sistema conjugado estabilizado por resonancia.³⁵

Los carotenoides han demostrado que previenen el daño por fotosensibilidad en bacterias, animales y humanos e inhiben la inducción tumoral provocada por los rayos UV y agentes químicos, así también disminuye las lesiones premalignas en humanos, ya que su principal mecanismo de estabilización de radicales libres está determinado por su capacidad para estabilizar el oxígeno singlete y convertirlo nuevamente a su forma menos reactiva (triplete) a expensas de una activación intramolecular.³⁸

Las xantófilas, los carotenoides oxigenados, incluyen astaxantina, cantaxantina, zeaxantina, criptoxantina, luteína, rodovibrina, capsantina, rodoxantina, violaxantina, flavoxantina, luteocromo, bixina, crocetina y fucoxantina, principalmente la astaxantina puede proteger a las neuronas de la retina, así como al sistema nervioso central, especialmente el cerebro y la médula espinal, de los daños causados por los radicales libres.⁴⁰ Otras funciones de estos compuestos es en la mejora del sistema inmológico, la

señalización celular, efectos antiinflamatorios y las interacciones con las hormonas sexuales y de crecimiento.⁵

Se ha obtenido algunos carotenoides del orujo de zanahoria como α -caroteno y β -caroteno, también de las cáscaras de plátano (palmitato caprato, xantofilas y laurato) ²⁸, del orujo de tomate y de la cáscara de tomate como licopenos, luteína, β -caroteno y *cis*- β -caroteno, los cuales se podrían usar como conservantes naturales de alimentos o bebidas, ya que prolongan la vida útil del producto y aumentan la actividad antioxidante.²⁹ Por eso, estos compuestos valiosos pueden ser evaluados para su recuperación en los desperdicios de frutas y hortalizas, para futuros desarrollos tecnológicos.

2.4.5. Clorofilas

Los compuestos de clorofila son pigmentos omnipresentes en algas fotosintéticas, bacterias, plantas superiores y vegetales verdes, es considerado un pigmento fotosensible para la recolección de la luz, su estructura general consiste en un anillo de porfirina unida al átomo de Mg, un enlace de fitol de 20 carbonos en C17, lo que le permite ser altamente hidrófoba y por lo tanto su incorporación membranas lipídicas biológicas.⁴³

En la dieta diaria, estos compuestos fotoquímicamente activos se asocian con beneficios potenciales para la salud de los seres humanos, como los efectos antimutagénicos, las propiedades antígenotóxicas y potente capacidad antioxidante para eliminar los radicales libres, evitando la oxidación de los lípidos.⁴⁴

Las diferentes actividades fisicoquímicas de las clorofilas apoyan varias acciones biológicas que pueden producir un impacto beneficioso en la salud humana al prevenir el efecto perjudicial de posibles carcinógenos químicos, su potente actividad antioxidante prolongan la fase de retraso de la reacción en cadena que oxida los triglicéridos en los aceites en la oscuridad.⁴⁵

La clorofila *a* se encuentra en todos los organismos fotosintéticos, excepto en algunos grupos de bacterias, típicamente, en plantas superiores, solo las clorofilas *a* y *b* (Figura 5) están presentes en proporciones entre 3:1 y 1:1 dependiendo de la maduración, especie, luminosidad, estrés y otros factores.⁴⁴

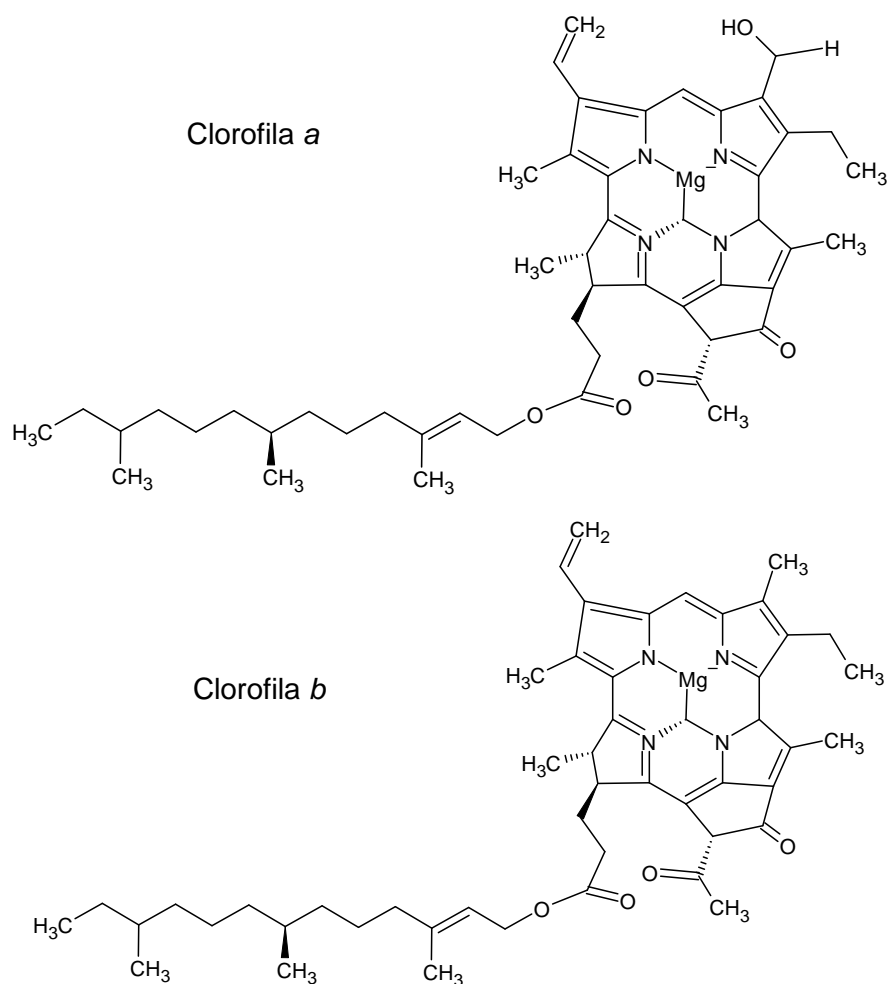


Figura 5. Estructuras de clorofilas *a* y *b*. Fuente: Hsu y col.⁴³

Las propiedades antioxidantes de las clorofilas y sus derivados han sido claramente demostradas por varios estudios en modelo *in vivo*, algunas propiedades beneficiosas se han atribuido a la clorofila, como los efectos positivos sobre la inflamación, la oxidación y la cicatrización de heridas, además la clorofila y la clorofilina pueden formar complejos con posibles carcinógenos como la aflatoxina-B1, dichos complejos formados podrían reducir la absorción gastrointestinal de sustancias cancerígenas del organismo.⁴²

2.5. Mango

El mango (*Mangifera indica* L.), pertenece a la familia de las *Anacardiaceae*, es una de las frutas más cultivadas en todo el mundo.⁴⁶ México es uno de los principales productores de mango, en 2017 ocupó el 5^o lugar en producción a nivel mundial con

1,958 millones de ton.⁴⁷ También es considerado uno de los principales exportadores de mango (41% del mercado mundial), siendo el mango ataulfo uno de los cultivares más consumidos y exportados de México a los Estados Unidos.⁴⁸

Sin embargo, en México se desperdicia el 54.54%² de la producción anual de mango, diferentes factores pueden estar asociados al alto índice de desperdicio de esta fruta, a menudo está sujeta a laceraciones durante su distribución debido a malas prácticas de manufactura e incluso las deformidades en el fruto es un factor para su desecho, también la descomposición por el hongo de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), que ocasiona manchas oscuras en la cáscara del fruto, hasta la muerte del tejido vegetal.⁴⁹

Los desperdicios de mango están ocasionando problemas ambientales y pérdidas económicas, por lo que es necesario encontrar soluciones sostenibles para disminuir los daños asociados a los desperdicios. La fruta del mango es considerada una excelente fuente de antioxidantes dietéticos, como el ácido ascórbico, los carotenoides y especialmente los compuestos fenólicos, por lo cual presenta potencial para recuperar dichos compuestos de gran valor, para futuras aplicaciones industriales.⁵⁰

Palafox y col.⁵¹ reportaron los principales compuestos fenólicos encontrados en la pulpa del mango, como la leucocianidina, la catequina, la epicatequina, el ácido clorogénico y la quercetina. Sin embargo, las cáscaras y las semillas de mango contienen niveles importantes de compuestos bioactivos, incluso más que en la pulpa, tales como fibra dietética, compuestos fenólicos, carotenoides y vitaminas.³¹

2.5.1. Cáscara de mango

La cáscara del mango representa aproximadamente del 7-24% del peso de la fruta en total, es una excelente fuente de polifenoles, carotenoides, enzimas, vitamina E y C, con predominante actividad antioxidante.⁵² De acuerdo a la variedad, las cáscaras presentan una cantidad significativa de fibra dietética total (45-78%) distribuida en soluble (16-28%) e insoluble (29-50%)⁵³, por lo que puede ser un ingrediente en alimentos funcionales con actividad hipoglucemiante, hipocolesterolemia e hipotrigliceridemia.⁵⁴

Rojas y col.⁵⁵ demostraron que las cáscaras de mango (*M. indica* var. ataulfo), son una fuente importante de pectina y polifenoles con un rendimiento de hasta 102.14 mg/g y 25.01 mg/g respectivamente, por lo que sugirieron futuras aplicaciones de polifenoles como antioxidantes naturales en las matrices de alimentos y las características de la pectina tienen potencial como un biomaterial que puede explotarse y utilizarse en la industria alimentaria, farmacéuticas y otras.

Jiang y col.⁵⁶ aislaron dos compuestos de alto valor, a partir de la cáscara de mango, el galato de etilo y el penta-O-galloil-glucósido, estos compuestos poseen potentes actividades de eliminación de radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$), anión superóxido (O_2^-) y oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$). En la Tabla 2 se presentan otros compuestos bioactivos hallados en la cáscara de mango.

Tabla 2.- Compuestos bioactivos en cáscara de mango y su actividad antioxidante.

Subproducto	Compuesto bioactivo	Concentración	Actividad antioxidante	Referencia
Cáscara	Polifenoles, carotenoides, clorofila, fibra dietética, vitaminas	Polifenoles: 7.7- 9.2 mg EAG/100 g	*DPPH: 11-56 g ET /100g	Dorta y col. ⁵⁷
		Clorofila total: 13 - 130 µg/g	*ABTS: 12-15 g ET /100g	
		Polifenoles: 8.1- 29.5 mg EAG/g	No detectado	Ajila y Prasada-Rao. ⁵⁸
		Fibra dietética: 406- 725 mg/g		
		Polifenoles: 2032- 3185 mg EAG/100 g	*ABTS: 168-197 µmol ET /g	Sogi y col. ⁵⁹
	Carotenoides: 0.37- 4.05 mg β-caroteno/ 100 g	*DPPH: 176-219 µmol ET /g		
	Vitamina C: 0.68- 0.84.7mg ácido ascórbico/g	*FRAP: 112-134 µmol ET /g		
		*ORAC: 418- 776 µmol ET /g		
	Polifenoles: 1838.3- 3553.2 mg EAG/100 g	DPPH: 4480-6280 µmol TE/100 g	Castro-Vargas y col. ⁶⁰	
	Carotenoides: 1.12- 1.22 mg all-trans-β-caroteno/g	No detectado	Sánchez-Camargo y col. ⁶¹	

GAE, equivalentes de ácido gálico; ET, equivalentes de trolox; ABTS, 2,2-Azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico; DPPH, ,2'-azino-di (3-etilbenzotazohín sulfonato); ORAC, capacidad de absorción de radicales de oxígeno; FRAP, poder antioxidante reductor férrico.

*Actividad antioxidante correspondiente a los polifenoles.

Por otro lado Ajila y col.⁵⁸ incorporaron harina de cáscara de mango para mejorar la calidad nutricional de macarrones, los resultados revelaron que la harina de cáscara mejoro las características nutricionales y de textura. El contenido de polifenoles aumentó de 0.46 mg GAE/ g a 1.80 mg GAE/g, también aumentó el contenido de fibra dietética de 8.6% a 17.8% y la perdida de cocción aumento de 5.84% a 8.71%, de tal manera que la cáscara de mango puede utilizarse para la preparación de macarrones con propiedades nutricionales mejoradas.

2.5.2. Semilla de mango

Dependiendo de la variedad, la semilla del mango (Figura 6) consta de aproximadamente 29% del endocarpio fibroso, 68% de grano y 3% de testa, su composición en peso seco es de 11% es grasa, 6% proteína, 77% carbohidratos, 2% cenizas y 2% fibra cruda.⁶²

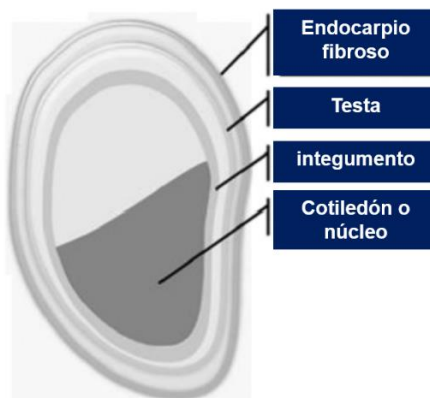


Figura 6. Estructura interna y externa de la semilla de mango. Fuente: Torres y col.⁵⁰

El contenido de grasa de las semillas de mango han atraído un gran interés debido a sus características fisicoquímicas que son similares a las de manteca de cacao, illipe, karité, kokum y mantequilla salada, al igual que la composición de ácidos grasos que constan 52-56% de ácidos grasos insaturados y 44-48% de ácidos grasos saturados, principalmente ácido esteárico.⁵²

El núcleo del mango es una fuente rica de compuestos bioactivos como el ácido gálico, ácido elágico, ácido ferúlico, ácidos cinámicos, taninos, vainillina, cumarina y mangiferina, todos con potencial para actuar como una fuente de antioxidantes naturales.⁵⁹

Se ha reportado que los granos de semilla de mango contienen una cantidad considerable de compuestos bioactivos (Tabla 3) como los fenólicos totales, (mangiferina, isomangiferina, homomangiferina, quercetina, kaempferol, antocianinas), ácidos fenólicos (gálico, protocatechuico, ferúlico, cafeico, cuárico, elágico, 4-cafeoilquínico) y antioxidantes minerales (potasio, cobre, zinc, manganeso, hierro, selenio).⁶³

Otros compuestos bioactivos hallados en extractos de semilla de mango son : El ácido gálico y el ácido elágico, fitoquímicos que se consideran una fuente potencial de ingredientes alimentarios funcionales por su alta capacidad antioxidante, también la mangiferina es un polifenolxantona con una fuerte actividad antioxidante, se ha demostrado efectos contra la enfermedad de Alzheimer, la quercetina otro fitoquímico reportado en la semilla, es un flavonoide que ha atraído un gran interés porque es un potente antioxidante con efectos anticancerígenos probados.⁵⁰

Tabla 3.- Compuestos bioactivos en la semilla de mango y su actividad antioxidante.

Subproducto	Compuesto bioactivo	Concentración	Actividad Antioxidante	Referencia
Semilla	Polifenoles, carotenoides, Vitamina C, fibra dietética	Polifenoles: 21.9-399.8 mg EAG/g. Carotenoides: 0.79 mg β -caroteno/100 g Vitamina C: 74 mg/100g.	*DPPH: 18-34 g ET/ 100 g *ABTS: 32-22 g ET/ 100 g	Torre-León y col. ⁵⁰
Núcleo		Polifenoles: 11,228- 44,760 mg EAG/100 g Vitamina C: 61.22-74.48 mg ácido ascórbico/ 100g Carotenoides: 0.37-0.79 mg β -caroteno/100 g	*ABTS: 1110-1724 μ mol ET/ g *DPPH: 1311-1800 μ mol ET/ g *FRAP: 666-942 μ mol ET/g *ORAC: 1547-1790.8 μ mol ET/ g	Sogi y col. ⁵⁹
		Polifenoles: 598.4 mg EAG/g	ABTS: 481.5-3658 mg ET/g FRAP: 455.1-5375.9 mg ET/ g DPPH: 248-1025 mg ET/ g	Torres-Léon y col. ⁶⁴
Aceite		Polifenoles: 98.7 mg EAG/ g	No reportado	Kittiphoom y Sutasingee. ⁶⁵
		Polifenoles: 53.5-118.1 mg EAG/ g	No reportado	Adam y col. ⁶⁶

GAE, equivalentes de ácido gálico; ET, equivalentes de trolox; ABTS, 2,2-Azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico; DPPH, ,2'-azino-di (3-etilbenzotazohín sulfonato); ORAC, capacidad de absorción de radicales de oxígeno; FRAP, poder antioxidante reductor férrico.

*Actividad antioxidante correspondiente a los polifenoles.

2.5.3. Mango ataulfo

El mango ataulfo (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) es la variedad más importante exportado de México a los Estados Unidos, entre las variedades Kent, Tommy Atkins y Keitt, es el que presenta mayor contenido fenólico y actividad antioxidante en su pulpa.^{48,67} Se caracteriza por su sabor dulce y cremoso, textura suave y firme sin fibras, la cáscara es amarillo vibrante con tintes dorado profundo, con forma ovalada y plana (Figura 7).^{68,69}



Figura 7. Mango ataulfo. Fuente: National Mango Board.⁶⁹

Sin embargo, el estudio realizado por Palafox y col.⁴⁸ determinó que los procesos fisiológicos y de maduración influyen en el contenido de compuestos fenólicos en la pulpa del mango ataulfo, estos tienden a disminuir con la maduración de la fruta, pero con respecto a los flavonoides no se observaron disminución alguna.

Torre y col.⁷⁰ reportaron la composición de las cáscara de mango ataulfo; 88.87% carbohidratos, 5.05% de proteínas, 4.33% de cenizas, lípidos 1.78% y fibra total 24.35%, en donde la pectina es el mayor componente de la fibra soluble en la cáscara del mango ataulfo, este polisacárido es comúnmente usado como un aditivo alimentario por sus propiedades espesantes, gelificante y emulsionantes.

Monribot y col.⁷¹ identificaron que los principales compuestos fenólicos presentes en la cáscara del mango ataulfo son la catequina, quercetin-3-d-galactósido, isoquercetina y quercetina, esto indica que esta variedad es una fuente importante de compuestos fenólicos con alto potencial para la generación de productos nutracéuticos.⁷¹

Torres y col.⁷⁰, desarrollaron recubrimientos y películas biodegradables para melocotones a base de cáscaras de mango ataulfo y extractos antioxidantes de sus semillas, donde mostraron una reducción de producción de etileno 64% y 29% dióxido de carbono en los melocotones, por lo tanto la cáscara del mango ataulfo pueden ser adecuados para la producción de envases biodegradables y de bajo costo.

2.6. Aguacate

El aguacate (*Persea americana*) pertenece a la familia *Lauraceae*, es un importante fruto comestible y con alto valor comercial, el género *Persea* tiene más de 150 especies, de las cuales 70 especies crecen en regiones cálidas de América.⁷²

En la actualidad se reconocen tres razas: La mexicana (*P. americana* var. *drymifolia*), la guatemalteca (*P. americana* var. *guatemalensis*) y la antillana (*P. americana* var. *americana*), la mayoría de las variedades comerciales de aguacate son híbridos interraciales desarrollados a partir del intercambio de materiales entre las diferentes razas, las cuales pueden diferenciarse sobre la base de sus características morfológicas, fisiológicas y de cultivo.⁷³

México cosecha más del 30% (2 millones de ton) de los aguacates en todo el mundo, representando el principal productor y exportador, por lo que se ha convertido en un cultivo de gran interés representando un gran impacto económico.⁷²

Sin embargo, el 53.97%² de la producción anual de aguacate se desperdicia, muchos son los inconvenientes que desprecian el valor comercial del aguacate, como el pardeamiento enzimático catalizado por la enzima polifenoloxidasas, malformaciones, daños mecánicos durante la distribución y/o venta o el ataque del hongo de la antracnosis, las consecuencias de ello es la aparición de manchas oscuras hundidas circulares o angulares, lo que le quita estética al fruto y por lo tanto su desecho.⁷⁴

Debido a su contenido nutricional y beneficios para la salud, los desperdicios de esta fruta deben ser aprovechados, para reducir el volumen de desperdicios que se producen y por ende los daños medioambientales que ocasiona. Por ejemplo el aceite extraído del aguacate se utiliza para aplicaciones dermatológicas y la porción insaponificable tiene efectos beneficiosos contra la osteoartritis.⁷⁵ En comparación con otros aceites vegetales, el aceite de pulpa de aguacate contiene altos niveles de ácidos grasos monoinsaturados (ácidos oleico y palmitoleico), cantidades bajas de ácidos grasos poliinsaturados (ácido linoleico) y una cantidad significativa de ácidos grasos saturados (ácidos palmítico y esteárico).⁷²

La cáscara y la semilla del aguacate representan una fuente de compuestos bioactivos como los compuestos fenólicos con capacidad antioxidante mayor a otras frutas como los arándanos, otras aplicaciones futuras es la extracción de aceites esenciales y fibras, que actualmente son ingredientes muy buscados para la elaboración de alimentos y otros productos.^{72,76}

2.6.1. Cáscara de aguacate

Las cáscaras representan el 14% del peso de la fruta de aguacate, poseen una gran cantidad de antioxidantes que son responsables del sistema de defensa de las plantas contra diferentes tipos de estrés, como la temperatura y la luz, con potencial para la prevención de enfermedades degenerativas.⁷⁷

Figuroa y col.⁷⁵ identificaron los principales compuestos presentes en extractos de la cáscara del aguacate "Hass", entre estos están; Los ácidos cinámicos lo cuales ofrecen muchas propiedades para la salud, como los efectos antioxidantes, antiinflamatorios, antibacterianos, antidiabéticos, anticancerígenos, antienvjecimiento y neuroprotectores ; ácido clorogénico el cual exhibe propiedades hipoglucemiantes ,hipolipidémicas y antioxidantes; p- ácido cumárico exhiben actividad antimicrobiana mientras que el ácido cafeico podría poseer actividad antitumoral contra de colon carcinogénesis y los ácidos hidroxibenzoicos, como el ácido vanílico, se utilizan como potenciadores del sabor.

2.6.1. Semilla de aguacate

La semilla del aguacate representa aproximadamente el 16% del peso de la fruta, usualmente no presenta un uso comercial a pesar de que algunos estudios sugieren el potencial de la semilla de aguacate como anticancerígeno, antiinflamatorio, antidiabético, antihipertensivo, hipocolesterolémico, antimicrobiano e insecticida, el campo es limitado.³¹

Figuroa y col.⁷⁵ identificaron 84 compuestos polares en la semilla de aguacate y la cubierta de la semilla, de los cuales 45 compuestos fenólicos, se identificaron por primera vez. Entre los principales grupos representativos se encontraron, taninos condensados, ácidos fenólicos y flavonoides, en esta misma investigación se descubrió que la semilla de aguacate y los extractos de la cubierta de la semilla tienen actividades antioxidantes significativas, lo que fomenta el uso de las semillas y la cubierta de la semilla para uso como ingrediente en la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria.

Por otra parte, Chel y col.⁷⁸ caracterizaron el almidón de la semilla de aguacate, lo cual sugirieron que presenta aplicaciones potenciales como espesante y gelificante en sistemas alimentarios, como vehículo en sistemas farmacéuticos y como ingrediente en polímeros biodegradables para envasado de alimentos.

Recientemente Rengifo y col.⁷⁹ caracterizaron el aceite de semilla de aguacate variedad Hass, así como su actividad antioxidante, reportaron que el aceite presentaba un alto perfil de ácidos grasos, como el ácido linoleico (48.77%) y ácido linolénico (12.17%), omega-6 y omega-3, los cuales son considerados nutricionalmente esenciales, pues actúan como precursores de metabolitos que previenen el cáncer colorectal, artritis reumatoide y enfermedades cardiovasculares.

El aceite de semilla de aguacate presenta una mayor variedad de ácidos grasos que el aceite de pulpa del aguacate, este último posee mayor concentración en ácidos grasos monoinsaturados que el de la semilla, que es rico en ácidos grasos poliinsaturados.⁷⁰

Las propiedades físicas y químicas de los constituyentes lipídicos, los polifenoles, el almidón, las fibras y el bajo costo de la cáscara y la semilla del aguacate, representan materiales potenciales de ingredientes bioactivos (Tabla 4) para su uso en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica.

Tabla 4. Compuestos bioactivos en cáscara y semilla de aguacate.

Subproducto	Compuestos bioactivos	Concentración	Actividad antioxidante	Referencias
Cáscara	Polifenoles, flavonoides, fibra dietética.	Polifenoles: 63.5-120.3 mg EAG/g	*DPPH: 310-420.5 μ mol ET/ g	Tremocoldi y col. ⁸⁰
		Procianidina: 283-48.4 μ g/mg		
		Epicatequina: 30.4-40.2 μ g/mg		
		Polifenoles: 51.8 mg EAG/g	*DPPH: 112.2 mmol ET/100g	Saavedra y col. ⁸¹
		Polifenoles: 181.2 mg EAG/ 100 g	*DPPH: IC ₅₀ = 46.5 μ g/ml	Morais y col. ⁸²
		Flavonoides: 156.4 mg EQ/ 100g		
Cáscara	Polifenoles y taninos	Polifenoles: 25.32 EC/g	*TEAC: 0.161 mmol ET / g	Kosinka y col. ⁸³
		Fibra dietética: 191.24 g/ kg	DPPH: 161.1 μ mol ET/g	Rotta y col. ⁸⁴
		Polifenoles: 621.36 mg EAG/ kg	*DPPH: 763 μ mol ET/g	
		Polifenoles: 57.3-59.2 mg EAG/g	*DPPH: 410.7-564.9 μ mol ET/ g	Tremocoldi y col. ⁸⁰
		Procianidina B1: 1.5-2.3 μ g/ mg		
		Epicatequina: 10.3-11 μ g/mg		
Semilla	Polifenoles y taninos	Polifenoles: 9.5 mg EC/ g	*TEAC: 0.09 mmol ET/g	Kosinka y col. ⁸³
		Procianidina A1: 81.7 μ g/ g		
		Procianidina A2: 89.3 μ g/g		
		Polifenoles: 400 mg/100g	No detectado	López-Cobo y col. ⁷⁶
		Flavan-3-ols: 16.5 mg/100g		
		Polifenoles: 155.3 mg EAG/100g	*DPPH: IC ₅₀ =370.2 μ g/ml	Morais y col. ⁸²
Semilla	Polifenoles y taninos	Flavonoides: 30 mg EQ/100g		
		Polifenoles: 41.3 mg EAG/g	DPPH: 165.8 mmol ET/ 100g	Saavedra y col. ⁸¹

Fuente: Coman.³¹

GAE, equivalentes de ácido gálico; ET, equivalentes de trolox; EQ, equivalente de quercetina; EC, equivalentes de catequina; ABTS, 2,2-Azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico; DPPH, ,2'-azino-di (3-

etilbenzotazohín sulfonato); ORAC, capacidad de absorción de radicales de oxígeno; FRAP, poder antioxidante reductor férrico.

*Actividad antioxidante correspondiente a los polifenoles

2.6.2. Aguacate local

El aguacate tiene una gran diversidad de variedades entre las cuales se encuentra el aguacate mantequilla o aguacate local. Esta variedad se cultiva en el sureste de México, procedente de la raza *Persea americana* var. *americana*, la cual presenta un gran potencial para mejorar su presencia a nivel nacional, solo en 2016 se cosecharon 10,716 ton de aguacate local en Yucatán, posicionándose entre los diez estados a nivel nacional en la producción de aguacate.^{85,86}

Ticul, Chumayel, Akil, Oxkutzcab y Dzan son considerados municipios con alta productividad para para producir aguacate local, produciendo más de 17 toneladas por hectárea, por tal motivo, se han tomado políticas para aumentar la producción del aguacate en la región sureste.⁸⁷ Esta variedad de aguacate (Figura 8) es muy preciada y comercializada en el sureste del país, una de las ventajas de su comercialización, es el bajo precio comparado con el aguacate “Hass”, siendo aproximadamente 70.4 pesos el kg y 58.9 pesos el kg en el caso del aguacate local, además de su sabor y textura como acompañante de platillos típicos.⁸⁸



Figura 8. Aguacate local del estado de Yucatán. Fuente: Revista de Yucatán.⁸⁵

El aguacate local (*P. americana* var. *americana*) es un árbol frutal nativo de América tropical, sus frutos han sido utilizado durante mucho tiempo como alimento para reducir el colesterol, fortalecer los bases sanguíneos, regular las hormonas, antienvjecimiento y como prevención al estreñimiento, se ha informado que sus hojas exhiben actividad antifúngica, antiinflamatoria, antioxidantes.⁸⁹

Los lípidos es uno de los factores más importantes en el aguacate, ya que contiene una gran cantidad de glucolípidos que son importantes en varios procesos celulares , así como ácidos monoinsaturados, que son efectivos para reducir niveles de lipoproteína de baja densidad (LDL) y aumento de niveles de lipoproteínas de alta densidad (HDL), el contenido mineral en estas variedades incluye una abundante cantidad de potasio,

fosforo, magnesio, calcio y sodio, otros minerales como el hierro, zinc se han encontrado en 1 mg/g de peso de la fruta.⁷²

Una ventaja relevante del aguacate es la presencia de vitamina E, β -caroteno, retinol, ácido ascórbico, tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina, ácido fólico que son importantes sobre todo en la salud y el bienestar.⁹⁰ Por eso su estudio debe profundizarse, debido a los componentes de alto valor que posee.

3. HIPÓTESIS

Las cáscaras y semillas de mango ataulfo y aguacate local considerados desperdicios de alimentos son fuente de compuestos bioactivos con potencial tecnológico y funcional.

4. JUSTIFICACIÓN

En la última década los desperdicios de alimentos han generado graves problemas ambientales, costos económicos e inseguridad alimentaria en todo el mundo, lo que conlleva a la concientización de esta problemática. Desde el 2015 la Organización de las Naciones Unidas (ONU)⁹¹, a través del objetivo 12 de la agenda para el desarrollo sostenible, publicó una convocatoria para reducir todos los desperdicios de alimentos generados en la cadena agroalimentaria para el año 2030.

Por lo tanto, una alternativa para el aprovechamiento de los residuos es mediante la recuperación de compuestos de alto valor como fibras dietéticas, aceites esenciales, polifenoles, pigmentos y vitaminas. Estos podrían ser usados en diferentes industrias como la alimentaria para el desarrollo de alimentos funcionales o enriquecidos, en la industria de la salud para medicamentos y/o productos farmacéuticos o en la industria textil, entre otros. El mango y el aguacate son alimentos que presentan altos índices de desperdicios, a pesar de que son fuentes potenciales de nutrientes y compuestos bioactivos, por lo tanto, al ser desechados se pierden todos los componentes que podría generar oportunidades industriales.

En el presente estudio evalúan diferentes compuestos bioactivos y la potencial actividad antioxidante de la cáscara y la semilla del mango ataulfo y aguacate local, considerados desperdicios. Se pretende contribuir en la generación de conocimiento y establecer perspectivas para futuras investigaciones y aplicaciones tecnológicas.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar los compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de la cáscara y la semilla del mango ataulfo (*Mangifera indica* L., cv. ataulfo) y del aguacate local (*Persea americana* var. *americana*), dos frutas consideradas con alto índice de desperdicio.

5.2. Objetivos particulares

1. Determinar la composición químico proximal y el contenido de fibra dietética total de las semillas y cáscaras del mango ataulfo y aguacate local.
2. Determinar las características fisicoquímicas y composición de ácidos grasos del aceite crudo de las semillas de mango ataulfo y aguacate local.
3. Determinar el contenido polifenoles totales, carotenoides y clorofila del aceite crudo de semilla y de las cáscaras del mango ataulfo y aguacate local.
4. Determinar el contenido de vitamina C, de las cáscaras de mango ataulfo y aguacate local.
5. Evaluar la actividad antioxidante de los extractos de compuestos bioactivos de los aceites de semilla y de las cáscaras del mango ataulfo y aguacate local.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Procedimiento experimental

Se obtuvieron desperdicios de mango ataulfo (*M. indica L.* cv ataulfo) y aguacate local (*P. americana*) en la Central de Abasto del Ayuntamiento de la Ciudad de Mérida, Yucatán. Tal como se describe en la Figura 9, primeramente, se procesaron las semillas y las cáscaras de manera individual de cada fruta. Se obtuvieron cuatro harinas (harina de semilla de mango, harina de semilla de aguacate, harina de cáscara de mango y harina de cáscara de aguacate) mediante secado y molienda, posteriormente se determinó la composición químico proximal y la fibra dietética de cada una. Se extrajo el aceite crudo de la semilla de mango y aguacate local por el método Soxhlet usando n-hexano como solvente, se evaluaron las características fisicoquímicas y la composición de ácidos grasos de los aceites. Posteriormente, se cuantificaron los polifenoles totales, carotenoides y clorofila de los aceites y las cáscaras, también la vitamina C en estas últimas. Finalmente se determinó la actividad antioxidante *in vitro* por DPPH y ABTS, de los extractos de compuestos bioactivos.

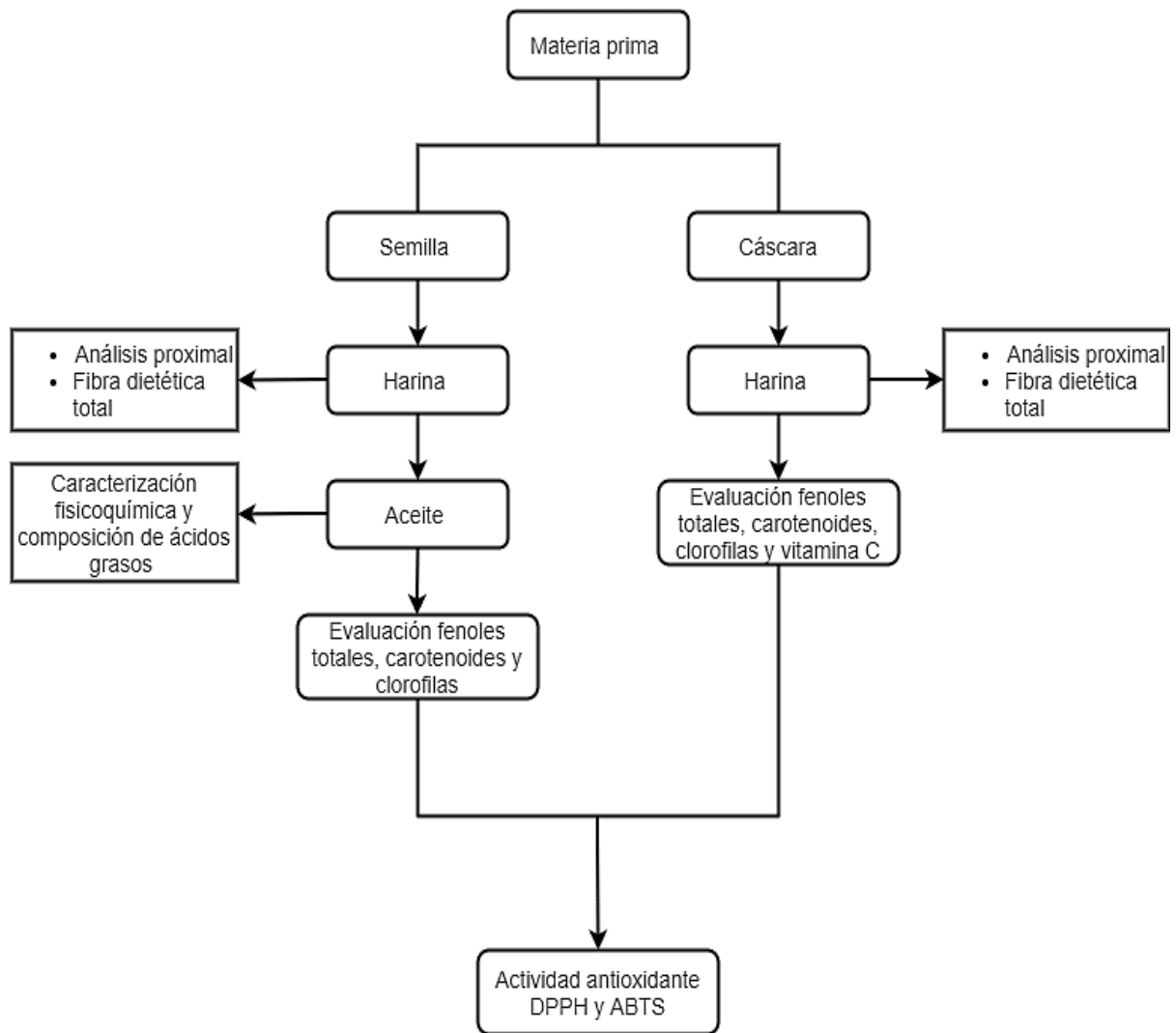


Figura 9. Diagrama general del procedimiento experimental.

6.2. Materiales

6.2.1. Materia prima

Los desperdicios de mango ataulfo y aguacate local se obtuvieron en la Central de Abastos del Ayuntamiento de la Ciudad de Mérida, Yucatán ubicado en la calle 132 número 239 entre 59 B y 59 D, Fraccionamiento Yucalpetén. Se recogieron las frutas que fueron apartadas por los comerciantes para su desecho, una vez por semana durante febrero-marzo de 2019, estas presentaban las siguientes características: sobremaduración, hongos y daños mecánicos,¹⁰ como se puede observar en la Figura 10. En total se recolectaron aproximadamente 25 kg de desperdicios de mango ataulfo y 22 kg de aguacate local, independientemente del tipo de daño que causo el desperdicio, todo se unió para formar las muestras conforme al tipo de fruta.

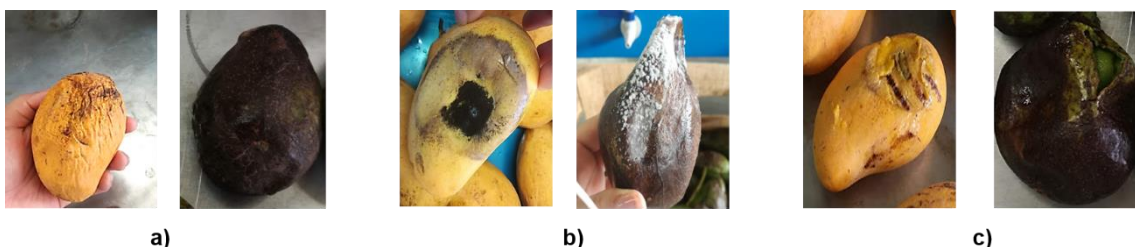


Figura 10. Características del mango ataulfo y aguacate local seleccionados, a) sobremaduración b) hongos y c) daños mecánicos.

6.3. Métodos

6.3.1. Preparación de la materia prima

Después de la recolección, las muestras fueron trasladadas en cajas de madera hacia el laboratorio donde fueron lavadas con agua potable para retirar la suciedad y hongos, posteriormente fueron desinfectadas por inmersión con agua clorada (200 ppm de hipoclorito de sodio) por 3 min y se dejaron escurrir a temperatura ambiente (24-26 °C) por 1 h.⁵¹ Posteriormente se retiró de manera manual la cáscara y la semilla de la pulpa con un cuchillo afilado. La fruta se cortó transversalmente y con una cuchara de acero inoxidable se separó la pulpa de la cáscara de manera cuidadosa y la semilla fue retirada. Posteriormente las cáscaras se recortaron en tiras de aproximadamente 1 cm x 8 cm, se lavaron tres veces con agua destilada para retirar cualquier rastro de pulpa y finalmente se dejaron escurrir a temperatura ambiente (24-26 °C) por 1 h. Las semillas de aguacate local y mango ataulfo se lavaron tres veces con agua destilada y se dejaron escurrir a temperatura ambiente (24-26 °C) por 1 h, posteriormente en el caso de las semillas de

mango ataulfo el cotiledón se retiró del endocarpio fibroso y la testa para un secado por separado.

6.3.2. *Obtención de harinas*

Las cáscaras y semillas fueron secadas en una estufa de convección, (Thermo-Fisher Scientific® Precision , U.S.) bajo las siguientes condiciones: cáscara de mango 60 °C x 44 h⁵⁷, el núcleo, la testa y el endocarpio fibroso del mango fueron secados a 60 °C x 44 h (después de 15 h de secado los cotiledones de la semilla se cortaron en cubos para un secado uniforme), cáscara de aguacate 60 °C x 20 h y semilla de aguacate 60 °C x 46 h (después de 15 h de secado se cortaron las semillas para un secado uniforme).⁷⁸ Una vez secas se almacenaron en bolsas de polietileno de baja densidad, las cuales se colocaron en un desecador durante 2 y posteriormente fueron molidas. Las cáscaras y los cotiledones de las semillas de mango ataulfo y aguacate local, fueron molidas en un molino de bolas (Retsch GmbH, Alemania) y las harinas obtenidas fueron pasadas por un molino de corte (Foss Cyclotec 1093 Sample Mill; Foss Electric A/S, Dinamarca) para obtener una harina más fina. Finalmente se tamizaron en una malla de 177 µm (N°80) y se almacenaron a -20 ± 2 °C en un recipiente hermético hasta su uso.

El endocarpio fibroso y la testa de la semilla de mango tuvo un proceso diferente al mencionado anteriormente. Después del secado, el endocarpio fue reducido en tamaño manualmente con tijeras de acero inoxidable, posteriormente se molieron en una licuadora industrial Tapisa de 5 L (Mod. LI-5A, México), hasta obtener un menor tamaño. Luego, el polvo obtenido se pasó por un molino de bolas (Retsch GmbH, Alemania) y un molino de muestras (Tecator Cemotec 1090, Suecia). La harina obtenida se pasó por un molino de corte (Foss Cyclotec 1093 Sample Mill; Foss Electric A/S, Dinamarca) para obtener una harina más fina. Finalmente, la harina se tamizó con una malla de 177 µm (N°80) y se mezcló con la harina de los cotiledones de mango y fue almacenado a -20 ± 2 °C en un recipiente hermético hasta su uso. En general, se obtuvieron cuatro harinas; harina de cáscara de mango (CM), harina de cáscara de aguacate (CA), harina de semilla de mango (SM) y harina de semilla aguacate (SA).

6.4. **Análisis químico proximal (AQP) de las harinas de cáscara y semilla**

Se determinó el análisis químico proximal de las harinas de semilla y cáscara de cada fruta, siguiendo las metodologías descritas por la AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*).⁹²

6.4.1. Humedad

El porcentaje de humedad se determinó mediante la metodología del AOAC 934.06. Se pesó 2 g de muestra y se colocaron en crisoles previamente acondicionados a peso constante, los cuales se colocaron en una estufa de convección, (Thermo-Fisher Scientific® Precision, EEUU) durante 4 h a una temperatura de 105 °C. El porcentaje de humedad se calculó con la ecuación 1:

$$\% \text{ humedad} = \frac{P2-P1}{M} \times 100 \quad (1)$$

Donde $P2$ es el peso del crisol con la muestra (g), $P1$ es el peso del crisol con la muestra seca (g) y M es el peso de la muestra (g). El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

6.4.2. Cenizas

Para determinar las cenizas se siguió el método de la AOAC 923.03. Se incineraron 2 g de muestras en un crisol a peso constante, posteriormente las muestras se calcinaron a 550 °C en el horno mufla (Thermolyne™, Thermo Scientific, EEUU) por 4 h y se calculó el residuo de la incineración por diferencia de peso con la ecuación 2:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{C2-C1}{G} \times 100 \quad (2)$$

Donde $C1$ es el peso del crisol con las cenizas (g), $C2$ es el peso del crisol vacío (g) y G el peso de la muestra (g). Los resultados se expresaron como porcentaje de cenizas.

6.4.3. Proteína cruda

El contenido de proteína se determinó basado en el método de Kjeldahl (AOAC 920.53), el cual consistió en la digestión de las proteínas de las muestras en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores, con un digestor Buchi, SpeedDigester K-436 (Suiza). Posteriormente las muestras se destilaron con ácido bórico al 4% y luego se titularon con ácido sulfúrico al 0.2 N en un equipo Buchi Auto Kjeldahl Unit K-370 (Büchi Labortechnik AG, Suiza). El resultado del análisis representa el contenido de proteína cruda del alimento, ya que el nitrógeno también proviene de componentes no proteicos. Para expresar el contenido en proteínas se multiplicó la cantidad de nitrógeno por 6.25 que es el factor para frutas y verduras, presentando los resultados como porcentaje de proteínas.

6.4.4. Grasa cruda

El contenido de extracto etéreo se obtuvo de acuerdo con la metodología AOAC 963.15, mediante la extracción Soxhlet utilizando éter etílico anhidro como solvente. Se pesaron 2 g de muestra en un cartucho que fueron colocados dentro del extractor del Soxhlet, en la parte inferior se colocó un matraz balón previamente puesto a peso constante y 100 mL del solvente (éter etílico) en el refrigerante. Se efectuó la extracción durante 4 h, al finalizar se evaporó el solvente con un evaporador rotatorio de vacío a 40 °C (Buchi, modelo R-215, Suiza), posteriormente el matraz se secó en una estufa de convección, (Thermo-Fisher Scientific® Precision, EEUU) durante 1 h a 100 °C para eliminar completamente el solvente. El contenido de grasa cruda se determinó de acuerdo a la ecuación 3:

$$\% \text{ de grasa} = \frac{M2-M1}{m} \times 100 \quad (3)$$

Donde $M2$ es el peso del matraz con grasa (g), $M1$ es el peso del matraz sin grasa (g) y m el peso de la muestra (g). El resultado se expresó como porcentaje de grasa.

6.4.5. Fibra cruda

Se determinó la fibra cruda de acuerdo al método AOAC 962.09 con algunas adaptaciones, el cual permite analizar las sustancias orgánicas libres de grasas e insolubles en medio ácidos y alcalinos, denominadas convencionalmente fibra cruda. Primeramente, se pesó 0.5 g de muestra desgrasada en filtros de celulosa (previamente pesados) los cuales fueron sellados y colocados en un equipo analizador de fibra ANKOM²⁰⁰⁰ (Ankom Technology, A2000, EEUU), una vez terminado el análisis, los filtros fueron secados en una estufa de convección, (Thermo-Fisher Scientific® Precision, EEUU) a 102 ± 2 °C por 2 h, seguidamente se enfriaron por 15 min en un desecador y luego fueron pesados. Posteriormente los filtros fueron colocados en crisoles a peso constante y carbonizados en una placa de calentamiento, seguidamente incinerados en un horno mufla (Thermolyne, Thermo Scientific, EEUU) a 550 °C por 30 min, para el cálculo de fibra cruda se empleó la ecuación 4:

$$\% \text{ de fibra cruda} = \frac{100 \times (W3 - (W1C1))}{W2} \quad (4)$$

Donde $W1$ es el peso de la bolsa (g), $W2$ peso de la muestra (g), $W3$ peso de la materia orgánica (peso de la bolsa después del tratamiento-peso de las cenizas) y $C1$ factor de corrección de la bolsa del blanco ((peso de la bolsa después del tratamiento-peso de las cenizas) / peso de la bolsa antes del tratamiento), todo en g. El resultado se expresó como porcentaje de fibra cruda.

6.4.6. Extracto libre de nitrógeno

El extracto libre de nitrógeno (ELN) se fue estimado cuantitativamente con el remanente de restarle a 100% los porcentajes obtenidos de los análisis de humedad, cenizas, proteína, grasa y fibra cruda, como indica la ecuación 5:

$$\% \text{ de ELN} = 100 - (\%H + \%C + \%P + \%G + \%FC) \quad (5)$$

Donde %H es el porcentaje de humedad de la muestra, %C porcentaje de cenizas de la muestra, %P porcentaje de proteína de la muestra, %G porcentaje de grasa de la muestra y %FC es el porcentaje de fibra cruda de la muestra. El resultado se expresa como porcentaje de extracto libre de nitrógeno (ELN).

6.5. Fibra dietética total de la cáscara y semilla del mango ataulfo y aguacate local

El contenido de fibra dietética total (FDT) de la cáscara y semilla de mango ataulfo y aguacate local se determinó por medio del método enzimático-gravimétrico, AOAC 991.43 utilizando el kit sigma-aldrich TDF-C10. Se pesó 1 ± 0.02 g de harina en un vaso de precipitado Berzelius y se homogenizó con 50 mL de fosfato de sodio (pH 6), posteriormente se añadió 100 μ L de α -amilasa termoestable y se incubó en un baño de agua a 95-100 °C por 15 min con agitación suave a intervalos de 5 min. Las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente, seguidamente se ajustaron a un pH 7.5 ± 0.2 mediante la adición de NaOH (0.275 N). Posteriormente se añadió 100 μ L de una solución proteasa (50 mg /mL) y se incubaron 30 min a 60 °C con agitación continua y se dejaron enfriar a temperatura ambiente, seguidamente se ajustó el pH a 4-4.6 mediante la adición de una solución de HCl (0.325 M). Finalmente se añadió 100 μ L de una solución de amiloglucosidasa y las soluciones se agitaron durante 30 min a 60 °C. A cada muestra se le añadió 4 volúmenes de etanol al 95% y se dejaron precipitar 16 h temperatura ambiente.

Las soluciones se filtraron en su respectivo crisol gooch de 50 mL que contenía aproximadamente 0.5 g de celite, el crisol se filtró con anterioridad con 20 mL de etanol al 78% para redistribuir la celite. Se lavaron los residuos con tres porciones de 20 mL de etanol de 78%, dos porciones de 10 mL de etanol de 95%, y dos porciones de 10 mL de acetona, luego fueron secados en un horno a 105 °C durante toda la noche y se registraron los pesos de cada crisol. Como último procedimiento los residuos fueron analizados para proteínas tal como se especifica en el procedimiento de la AOAC 920.53 y cenizas (AOAC 923.03) en donde los residuos en el crisol fueron incinerados durante 5 h a 525 °C, enfriados y pesados con una precisión de 0.1 mg. El blanco se procesó de la misma manera sin muestra, para el cálculo de FDT se siguieron las ecuaciones 6 y 7 donde *B* es el blanco, *BR1* y *BR2* son el peso (g) de los residuos por duplicado del blanco, *PB* y *AB* es el peso (g) de las proteínas y cenizas del blanco respectivamente.

$$B = \left[\frac{BR1+BR2}{2} \right] - PB - AB \quad (6)$$

Para el cálculo de la fibra dietética total se usó la ecuación 7, donde $R1$ y $R2$ es el peso del residuo (g) de la muestra por duplicado, P y A es el peso (g) promedio de las proteínas y cenizas de la muestra; B es el resultado obtenido en la ecuación 6, $M1$ y $M2$ es el peso (g) de la muestra uno y su duplicado. El contenido de FDT se expresó como g/100g.

$$FDT = \frac{\left[\left(\frac{R1+R2}{2} \right) - P - A - B \right]}{\left[\frac{M1+M2}{2} \right]} \times 100 \quad (7)$$

6.6. Características fisicoquímicas y composición de ácidos grasos del aceite de la semilla de mango ataulfo y aguacate local

Se extrajo el aceite de las semillas de mango ataulfo y aguacate por medio de un solvente orgánico (n-Hexano) y se evaluaron las características fisicoquímicas de los aceites crudos: índice de refracción, índice de yodo, índice de peróxido e índice de acidez, siguiendo las metodologías descritas por la AOAC (*Association of Official Analytical Chemists*).⁹³ Se determinó la composición de ácidos grasos de las muestras de aceite crudo por cromatografía de gases.

6.6.1. Extracción de aceite por solvente orgánico

Se extrajeron los aceites crudos de la semilla del mango y aguacate de 15 lotes con un aparato Soxhlet usando n-Hexano como solvente. De cada lote, se pesaron 10 g de harina de semilla y 100 mL de solvente, se realizaron ciclos térmicos de 67-69 °C durante 4 h.⁹⁴ Para obtener el aceite crudo, el solvente fue eliminado usando un evaporador rotatorio de vacío a 40°C (Buchi, modelo R-215, Suiza). Para evitar cambios en la composición química de los aceites, estos fueron depositados en recipientes de vidrio ámbar y almacenados en una atmósfera de nitrógeno a -20 ± 2 °C. El contenido de aceite se expresó como el porcentaje basado en el peso de la harina y se calculó siguiendo la ecuación 8.

$$\text{Contenido de aceite (\%)} = \frac{(X2-X1)}{H} \times 100 \quad (8)$$

En donde $X2$ es el peso en g del matraz de fondo redondo con grasa (tras el secado), $X1$ es el peso en g del matraz de fondo redondo vacío y H es el peso de la muestra (g).

6.6.2. Índice de refracción

El índice de refracción se determinó por el método AOAC 921.08 por triplicado, con un refractómetro Abbe (Atago NAR-2T, EEUU) a 20 ± 5 °C. Este método se basa en la observación de la posición de la línea borde de la reflexión total en la relación con las caras del prisma de vidrio del pedernal. La corrección de la temperatura en las lecturas con el refractómetro fue determinada mediante la ecuación 9.

$$R = R' + K(T' - T) \quad (9)$$

Donde R es el índice de refracción a temperatura estándar, R' lectura del índice de refracción obtenida a la temperatura T' , T temperatura estándar (20 °C), y K es el factor 0.000385 para aceites.

6.6.3. Índice de yodo

El índice de yodo se determinó por el método AOAC 993.20 por triplicado. Se pesó aproximadamente 0.2 g de aceite en un matraz con tapón esmerilado y se añadieron 10 mL de cloroformo para disolver el aceite. Posteriormente se hizo reaccionar esta mezcla con 25 mL de una solución Wijs (10 g de I_2 en 300 mL CCl_4 y 700 mL de ácido acético glacial) durante 30 min en la oscuridad con agitación ocasional. Después de la incubación en la oscuridad se añadieron 15 mL de una solución de yoduro de potasio (KI) al 15% y 50 mL de agua desionizada. La mezcla se tituló con una solución estándar de tiosulfato de sodio (0.1 N) hasta que el amarillo desapareció, enseguida se le añadió 0.5 mL de un indicador de almidón al 1% y se continuó titulando hasta que desapareció la coloración azul. El índice de yodo se calculó siguiendo la ecuación 10, expresado en g de I_2 / 100 g de aceite.

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(T-S) \times N \times 12.6}{J} \times 100 \quad (10)$$

En donde T volumen (mL) de tiosulfato sodio gastado en el blanco, S volumen (mL) de tiosulfato de sodio gastado para la muestra, N normalidad (mol/1000 mL) del tiosulfato de sodio y J es el peso de la muestra (g).

6.6.4. Índice de acidez

Se determinó por el método AOAC 972.28 por triplicado, se pesó aproximadamente 0.5 g de aceite en un matraz Erlenmeyer y se añadió 1 mL de etanol neutralizado en 0.2 mL de fenolftaleína, la mezcla se agitó hasta que se disolvió completamente. Posteriormente se tituló con NaOH 0.1N, hasta el punto final, este es indicado cuando un color rosa leve

persistió por 30 s. El índice de acidez (expresado como % de ácido oleico) se calculó siguiendo la ecuación 11.

$$\text{Índice de acidez} = \frac{(V)(N)(0.282)}{Pm} \quad (11)$$

Donde V son los mL de NaOH gastado en la titulación, N normalidad del NaOH, y Pm es el peso en g de la muestra.

6.6.5. Índice de peróxido

El índice de peróxido se determinó por el método AOAC 965.33. Se pesó 0.5 g de aceite en un matraz Erlenmeyer y se disolvió con 3 mL de una solución de ácido acético-cloroformo (3:2 v/v). Posteriormente se añadieron 0.05 mL de una solución saturada de KI, la mezcla de agito por 1 min y se le añadieron 3 mL de agua desionizada. Esta mezcla fue titulada con una solución de tiosulfato de sodio 0.01 N previamente valorada, con agitación vigorosa hasta que el color amarillo desapareció se agregó 0.05 mL de una solución de almidón al 1% y se continuó titulando con agitación vigorosa para libera todo el yodo de la capa de cloroformo, hasta que el color azul desapareció. El índice de peróxido (miliequivalentes de peróxido/ kg de aceite) se calculó con la ecuación 12.

$$\text{Índice de peroxido} = \frac{(A-E)x N}{c} x 1000 \quad (12)$$

Donde A volumen (mL) gastado de tiosulfato de sodio en la muestra, E volumen (mL) gastado de tiosulfato de sodio del blanco, N normalidad del tiosulfato de sodio (mEq/ mL), y C peso de la muestra (g).

6.6.6. Composición de ácidos grasos

La composición de ácidos grasos en los aceites de mango ataulfo y aguacate se determinó por medio de formación a ésteres metílicos (FAME), siguiendo la metodología descrita por Metcalfe, Schmitz y Pelka⁹⁵ con algunas modificaciones. Se pesaron aproximadamente 100 mg de extracto lipídico en tubos de ensayo con tapa rosca posteriormente se añadió 1 mL de KOH metanólico al 10% (p/v) y 2 mL de BF₃ en metanol (14%), la mezcla se agitó vigorosamente por 5 min en un vórtice común (Vortex Genie 2, VWR, EEUU) y los tubos fueron transferidos en un baño de agua María (Cole-Parmer, EEUU) por 1 h a 100 °C. Los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se añadieron 2 mL de NaCl al 10% (p/v) y 2 mL de n-hexano, la mezcla fue agitada vigorosamente con un vórtice común por 5 min, dejando que se formen la separación de las dos fases. Después se recuperó la fase superior y se depositó en viales para su análisis en el cromatógrafo de gases.

Las FAME fueron analizadas en un cromatógrafo de gases Agilent Technologies modelo 7890^a (EEUU), equipado con un detector selectivo de masas, columna capilar Agilent SPTM 2560 (100 m de largo, 0.25 mm de diámetro, y 0.2 µm de espesor de película), temperatura del inyector y detector 250 °C, el flujo del gas acarreador (N₂) fue de 2 mL /min. La programación de la temperatura del horno fue en las siguientes condiciones: 100 °C (inicial) a 180 °C (5 °C/min) y finalmente incrementando a 220 °C (0.8 /min). La inyección del volumen fue Split de 1:50 mL /min de muestra. Las asignaciones estructurales se basaron en la interpretación de la fragmentación espectrométrica de masas y se confirmaron mediante la comparación de los tiempos de retención, así como el patrón de fragmentación de los compuestos auténticos y los datos espectrales obtenidos de las bibliotecas Wiley y NIST.

6.7. Compuestos bioactivos del aceite crudo de la semilla y la cáscara de mango ataulfo y aguacate local

Se evaluó el contenido de polifenoles totales, carotenoides y clorofila presentes en el aceite crudo de semilla y la cáscara de mango ataulfo y aguacate, así también la vitamina C solo en cáscaras.

6.7.1. Extracción de compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos de los aceites crudos se extrajeron de acuerdo con el método descrito por Can y col.⁹⁶ con algunas adaptaciones. Se pesaron 1.5 g de aceite en un tubo de ensayo de vidrio con tapa rosca y se añadió 1 mL de una solución metanólica acuosa (80%, v/v en agua destilada), se mezcló en un Vortex-Genie 2 (VWR, EEUU) y se dejó en agitación 24 h usando un agitador de balanceo (Shaker Dlab Sk-r1807, EEUU) a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). Después de agitar, las muestras se centrifugaron en una microcentrífuga Heraeus Fresco 21 (Thermo Fisher Scientific, 75002426, EEUU) a 4 °C durante 30 min a 1431 x g y se recuperó el sobrenadante. Los precipitados se sometieron a otra extracción como anteriormente se mencionó, los dos sobrenadantes obtenidos (extractos metanólicos) por cada muestra fueron mezclados y almacenados en viales a -20 °C ± 2 °C hasta su análisis.

La extracción de compuestos fenólicos de las cáscaras fueron extraídos de acuerdo al método descrito por Duh y Yen⁹⁷ con algunas modificaciones. Se pesaron 5 g de harina de cáscara en matraces volumétricos y se le adicionaron 50 mL de metanol, la mezcla se dejó en agitación en un agitador de balanceo (Shaker Dlab Sk-r1807, EEUU) a 25 ± 2 °C durante 24 h. El extracto resultante se filtró con gasas estériles (10 x 10 cm) tres veces y se centrifugó en una centrifuga (Orto Alresa®, Digtor 21 R, España) a 25 °C

durante 30 min a 5997 x g. Los extractos metanólicos fueron almacenados a -20 ± 2 °C hasta su análisis.

6.7.2. Cuantificación de compuestos fenólicos totales

Los compuestos fenólicos totales (CFT) de los extractos de los aceites y cáscaras se analizaron de acuerdo con el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu descrito por Schmidt, Erdman y Lila⁹⁸ con algunas adaptaciones. Se añadieron 750 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu al 6% a 50 µL de extracto de polifenoles, se agitó y se dejó en reposo 3 min. Después, se añadieron 250 µL de Na₂CO₃ (0.6 M) y se dejó 2 h de reacción a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) en la oscuridad. Se leyó la absorbancia a 740 nm en el espectrofotómetro UV visible (Thermo Scientific™ GENESYS 10S, EEUU). El contenido de CFT se calculó utilizando una curva estándar ($y = 0.9958x + 0.174$) con soluciones de ácido gálico en metanol (0.05-0.5 mg/ mL) y expresado en mg de equivalentes de ácido gálico (EAG)/ g de aceite y mg EAG/g de harina de cáscara.

6.7.3. Extracción de carotenoides

Los carotenoides de los aceites fueron extraídos siguiendo el método descrito por Chen, Tai y Chen⁹⁹ con modificaciones de Can y col.⁹⁶ y algunas adaptaciones. Se pesó 1 g de aceite en tubos de ensayo de vidrio con tapa rosca y se le añadieron 5 mL de una solución de extracción, que contenía hexano: acetona: etanol (70:15:15, v/v/v), la mezcla se puso en agitación durante 2 h usando un agitador de balanceo (Shaker Dlab Sk-r1807, EEUU) a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). Después de la agitación, se añadieron 0.5 mL de una solución metanólica de KOH 40% (p/v), dejando saponificar la mezcla 2 h en agitación. Posteriormente, se añadieron 3 mL de n-hexano grado HPLC y la mezcla se agitó en un Vortex por 1 min. Luego, la muestra fue centrifugada en una microcentrífuga Heraeus Fresco 21 (Thermo Fisher Scientific, 75002426, EEUU) a 4°C durante 30 min a 1431 x g y el sobrenadante fue recuperado. Los precipitados se sometieron a otra extracción en las mismas condiciones descritas anteriormente. Después de las extracciones, los sobrenadantes (extractos de carotenoides) se agruparon y se almacenaron a -20 ± 2 °C hasta su análisis.

La extracción de carotenoides de las cáscaras se realizó siguiendo el método descrito por Chen, Tai y Chen.⁹⁹ Se mezclaron 1 g de muestra con 30 mL de una solución que contenía hexano:etanol:acetona:tolueno (10: 6: 7: 7, v/ v / v / v) en matraces volumétricos de 100 mL. Después las mezclas se agitaron durante 1 h, posteriormente se les añadieron 2 mL de KOH metanólico al 40%, las soluciones se dejaron saponificar a 25 °C en la oscuridad durante 16 h. Se agregaron 30 mL de hexano para la partición de los carotenoides, se agitaron durante 1 min en un Vortex-Genie 2 (VWR, EEUU) y se les

añadió una solución de sulfato de sodio al 10% a volumen. Después se agitaron durante 1 min, se recogió la capa superior la cual fue almacenada a -20 ± 2 °C bajo una atmosfera de nitrógeno hasta su análisis.

6.7.4. Cuantificación de carotenoides

El contenido total de carotenoides se determinó espectrofotométricamente según el método descrito por Moo y col.¹⁰⁰ a 450 nm en un espectrofotómetro UV visible (Thermo Scientific™ GENESYS 10S, EEUU). Se preparó una curva de calibración ($y=0.0053x + 0.0055$) (0.5-50 ppm) usando β -caroteno en hexano como estándar y hexano como blanco. Los resultados fueron expresados como mg de β -caroteno /kg de aceite y las cáscaras β -caroteno /kg.

6.7.5. Determinación de clorofila

La determinación del contenido de clorofila se llevó a cabo por el método descrito por Lichtenthaler¹⁰¹ con algunas modificaciones. Se pesaron 500 mg de aceite crudo en tubos de ensayos con tapa rosca y se les añadieron 5 mL de acetona, posteriormente se pusieron en agitación 2 h en un agitador de balanceo (Shaker Dlab Sk-r1807, EEUU) a temperatura ambiente (25 ± 2 °C), seguidamente se centrifugaron en una microcentrífuga Heraeus Fresco 21 (Thermo Fisher Scientific, 75002426, EEUU) a $500 \times g$ por 5 min a 25 °C, los sobrenadantes fueron recuperados y almacenados a -20 ± 2 °C hasta su análisis. Para las cáscaras se pesaron 1 g de las harinas de cáscaras en matraces Erlenmeyer y se diluyeron en 5 mL de acetona, posteriormente se dejaron en agitación 1 h a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) en un agitador de balanceo (Shaker Dlab Sk-r1807, EEUU) y las mezclas se centrifugaron en una centrifuga (Orto Alresa®, Digtor 21 R, España) a $1215 \times g$ por 5 min a 25 °C, los sobrenadantes fueron recuperados y almacenados a -20 ± 2 °C hasta su análisis.

Los extractos se leyeron en un espectrofotómetro UV-Vis de doble longitud de onda (Thermo Scientific™ Evolution 300, EEUU) a 661.6 nm y 644.8 nm, para el cálculo de clorofilas a (C_a), clorofila b (C_b) y clorofilas totales fue la suma de clorofila a y Clorofila b se siguieron las ecuaciones 13, 14 y 15, donde A es el promedio de las absorbancias obtenidas a la longitud de onda, los resultados fueron expresados en mg/kg de aceite y mg/kg.

$$C_a = 12.25A_{661.6} - 2.79A_{644.8} \quad (13)$$

$$C_b = 21.50A_{661.6} - 5.10A_{644.8} \quad (14)$$

$$C_{totales} = C_a + C_b \quad (15)$$

6.8. Contenido de vitamina C, de la cáscara de mango ataulfo y aguacate local

Para la determinación de la vitamina C, se siguió el método titrimétrico con el reactivo 2,6-diclorofenolindofenol (AOAC 967.21) con algunas adaptaciones de Sogi y col.⁵⁹. Se mezcló 2 g de harina de cáscara con 25 mL de una solución de extracción (15 g de ácido meta-fosfórico: 40 mL de ácido acético: 3.7 mL de ácido sulfúrico concentrado: 450 mL de agua). Las mezclas se dejaron en agitación en un agitador de balanceo (Shaker Dlab Sk-r1807, EEUU) durante 1 h a temperatura ambiente (25 ± 2 °C). Las muestras se centrifugaron en una centrifuga (Thermo Fisher Scientific, 75002426, EEUU) a 5997 x g por 30 min a 25 °C, y los sobrenadantes fueron recuperados. Los extractos se titularon contra el colorante 2,6-diclorofenolindofenol (50 mg de colorante, 42 mg de NaCHO₃ y 200 mL de agua destilada), el punto final se consideró cuando la solución presentó un color rosa durante 15 segundos. La calibración de la solución de 2,6-diclorofenolindofenol se realizó con una solución de ácido ascórbico (1 mg/mL). Los resultados se calcularon de acuerdo con la ecuación 16, expresados como mg de equivalentes de ácido ascórbico /100 g BS (g de peso seco de la cáscara).

$$mg \text{ ácido ascórbico}/100 g = [(X - I) \times (F/O) \times (V/Y)] \times 100 \quad (16)$$

Donde X es el promedio del volumen (mL) gastado de 2,6-diclorofenolindofenol en la muestra, I es el promedio del volumen (mL) gastado de 2,6-diclorofenolindofenol del blanco de titulación, F son los mg de ácido ascórbico equivalente a 1 mL de la solución estándar de idonofenol, O es el peso de la muestra de ensayo en g, V el volumen inicial de la solución de ensayo en mL, Y es el volumen de la alícuota de la muestra titulada en mL.

6.9. Actividad antioxidante de los extractos de compuestos bioactivos de los aceites de semilla y cáscara del mango ataulfo y aguacate local

Se determinó la actividad antioxidante de los compuestos bioactivos de los aceites (y sus extractos de polifenoles totales, carotenoides y clorofila) y las cáscaras (y sus extractos de polifenoles totales, carotenoides, clorofila y vitamina C) del mango ataulfo y aguacate local por los métodos de captación de radicales DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) y ABTS (2,2-Azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico).

6.9.1. Evaluación de la actividad antioxidante por el método de captación de radicales, DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)

El ensayo DPPH se realizó de acuerdo con la técnica de Brand-Williams, Cuvelier y Berset¹⁰² con algunas modificaciones de Moo y col.¹⁰³. La solución madre DPPH se preparó a una concentración de 2.5 mg /100 mL MeOH. La absorbancia de la solución

fue ajustada a 0.730 ± 0.2 a 515 nm usando un espectrofotómetro UV visible (Thermo Scientific™ GENESYS 10S, EEUU). Se colocaron 3.9 mL de radical de DPPH en un tubo de ensayo y 0.1 mL de muestra (extracto de polifenoles totales, carotenoides, clorofila y vitamina C) según corresponda de los aceites y cáscaras de mango ataulfo y aguacate local y se agitó vigorosamente en un agitador (Vortex-Genie II Mixer SI-0236, EEUU). Los tubos permanecieron a $25 \pm 2^\circ\text{C}$ por 30 min en oscuridad y la absorbancia fue medida a 515 nm. Se preparó una curva de calibración ($y = 0.6743 - 0.0009x$) (0.0005-0.0025 mol) usando Trolox y la capacidad antioxidante se expresó como moles equivalentes de Trolox (ET) /g de aceite y para las cáscaras moles equivalentes de Trolox ET/g.

6.9.2. Evaluación de la actividad antioxidante por el método de captación de radicales ABTS (2,2-Azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)

El ensayo ABTS se realizó de acuerdo con Miller y col.¹⁰⁴ El catión ABTS⁺ se generó a través de la interacción de 19.2 mg de ABTS disuelto en 5 mL de agua de grado HPLC y 88 μL (0.0378 g/ mL) de persulfato de potasio ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$). El catión se incubó en la oscuridad a temperatura ambiente durante 16 h. El radical activado ABTS se diluyó con metanol y la absorbancia se ajustó hasta 0.70 ± 0.02 a 734 nm usando un espectrofotómetro UV visible (Thermo Scientific™ GENESYS 10S, EEUU). Después se mezcló de 0.030 mL de muestra (extracto de polifenoles totales, carotenoides, clorofila y vitamina C) según corresponda de los aceites y cáscaras de mango ataulfo y aguacate local y se agitó vigorosamente en un agitador (Vortex-Genie II Mixer SI-0236, EEUU) con 2.97 mL de solución ABTS diluida, se agitaron y se registraron las absorbancias después de 6 min. Se preparó una curva de calibración ($y = 0.6667 - 0.0004x$) (0.0001-0.0008 mol) utilizando Trolox y los resultados de la capacidad antioxidante se expresaron como moles equivalentes de Trolox (ET)/g de aceite y para las cáscaras moles ET/g.

6.10. Análisis estadístico

Todos los resultados se procesaron mediante estadística descriptiva. Los resultados se expresaron como medias \pm desviación estándar. Los datos obtenidos de los análisis proximales, caracterización fisicoquímica y composición de ácidos grasos de los aceites, compuestos bioactivos y la actividad antioxidante se evaluaron mediante un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA) y comparación de medias con una prueba de Tukey para establecer una diferencia estadística con un nivel de confianza del 95% ($P < 0.05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software Statgraphics Centurión XVI (StatPoint, Inc, EEUU, 2016).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Análisis químico proximal (AQP) de las harinas de cáscara y semilla

En la tabla 5 se presenta la composición químico proximal de las harinas de cáscara y semilla del mango ataulfo y aguacate local. El contenido de humedad fue significativamente mayor ($P < 0.05$) en la SA, con respecto a las muestras estudiadas.

Daiuto y col.¹⁰⁵ reportan un contenido de humedad menor en cáscara de aguacate Hass (9.87%), sin embargo el tipo de secado está relacionado con el contenido humedad y en el estudio de estos autores usaron cáscaras liofilizadas, lo que podría explicar un menor contenido de humedad. La liofilización es método efectivo para deshidratar muestras alimentarias o biológicas, sin embargo, es costoso en comparación con otros métodos, como el secado con aire caliente, el cual fue utilizado en este estudio.¹⁰⁶

Tabla 5. Análisis químico proximal de las harinas de cáscara y semilla del mango ataulfo y aguacate local. (% BS*)

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína cruda (%)	Grasa cruda (%)	Fibra cruda (%)	ELN (%)
CM	5.83 ± 0.05 ^a	3.75 ± 0.01 ^b	4.68 ± 0.06 ^a	12.96 ± 0.59 ^b	10.83 ± 0.48 ^b	61.79 ± 0.04 ^c
CA	5.72 ± 0.01 ^a	3.91 ± 0.30 ^b	8.19 ± 0.30 ^c	12.94 ± 0.58 ^b	38.06 ± 1.61 ^d	31.17 ± 1.25 ^a
SM	7.49 ± 0.09 ^b	2.47 ± 0.21 ^a	6.28 ± 0.19 ^b	14.11 ± 0.25 ^b	17.79 ± 0.31 ^c	51.79 ± 0.64 ^b
SA	11.90 ± 0.41 ^c	3.95 ± 0.1 ^b	8.02 ± 0.70 ^c	11.05 ± 0.18 ^a	4.49 ± 0.14 ^a	60.58 ± 0.60 ^c

CM, cáscara de mango; CA, cáscara de aguacate; SM, semilla de mango; SA, semilla de aguacate; ELN, extracto libre de nitrógeno, BS, base seca. Nota: Letras diferentes dentro de una misma columna representan diferencia significativa de acuerdo con la prueba de TUKEY con $P < 0.05$. Valor promedio de tres determinaciones (\pm desviación)

Se encontró que el contenido de cenizas fue mayor ($P < 0.05$) en la CM, CA y la SA ($P < 0.05$) que la SM. Rojas y col.⁵⁵ reportaron un porcentaje de cenizas menor en cáscara de mango ataulfo (2.12%) con respecto a la CM, al igual que Daiuto y col.¹⁰⁵ reportan menor contenido de cenizas en cáscara de aguacate Hass (2.15 %) con respecto a la CA. Por otra parte Bresanni y col.¹⁰⁷ reportaron un contenido de ceniza similar en semilla de aguacate Hass (3.85%) en comparación de la SA. Esto indica que la CM, la CA y la SA pueden considerarse como fuentes potenciales de minerales.

La CA y la SA fueron significativamente mayores ($P < 0.05$) que la CM y SM, en contenido de proteína cruda. Araújo y col.⁷² obtuvieron menores porcentajes de proteínas con respecto a la CA y SA, por ejemplo en cáscaras de aguacate Hass (0.17%), Utz (3.34%)

y Booth 8 (3.4%) y en las semillas de aguacate Hass (0.14%) y Pachoy (3.86%). Por lo tanto, la CA y SA del aguacate analizado en este trabajo, tienen más proteína que otras variedades de uso comercial, lo que se sugiere su consideración para futuras investigaciones como fuentes de aminoácidos.

En cuanto a porcentaje de grasa cruda, la SM, CM y CA, fueron significativamente mayor ($P < 0.05$) al contenido de grasa de la SA. Estos resultados son superiores con respecto a subproductos agroindustriales aprovechados para la extracción de aceites esenciales, como la cáscara de naranja dulce (4.00%), lima (4.23%) y de frutas tropicales como el copoazú (1.91%).¹⁰⁸ Por lo que la muestras estudiadas debería tomarse en cuenta como fuentes alternas para extracción de aceite.

El contenido de fibra cruda, de CA fue mayor ($P < 0.05$) que la CM, SM y SA. De acuerdo con Araujó y col.⁷² las cáscaras de aguacate son ricas en hemicelulosa y almidón, que puede ser una fuente potencial de energía como el bioetanol y producir otros compuestos de alto valor agregado. En este sentido el aprovechamiento de la fibra de la CA, es otra alternativa para reducir los desperdicios de aguacate local.

El extracto libre de nitrógeno o carbohidratos, fueron mayores ($P < 0.05$) en la CM y la SA que la CA y SM. Rojas y col.⁵⁵, mostraron que el contenido total de carbohidratos en la cáscara de mango ataulfo fue de 81.78%, el cual es mayor con respecto a este estudio, esto puede deberse a que parte de las cáscaras obtenidas de los desperdicios, presentaban daños mecánicos, hongos y/o sobremaduración que pudieron causar la degradación o reducción del contenido de carbohidratos. Por otra parte, Saavedra y col.⁸¹, reportaron un contenido menor de ELN en la semilla de aguacate Hass (42.55%) con respecto a la SA.

En este sentido los altos valores de ELN encontrados en CM y la SA, sugiere futuras investigaciones para su uso como ingredientes funcionales y/o para el desarrollo de biopolímeros. Por ejemplo, Chel y col.⁷⁸ que el almidón de semilla de aguacate Hass presenta características funcionales y reológicas similares al almidón de maíz comercial por lo que se tiene aplicaciones potenciales para alimento para bebés, salsa, productos de pan, dulces y otros posibles usos como polímeros biodegradables para envasado de alimentos.⁷⁸

7.2. Fibra dietética total de la cáscara y semilla de mango ataulfo y aguacate local

Los valores obtenidos de fibra dietética total se presentan en la Figura 10. El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($P < 0.05$) entre la CA (53.09 ± 0.90 g/100g) que mostró el mayor contenido de FDT, seguido la SA con un contenido de 47.21 ± 0.57 g/100g, posteriormente la SM (36.65 ± 0.77 g/100g) y en menor contenido de FDT la CM (23.42 ± 0.74 g/100g). Las pautas dietéticas recomiendan una ingesta diaria mínima de 25 g de fibra dietética, equivalente a 12.5 g de fibra dietética por 1000 calorías

consumidas¹⁰³, en este sentido se necesitaría consumir entre 47.08 g-106 g de las harinas estudiadas, para cubrir las ingesta diaria de fibra dietética.

La fibra dietética es un componente esencial de una dieta saludable, los beneficios asociados con su consumo adecuado incluyen la regulación del tránsito intestinal y proporciona varios efectos en los metabolismos de carbohidratos y lípidos y tiene efectos preventivos o como tratamiento en la diabetes, enfermedades cardiovasculares y cáncer de colon.¹⁰⁹

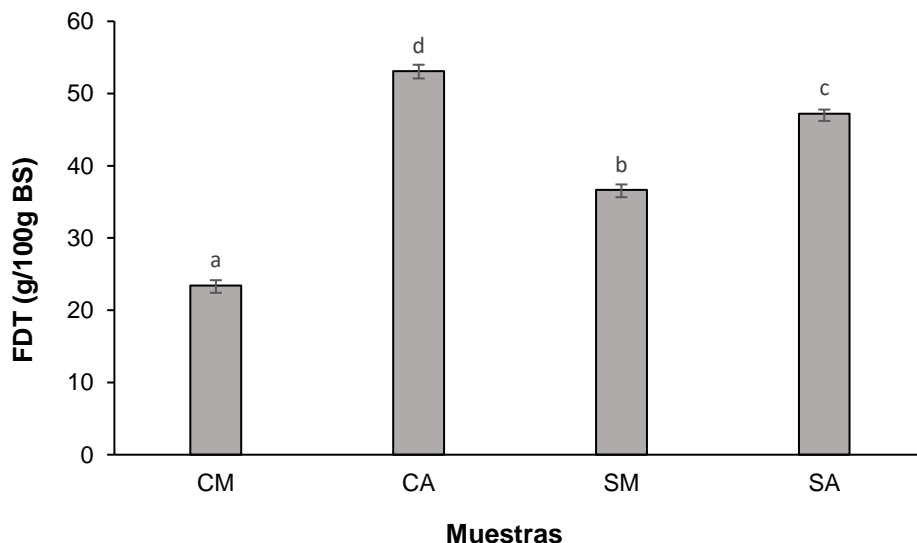


Figura 11. Fibra dietética total de la cáscara y semilla de mango ataulfo y aguacate local (g/100g BS). Letras diferentes representan diferencia significativa de acuerdo con la prueba de TUKEY con $P < 0.05$. Valor promedio de tres determinaciones (\pm desviación).

La CM, CA, SM y SA obtenidos de los desperdicios de mango ataulfo y aguacate local presentan valores superiores con respecto a las pulpas de frutas tropicales cultivadas en Yucatán, México que son consideradas fuentes de fibra dietética, como el caimito morado que contiene 35.68 g/100g, nance amarillo 46.33 g/100g, pitaya 44.55 g/100g, el chicozapote 40.58 g/100g y mamey 21.50 g/100g de FDT.¹⁰³ También con respecto a subproductos con valor industrial por su contenido de FDT como la cáscara de limón que contiene 14 g/100 g, el salvado de trigo y arroz compuestos de 33.40-63 g/100 g y la cáscara de plátano 11.2 g/100g, orujo de zanahoria 44.75 g/100g y torta de semilla de nuez 40.9 g/100g, los cuales se han probado como ingredientes funcionales para mejorar las características nutricionales de los productos de panadería.¹⁰⁸

Por lo que las harinas de CM, CA, SM y SA, obtenidas de los desperdicios representan gran potencial para la industria alimentaria o para la elaboración de biopolímeros, debido al contenido de FDT.

7.3. Características fisicoquímicas y composición de ácidos grasos del aceite de la semilla de mango ataulfo y aguacate local

7.3.1. Caracterización fisicoquímica

Los resultados obtenidos en la extracción de aceite de las semillas, fue de $12.98 \pm 1.65\%$ en aceite de semilla de mango (ASM) y $9.62 \pm 0.58\%$ en aceite de semilla de aguacate (ASA). La extracción con solventes es beneficiosa con otros métodos debido al bajo costo de procesamiento y la facilidad de operación¹¹⁰ por lo que es ventajoso para la extracción de aceites de SA y SM, considerando que son obtenidos de los desperdicios.

Fuente y col.¹¹¹ reportaron el contenido de grasa de diferentes semillas de mango de la india, estos valores oscilan entre 6.8%-12.6% y para las variedades malgaches se informaron rangos atípicos de 27% a 38% de grasa. Con respecto al contenido de grasa o aceite de la semilla de mango es dependiente de la variedad y de la región de cultivo¹¹², sin embargo es importante mencionar que la semilla de los desperdicios de mango ataulfo (SM) presenta un contenido relevante de aceite y actualmente no han ganado atracción industrial, particularmente en México que es donde se desperdicia en gran magnitud.

Barrera y Arrubla¹¹³ reportaron un contenido de aceite de 8.47% en la semilla de aguacate Lorena (*P. americana* Miller var. Lorena), el cual presenta características morfológicas similares al aguacate local. El ASA presentó un mayor contenido de aceite que la semilla del aguacate Lorena, más sin embargo, el contenido de aceite varía en cada variedad, debido a muchos factores que influyen en su desarrollo, así como el método de extracción.⁷² Flores y col.¹¹⁴ mencionan que el aceite de semilla de aguacate, está teniendo gran interés en la industria cosmética, debido a sus características bioactivas y fisicoquímica,¹¹⁵ por lo que el ASA obtenido de los desperdicios podría tener oportunidades para su aprovechamiento.

La Tabla 6 presenta las características fisicoquímicas de los aceites crudos obtenidos de la SA y SM. El índice de refracción del ASM fue significativamente ($P < 0.05$) mayor que el índice de refracción del ASA. El estudio reportado por Abdalla y col.⁶² mostraron valores similares en aceite de semilla mango Egipto (1.459), por otro lado, Galvao y col.¹¹⁶ reportaron índices de refracción similares en el aceite de semilla de aguacate de las variedades Fortuna (1.4212), Collison (1.4335) y Barker (1.3954),

El índice de refracción es usado a menudo como un criterio de pureza y calidad de los aceites y este va aumentando conforme aumenta el grado de insaturación y el porcentaje de ácidos grasos insaturados, los cuales son recomendables para controlar los niveles de colesterol en la sangre¹¹⁷, como el aceite de coco (1.448-1.450), aceite de semilla de palma (1.448-1.450) o aceite de semilla de calabaza (1.465-1.468)¹¹⁸, en este sentido el ASM y el ASA, infieren la presencia de ácidos grasos insaturados en su composición.

Tabla 6. Características fisicoquímicas del aceite crudo obtenido de la semilla de los desperdicios de mango ataulfo y aguacate local.

Muestra	ASM	ASA
Índice de refracción a 20 °C	1.446 ± 0.0045 ^b	1.4254 ± 0.0195 ^a
Índice de acidez (% de ácido oleico)	0.027 ± 0.0050 ^a	0.046 ± 0.0151 ^a
Índice de yodo (g de I ₂ / 100 g de aceite)	46.839 ± 1.3195 ^a	232.758 ± 4.5627 ^b
Índice de peróxidos (meq O ₂ /kg de aceite)	NPP	NPP

ASM, aceite de semilla de mango; ASA, aceite de semilla de aguacate; NPP, no presentó peróxidos. Nota: Letras diferentes en cada fila muestra diferencia significativa con P<0.05 (prueba de Tukey). Valor promedio de tres determinaciones (± desviación).

En el índice de acidez los aceites no presentaron diferencias significativas con un nivel de confianza de P<0.05. El índice de acidez es uno de los principales parámetros que reflejan la calidad de los aceites vegetales, el grado de refinación, así como el cambio de calidad durante el almacenamiento.¹¹⁷ De acuerdo a la Norma Mexicana de aceite vegetales comestibles NMX-F-223-1985-Alimentos,aceite vegetal comestible-1985,¹¹⁹ el límite máximo permisible de acidez es de 0.06 % de ácido oleico, los ASM y ASA no sobrepasan el límite establecido, por tanto los aceites obtenidos de los desperdicios de mango ataulfo y aguacate local al tener un bajo contenido de ácidos grasos libres, indican que podrían ser de consumo y que la SA y SM son materia prima de calidad para la extracción de aceites de calidad.

En el índice de yodo el ASA fue significativamente (P<0.05) mayor que el AS. El índice de yodo es un parámetro de calidad que se utiliza para determinar la insaturación de los aceites, evaluar la estabilidad del aceite en aplicaciones industriales⁶⁵ y también puede proporcionar una indicación de la adulteración de un aceite o grasa.¹¹⁸

El índice de yodo del ASA resultó ser diferente con lo reportado por Rengifo y col.⁷⁹ que obtuvieron un valor de 70.623 g de I₂/100 g en aceite de semilla de aguacate Hass, al igual que Bora y col.¹²⁰, que reportaron un índice de yodo de 69.4 de I₂/ 100 g de aceite en semilla de aguacate Fuerte. Durante la determinación del índice de yodo, los grupos hidroxilos en algunos lípidos pueden interactuar con el reactivo Wijs, dando un índice de yodo más alto de lo esperado, asimismo, la presencia de una cantidad significativa de esteroides en la muestra de lípidos también da como resultado un índice de yodo más alto de lo esperado, ya que los dobles enlaces dentro de los esteroides absorben yodo adicional.¹¹⁸ Esto puede estar relacionado con el alto índice de yodo obtenido en el ASA o por su composición química de ácidos grasos, que sugiere ser un aceite rico en ácidos grasos insaturados, lo cual se discutirá en la sección 7.3.2.

El índice de peróxido es un indicador de la rancidez oxidativa en los aceites y una medida de la concentración de peróxidos e hidroperóxidos formados en las etapas iniciales de oxidación de lípidos, por lo que generalmente el índice de peróxido debe ser menor de 10 mg/g de aceites en los aceites frescos.⁶⁵

En los ASM y ASA, no presentaron peróxidos, lo que sugiere que los aceites son ricos en compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, que podrían estar estabilizando la formación de peróxidos, por lo que tienen potencial de usarse como ingredientes para alimentos funcionales o enriquecidos.⁶⁶

7.3.2. Composición de ácidos grasos

La composición de ácidos grasos de los aceites de semillas se muestra en la Tabla 7. Los principales ácidos grasos que componen el ASM, son el ácido oleico y ácido esteárico. El ácido oleico es un ácido graso poliinsaturado esencial en la nutrición humana, ya que participa en la síntesis de prostaglandinas y otros procesos relacionados con la regulación celular, su ausencia se ha asociado a trastornos dermatológicos.⁶⁵ El ácido esteárico reduce el colesterol de las lipoproteínas de baja densidad (LDL), que es un factor de riesgo bien conocido de enfermedad coronaria (CHD)¹²¹ y también se le atribuye un potente efecto antiinflamatorio e inhibe el crecimiento del cáncer.¹²²

Tabla 7. Composición de ácidos grasos de aceite de semilla de mango ataulfo y aguacate local (g/100g).

Ácidos grasos	ASM	ASA
Ácido palmítico (C16:0)	7.66 ±0.64	15.59 ± 0.81
Ácido palmitoleico (C16:1 n-7)	ND	1.80± 0.51
Ácido esteárico (C18:0)	35.61±0.60	1.56 ± 0.95
Ácido oleico (C18:1n-9)	43.02 ±1.20	7.42 ± 4.12
Ácido linoleico (C18:2n-6)	8.39 ±0.58	39.27 ± 4.97
Ácido linolénico (C18:3)	1.71 ±0.07	3.87 ± 0.19
Ácido eicosanoico (C20:0)	2.40 ±0.14	ND
Otros*	1.55±1.39	31.01±1.49

ASM, aceite de semilla de mango; ASA, aceite de semilla de aguacate; ND: No detectado. *Incluye los ácidos grasos en menor cantidad C10:0, C12:0, C14:0, C15:0, C16:1n7, C17:0, C18:1n7, C20:1n9, C22:0, C23:0 y C24:0. Valor promedio de tres determinaciones (± desviación).

El predominio de los ácidos oleico y ácido esteárico (78.63% del total de ácidos grasos) en el ASM ha demostrado similitudes en la composición a otras grasas naturales importantes como la manteca de cacao, manteca de illipe y de karité, todos ampliamente utilizados en el procesamiento de alimentos.¹¹¹ Por lo tanto, las características fisicoquímicas y el perfil de ácidos grasos del ASM, lo convierten en potencial alimento de ingredientes funcionales.

En el caso del ASA los principales ácidos grasos de su composición, son el ácido linoleico y ácido palmítico (54.86% del total de ácidos grasos). El ácido linoleico conocido

como omega 6 es importante en la salud humana debido a que se ha señalado que mejora el sistema inmunológico, reduce el nivel de colesterol de baja densidad (LDL) y se le atribuye actividad antioxidante con efectos biológicos.¹¹⁵ El ácido palmítico, se le atribuye actividad antimicrobiana.¹²³ Las características fisicoquímicas y la composición de ácidos grasos del ASA, lo hacen un recurso valioso que puede tener un potencial uso en productos de alto valor y su aprovechamiento para la reducción de los desperdicios de aguacate local.

Los ácidos grasos insaturados son muy importantes para la estabilidad de los aceites debido a las reacciones químicas que ocurren en los dobles enlaces, por tanto los aceites con composiciones mayoritarias de ácido oleico, son más estables que otros,⁶⁵ como el ASA y ASM, esto puede estar relacionado con los resultados obtenidos en el análisis de peróxidos. Con base a los resultados obtenidos, la SM y la SA son un recurso valioso para la producción de aceites de calidad.

7.4. Compuestos bioactivos del aceite de semilla y cáscaras de mango ataulfo y aguacate local

Los resultados de la composición de compuestos fenólicos totales, carotenoides, clorofilas y vitamina C de la cáscara y el aceite de semilla de mango ataulfo y aguacate local, se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Compuestos bioactivos analizados en las cáscaras y aceites de semilla de mango ataulfo y aguacate local.

Compuestos bioactivos	ASM	ASA	CM	CA
CFT (mg EAG/g)	0.519 ± 0.02 ^a	0.881 ± 0.02 ^a	186.11 ± 0.94 ^c	21.18 ± 0.26 ^b
Carotenoides (mg de β-caroteno/kg)	120.76 ± 1.98 ^c	1.33 ± 0.03 ^a	8.83 ± 0.82 ^b	1.92 ± 0.06 ^a
Clorofila a (mg/kg)	0.324 ± 0.08 ^a	0.320 ± 0.05 ^a	164.67 ± 1.56 ^b	183.03 ± 1.56 ^c
Clorofila b (mg/kg)	0.578 ± 0.01 ^a	0.578 ± 0.01 ^a	292.88 ± 1.38 ^b	313.79 ± 1.54 ^c
Clorofilas totales (mg/kg)	0.902 ± 0.02 ^a	0.898 ± 0.05 ^a	457.55 ± 0.93 ^b	496.82 ± 0.43 ^c
Vitamina C (mg de ac. asc. /100g)	nsd	nsd	123.3 ± 0.03 ^b	2.54 ± 0.03 ^a

ASM, aceite de semilla de mango; ASA, aceite de semilla de aguacate; CM, cáscara de mango, CA, cáscara de aguacate; EAG, equivalentes de ácido gálico nsd: No se determinó. Nota: Letras diferentes en cada fila muestra diferencia significativa con P<0.05 (prueba de Tukey). Todos los resultados relacionados con aceites se expresarán en g o kg de aceite y todos los resultados relacionados con las cáscaras se expresarán por g o kg de peso seco. Valor promedio de tres determinaciones (± desviación).

Los compuestos fenólicos son el grupo más grande de fitoquímicos, son moléculas biológicamente activas y además tienen un uso prometedor en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética sobre todo por su fuerte actividad antioxidante.⁴ En este

estudio la CM (186.11 mg GAE/g) fue significativamente ($P < 0.05$) mayor que los aceites y la CA.

Ajila y col.¹²⁴ reportaron concentraciones de 55-110 mg EAG/g en cáscara de dos variedades mango de la India, por otra parte García-Magaña y col.¹²⁵ obtuvieron 68.13 mg EAG/g en cáscara de mango ataulfo obtenida después del procesado de jugo. Con respecto a los resultados obtenidos, a pesar de provenir de los desperdicios de mango ataulfo la CM, presenta mayores concentraciones ($P < 0.05$) de compuestos fenólicos que la cáscara del fruto fresco o después de la manipulación de procesos industriales, por lo que la utilización de la CM para investigaciones futuras en la recuperación de CFT debería ser más intensiva.

En cuanto al contenido de carotenoides, el análisis estadístico reveló que el ASM (120.76 mg de β -caroteno/kg) fue significativamente mayor ($P < 0.05$) que el ASA, CM y CA. Los carotenoides son considerados valiosos compuestos por su actividad antioxidante, han sido añadidos en alimentos para humanos y animales, algunas correlaciones significativas del consumo de alimentos ricos en carotenoides han demostrado mejoras en la salud humana, como en la prevención de la degeneración macular, enfermedades cardiovasculares o enfermedades de la piel.¹²⁶

Los valores encontrados de carotenoides en ASM son similares a otros aceites comestibles, como el aceite de pulpa de aguacate (4.63 mg de β -caroteno/kg de aceite) o del aceite de oliva que presentan entre 3.57 mg de β -caroteno/kg de aceite-6.07 mg de β -caroteno/kg de aceite.¹¹⁰ Esta indica que el ASM además de estar compuesto por ácidos grasos benéficos para la salud humana como el oleico y esteárico, también puede considerarse rico en carotenoides, por lo que tiene un gran potencial para su uso en la industria alimentaria.

Las clorofilas son otro de los compuestos bioactivos evaluados, presentan varias acciones biológicas que pueden producir un impacto beneficioso en la salud humana, como en la prevención el efecto perjudicial de posibles carcinógenos químicos.⁴⁰ En cuanto a las clorofilas *a* (183.03 mg/kg), clorofilas *b* (313.79 mg/kg) y clorofilas totales (496.82 mg/kg), la CA fue significativamente mayor ($P < 0.05$) respectivamente, que las muestras estudiadas.

La CA presentó un mayor contenido de clorofilas que el vástago del brócoli (165.8 mg/kg BS), considerado un fuente importante de este compuesto y que actualmente se busca su aprovechamiento en la industria alimentaria.¹²⁷ Por este motivo la CA, al ser fuente natural de clorofila, debe considerarse para futuras investigaciones y tecnologías adecuadas para su recuperación, ya que podría generar activos económicos, puesto que las clorofilas son muy usadas como aditivos alimentarios, en productos de confitería, postres, salsas y condimentos, quesos y refrescos.⁴⁴

Por último, se evaluó la vitamina C, por su capacidad hidrofílica se determinó solo en las cáscaras. El análisis estadístico reveló diferencias significativas con un nivel de

confianza de $P < 0.05$, siendo la CM (123.3 mg de ácido ascórbico/100g) la que presentó un mayor contenido con respecto a la CA. La vitamina C se considera un importante nutriente y antioxidante natural en la dieta diaria, tienen efectos anticancerígenos y reduce los radicales de tocoferol a su forma activa en las membranas celulares.¹²⁸ El contenido de vitamina C de CM fue mayor que los reportados en subproductos agroindustriales como la cáscara de naranja (30 mg de ácido ascórbico/100g BS), pomelo (60 mg de ácido ascórbico/100g BS) y cáscara de mandarina (30-40 mg de ácido ascórbico/100g BS),¹²⁹ que actualmente son utilizados para el mejoramiento de productos de panadería. Los resultados sugieren que la CM es una excelente fuente de vitamina C, este compuesto es beneficioso para la salud humana, porque lo que podría tener diversas aplicaciones alimentarias o farmacéuticas.

7.5. Actividad antioxidante de los extractos de compuestos bioactivos de los aceites de semillas y cáscaras del mango ataulfo

En la tabla 9 se reporta la actividad antioxidante de los compuestos bioactivos por dos métodos de captación de radicales. En la evaluación de extractos de CFT por el método DPPH el análisis estadístico reveló diferencias significativas ($P < 0.05$) en la actividad antioxidante entre todas las muestras, la mayor actividad antioxidante correspondió a la CM (0.25518 mol ET/g). Por el método ABTS, las muestras presentaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$), en donde la CA obtuvo la mayor capacidad antioxidante en el extracto de CFT siendo este valor de 0.98733 mol ET/g.

Sogi y col.⁵⁹, reportaron la actividad antioxidante de la cáscara de mango Tommy Atkins, por el método DPPH presentó 0.000176-0.000219 mol TE /g BS y por el método ABTS de 0.000168-0.000197 mol TE/g BS, los cuales son inferiores a los resultados obtenidos en la CM. Palafox y col.⁴⁸ determinaron que la capacidad antioxidante en el mango "Ataulfo" es más alta que en otros cultivares como "Manila", "Kent", "Palmer", "Tommi Atkins" y otros.

Yiang y col.⁵⁶ encontraron dos valiosos compuestos fenólicos presentes en la cáscara de mango, el galato de etilo y el penta-*O*-galoil-glucósido. Los cuales poseen potentes efectos depuradores sobre los radicales hidroxilos ($\cdot\text{OH}$), aniones superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$) y oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$), esto podría explicar la alta actividad antioxidante en la CM y su potencial uso en la industria alimentaria o farmacéutica. La recuperación y aplicación de este desperdicio es importante para reducir la contaminación ambiental y su uso contribuiría a una producción más sostenible en la cadena agroalimentaria.

Rodríguez y col.¹³⁰, reportaron una actividad antioxidante de 0.19961 mol ET/g en cáscara de aguacate variedad "fuerte" y 0.08894 mol ET/g en cáscara de aguacate "Hass" por DPPH y 0.10375 mol ET/g en ABTS para cáscara de aguacate Hass y 0.24226 mol ET /g en cáscara de aguacate variedad Fuerte, los cuales presentan una

baja actividad antioxidante en comparación a la CA, teniendo en cuenta que proviene de los desperdicios, lo que indica perspectivas prometedoras como fuente alternativa de antioxidante, lo que contribuiría a evitar su desecho.

Tabla 9. Actividad antioxidante DPPH y ABTS de los compuestos bioactivos del aceite de semilla y cáscara del mango ataulfo y aguacate local.

Compuestos bioactivos	DPPH (mol ET/ g)				ABTS (mol ET/g)			
	ASM	ASA	CM	CA	ASM	ASA	CM	CA
CFT	0.00204 ± 1.53 ^a	0.00667 ± 1.15 ^b	0.25518 ± 1.38 ^d	0.208482 ± 0.61 ^c	0.00397 ± 0.03 ^a	0.00553± 1.34 ^b	0.141749 ± 1.44 ^c	0.98733 ± 1.18 ^d
Carotenoides	0.00119 ± 2.36 ^a	0.00118 ± 1.63 ^a	0.07665 ± 4.05 ^b	0.08031 ± 4.42 ^c	1.84624 ± 1.18 ^d	0.03571 ± 2.12 ^c	0.00554 ± 2.96 ^a	0.00683 ± 1.42 ^b
Clorofila	0.00984 ± 1.94 ^c	0.02381 ± 0.89 ^d	0.00127 ± 5.37 ^a	0.00133 ± 1.52 ^b	0.03184 ± 5.89 ^c	0.03642 ± 0.01 ^d	0.00021 ± 0.01 ^b	0.00016 ± 0.51 ^a
Vitamina C	nsd	nsd	0.26199 ± 6.39 ^a	1.52268 ± 3.77 ^b	nsd	nsd	0.00019 ± 0.15 ^a	0.00023 ± 0.17 ^b

ASM, aceite de semilla de mango; ASA, aceite de semilla de aguacate; CM, cáscara de mango, CA, cáscara de aguacate; CFT, compuestos fenólicos totales; ET, equivalentes de trolox; nsd: No se determinó. Nota: Letras diferentes en cada fila muestra diferencia significativa con $P < 0.05$ (prueba de Tukey). Valor promedio de tres determinaciones (\pm desviación).

La alta actividad antioxidante de la CA puede deberse a la diversidad de compuestos fenólicos presentes, de acuerdo a Figueroa y col.⁷⁵ la cáscara de aguacate presenta alrededor de 61 compuesto fenólicos, las procianidinas que son la familia más abundante en la cáscara de aguacate, a las cuales se les atribuye el incremento de la actividad antioxidante, estos compuestos fenólicos también son conocidos por poseer efectos anticarcinogénico y antiinflamatorio.

La actividad antioxidante evaluada en los extractos de carotenoides por el método DPPH, fue significativamente ($P < 0.05$), mayor en la CA (0.08031 mol ET/g) a la ASM, ASA y CM. Por otra parte, en el método ABTS, el ASM (1.84624 mol ET/g de aceite), fue significativamente mayor ($P < 0.05$), en la actividad antioxidante de los carotenoides que en las muestras estudiadas.

La alta actividad antioxidante reflejada en los extractos de carotenoides de la CA (0.08031 mol ET/g) puede estar relacionada a la suma de compuestos bioactivos presentes, como los CFT que en sinergia con lo carotenoides representan la muestra con mayor actividad antioxidante.¹³⁰ Los resultados por ABTS, revelaron que el ASM (1.84624 mol ET/g) presentó la mayor actividad antioxidante ($P < 0.05$) en los extractos de carotenoides que las muestras estudiadas, lo cual tiene relación al contenido de carotenoides, ya que esta muestra exhibió el mayor contenido en la cuantificación de este compuesto.

En la actividad antioxidante de los extractos de clorofilas por el método DPPH, el análisis estadístico reveló diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los extractos, el ASA presentó la mayor actividad antioxidante (0.02381 mol ET/g de aceite). Por el método ABTS hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los extractos y un comportamiento similar al método DPPH siendo el ASA (0.03642 mol ET/g de aceite) el extracto de clorofila con mayor actividad antioxidante.

La alta actividad antioxidante del extracto de clorofilas de ASA, es un indicador de por no se encontraron peróxidos. Se ha reportado que la clorofila extiende la fase de retraso de la reacción en cadena que oxida los triglicéridos en los aceites en la oscuridad, además la capacidad de las clorofilas para formar complejos moleculares estrechos limita la biodisponibilidad de algunos carcinógenos químicos, estos efectos revelan que este grupo de pigmentos tiene un potencial anticancerígeno,⁴⁴ lo que indica el valor y el potencial industrial o nutracéutico del ASA.

Finalmente se evaluó la actividad antioxidante en los extractos de vitamina C de las cáscaras. Las muestras presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) por el método DPPH, la CA presentó la mayor actividad antioxidante con 0.152268 mol ET/g y por el método ABTS en análisis estadístico reveló diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las muestras, siendo también el extracto de vitamina C de la CA (0.00023 mol ET/g de BS) el que presentó la mayor actividad antioxidante.

La vitamina C es un antioxidante al cual se le ha atribuido la protección de componente celulares del daño inducido por los radicales libres y efectiva en la regeneración de la forma antioxidante de la vitamina E.¹²⁹ Los resultados revelan que las CA presenta mayor actividad antioxidante en extractos de vitamina C que otros subproductos agroindustriales como la cáscara de durazno (0.0000095 mol ET/g de peso fresco),¹³¹ por lo que puede tener un papel importante para en la industria alimentaria o cosmética.

En este estudio los resultados reflejaron que los desperdicios de mango ataulfo y aguacate local, presentan fuerte actividad antioxidante aun después de su desecho, la recuperación y utilización de estos valiosos compuestos como fuentes alternativas de antioxidantes garantizaría un entorno sustentable y la reducción de los desperdicios de alimentos, que en futuro traerían beneficios ambientales y económicos. (Tabla 10)

Tabla 10. Resumen de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de la cáscara y semilla del mango ataulfo y aguacate local.

Muestras	Compuestos bioactivos			
	CFT (mg EAG/g)	Carotenoides (mg de β -caroteno/kg)	Clorofilas (mg/kg)	Vitamina C mg de ac. asc. /100g)
ASM	0.519 \pm 0.02 ^a	120.76 \pm 1.98 ^c	0.902 \pm 0.02 ^a	nsd
ASA	0.881 \pm 0.02 ^a	1.33 \pm 0.03 ^a	0.898 \pm 0.05 ^a	nsd
CM	186.11 \pm 0.94 ^c	8.83 \pm 0.82 ^b	457.55 \pm 0.93 ^b	123.3 \pm 0.03 ^b
CA	21.18 \pm 0.26 ^b	1.92 \pm 0.06 ^a	496.82 \pm 0.43 ^c	2.54 \pm 0.03 ^a
DPPH (mol ET/ g)				
ASM	0.00204 \pm 1.53 ^a	0.00119 \pm 2.36 ^a	0.00984 \pm 1.94 ^c	nsd
ASA	0.00667 \pm 1.15 ^b	0.00118 \pm 1.63 ^a	0.02381 \pm 0.89 ^d	nsd
CM	0.25518 \pm 1.38 ^d	0.07665 \pm 4.05 ^b	0.00127 \pm 5.37 ^a	0.26199 \pm 6.39 ^a
CA	0.208482 \pm 0.61 ^c	0.08031 \pm 4.42 ^c	0.00133 \pm 1.52 ^b	1.52268 \pm 3.77 ^b
ABTS (mol ET/ g)				
ASM	0.00397 \pm 0.03 ^a	1.84624 \pm 1.18 ^d	0.03184 \pm 5.89 ^c	nsd
ASA	0.00553 \pm 1.34 ^b	0.03571 \pm 2.12 ^c	0.03642 \pm 0.01 ^d	nsd
CM	0.141749 \pm 1.44 ^c	0.00554 \pm 2.96 ^a	0.00021 \pm 0.01 ^b	0.00019 \pm 0.15 ^a
CA	0.98733 \pm 1.18 ^d	0.00683 \pm 1.42 ^b	0.00016 \pm 0.51 ^a	0.00023 \pm 0.17 ^b

ASM, aceite de semilla de mango; ASA, aceite de semilla de aguacate; CM, cáscara de mango, CA, cáscara de aguacate; EAG, equivalentes de ácido gálico nsd: No se determinó. Nota: Letras diferentes en cada columna muestra diferencia significativa con P<0.05 (prueba de Tukey). Todos los resultados relacionados con aceites se expresarán en g o kg de aceite y todos los resultados relacionados con las cáscaras se expresarán por g o kg de peso seco. Valor promedio de tres determinaciones (\pm desviación).

8. CONCLUSIONES

- Las harinas de CA, CM (3.91 ± 0.30 %) y SM (2.47 ± 0.21 %) presentaron los mayores porcentajes de cenizas en comparación a la harina CA. Las harinas de CA y SA presentaron los mayores porcentajes de proteína 8.19 ± 0.30 y 8.02 ± 0.70 respectivamente, que las cáscaras y semillas de otras variedades de aguacate de uso comercial como Hass o Fuerte, por lo que se sugiere ser considerados para futuras investigaciones como fuentes de aminoácidos. Las harinas de CA (12.94 ± 0.58), CM (12.96 ± 0.59) y SM (14.11 ± 0.25) presentaron los mayores contenidos de grasa en comparación con subproductos agroindustriales aprovechados para la extracción de aceites esenciales como la cáscara de naranja dulce, lima y capozú, por lo que podrían ser fuentes alternativas para la extracción de aceite. La harina de CA (38.06 ± 1.61) fue significativamente mayor ($P < 0.05$) que las harinas de CM, SM y SA, por lo que puede ser fuente potencial de energía como bioetanol y otros productos de valor agregado. Las harinas de CM (61.79 ± 0.04) y SA (60.58 ± 0.60) presentaron los mayores porcentajes de carbohidratos en comparación a las harinas de CA y CM.
- Las harinas CM (23.42 ± 0.74 g/100g), CA (53.09 ± 0.90 g/100g), SM (36.65 ± 0.77 g/100g) y SA (47.21 ± 0.57 g/100g), presentaron un mayor contenido de FDT que la pulpa de algunas frutas tropicales como el caimito, nance amarillo, pitaya y de subproductos con valor industrial por su contenido de FDT como las cáscaras de limón, salvado de trigo y arroz. Por lo que representan gran potencial para la industria alimentaria o para la elaboración de biopolímeros.
- Los aceites extraídos las semillas de mango ataulfo y aguacate local obtenidos de los desperdicios, presentaron una composición fisicoquímica similares a los aceites vegetales comestibles como el aceite de coco y palma. Los aceites estudiados están compuestos principalmente de ácidos grasos insaturados, como el ácido oleico (43.02 g/100 g) en ASM y ácido linoleico (39.25 g/100g) en el ASA, que son considerados deseables en términos de nutrición, por lo tanto, las semillas de estos desperdicios pueden ser aprovechadas por la extracción de aceite de calidad.
- La harina de CM (186.11 EAG/g) presentó el mayor contenido en compuestos fenólicos, el ASM (1.33 mg de β -caroteno/kg) en carotenoides, la harina de CA (496.82 mg/kg) en clorofilas totales y la harina de CM (123.30 mg de ácido ascórbico/100g) en vitamina C, lo que revela que los desperdicios de mango ataulfo podría ser fuentes naturales alternativas de compuestos bioactivos.

- La mayor actividad antioxidante en extractos CFT por DPPH y ABTS, fue en la harina de CM (0.25518 mol ET/g) y la harina de CA (0.98733 mol ET/g) respectivamente, en extractos de carotenoides, la harina CA (0.08031 mol ET/g) y el ASA (1.84624 mol ET/g) respectivamente, en extractos de clorofila el ASA tanto en DPPH (0.02381 mol ET/g) como en ABTS (0.03642 mol ET/g) y en extractos de vitamina C la harina de CA tanto en DPPH (1.52268 mol ET/g) como en ABTS (0.00023 mol ET/g), por lo tanto las harinas de cáscara y la semilla de mango ataulfo y aguacate local, son fuentes de compuestos antioxidantes lo que representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la industria alimentaria, farmacéutica y/o de cosméticos.

9. PERSPECTIVAS

Los compuestos bioactivos evaluados en los desperdicios del mango ataulfo y aguacate local, presentan potencial para futuras investigaciones, como alternativas de prevención contra enfermedades de origen oxidativo, evaluación como aditivos alimentarios y en el caso de las harinas como alternativa de envases o embalajes.

Por tal motivo se sugiere continuar los estudios con la evaluación de diferentes actividades biológicas y de biodisponibilidad que puedan presentar estos compuestos bioactivos sobre modelos más complejos, así como como las diferentes propiedades tecnofuncionales que puedan presentar las harinas.

La evaluación de compuestos bioactivos en desperdicios alimentarios, es poco explorada, ya que son considerados sin valor alguno, actualmente podría ser un campo a explotar para la obtención de compuestos de alto valor a un bajo costo y por ende generar una cadena agroalimentaria sustentable para las futuras generaciones.

10. REFERENCIAS

- (1) Gustavsson, J.; Cederberg, C.; Sonesson, U.; Van Otterdijk, R.; Meybeck, A. *Pérdidas y Desperdicios de Alimentos En El Mundo: Alcance, Causas y Prevención*; Roma, 2012.
- (2) Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). Grupo Técnico de Pérdidas y Mermas de Alimentos En México. México 2013, pp 1–28.
- (3) Patil, B.; Jayaprakasha, G.; Murthy., C.; Vikram, A. Bioactive Compounds: Historical Perspectives, Opportunities and Challenges. *J. Agric. Food Chem.* **2009**, *57* (18), 8142–8160. <https://doi.org/10.1021/jf9000132>.
- (4) Tsao, R. Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients* **2010**, *2*, 1231–1246. <https://doi.org/10.3390/nu2121231>.
- (5) Nagarajan, J.; Ramanan, R. N.; Raghunandan, M. E.; Galanakis, C. M.; Krishnamurthy, N. P. *Chapter 8. Carotenoids*; Elsevier Inc., 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805257-0.00008-9>.
- (6) Cruz, R.; Casal, S. Direct Analysis of Vitamin A , Vitamin E , Carotenoids , Chlorophylls and Free Sterols in Animal and Vegetable Fats in a Single Normal-Phase Liquid Chromatographic Run. *J. Food Compos. Anal.* **2018**, *1565*, 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.06.029>.
- (7) Galanakis, C. M. Chapter 1-Introducción. In *Nutraceutical and Functional Food Components: Effects of Innovative Processing Techniques*; Galanakis, C. M., Ed.; Elsevier Inc., 2017; pp 1–14. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805257-0.00001-6>.
- (8) Benitez, V.; Rebollo, M.; Hernanz, S.; Chantres, S.; Aguilera, Y.; Martin, M. Coffee Parchment as a New Dietary Fiber Ingredient: Functional and Physiological Characterization. *Food Res. Int.* **2019**, *122* (March), 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.002>.
- (9) Schneider, F.; Europe, W.; Europe, N. Review of Food Waste Prevention on an International Level. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers.* 2013, pp 187–203. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1680/warm.13.00016>.
- (10) Granados, S.; Vazquez, R. Antecedentes de Pérdidas y Desperdicios de Alimentos a Nivel Internacional y Nacional. In *Manual de pérdidas y desperdicios de alimentos*; Acuña, D.Domper, A. Eguillor, P. Gonzáles, C. Zacarías, I., Ed.; Chile, 2018; pp 15–25.
- (11) Food and Agriculture Organization (FAO). *Pérdidas y Desperdicios de Alimentos En América Latina y El Caribe. Reducira a La Mitad Las Pérdidas y Desperdicios de Alimentos per Cápite En 2025, Un Compromiso de La Región*; 2016.
- (12) Food and Agriculture Organization (FAO). *SAVE FOOD: Iniciativa Mundial Sobre La Reducción de La Pérdida y El Desperdicio de Alimentos.*; Roma, Italia, 2015.

- (13) High Level Panel of Experts (HLPE). *Las Pérdidas y El Desperdicio de Alimentos En El Contexto de Sistemas Alimentarios Sostenibles*; Roma, 2014.
- (14) Nazzaro, F.; Fratianni, F.; Ombra, M. N.; Acierno, A.; Coppola, R. Recovery of Biomolecules of High Benefit from Food Waste. *Curr. Opin. Food Sci.* **2018**, *22*, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.01.012>.
- (15) Buzby, J.; Wells, H.; Hyman, J. The Estimated Amount , Value , and Calories of Postharvest Food Losses at the Retail and Consumer Levels in the United States. *Departmente of Agriculture, Economic Research Service*. Washington, D.C. 2014, pp 1–33.
- (16) Parfitt, J.; Barthel, M.; MacNaughton, S. Food Waste within Food Supply Chains: Quantification and Potential for Change to 2050. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **2010**, *365* (1554), 3065–3081. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126>.
- (17) Schanes, K.; Dobernig, K.; Gözet, B. Food Waste Matters - A Systematic Review of Household Food Waste Practices and Their Policy Implications. *J. Clean. Prod.* **2018**, *182*, 978–991. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.030>.
- (18) Morone, P.; Koutinas, A.; Gathergood, N.; Arshadi, M.; Matharu, A. Food Waste: Challenges and Opportunities for Enhancing the Emerging Bio-Economy. *J. Clean. Prod.* **2019**, *221*, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.258>.
- (19) Khalid, S.; Naseer, A.; Shahid, M.; Mustafa, G.; Irfan, M.; Waqar, A.; Abbas, T.; Imran, M. Assessment of Nutritional Loss with Food Waste and Factors Governing This Waste at Household Level in Pakistan. *J. Clean. Prod.* **2019**, *206*, 1015–1024. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.138>.
- (20) Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT). México prepara lineamientos para atender la pérdida y desperdicios de alimentos. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/mexico-prepara-lineamientos-para-atender-la-perdida-y-desperdicios-de-alimentos>.
- (21) Centro de Estudios el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). El desperdicio de alimentos en México alcanza el 34.7 por ciento de lo que se produce: CEDRSSA http://www.cedrssa.gob.mx/post_el_-desperdicio-n-_de_-n-alimentos-n-_en_-n-mn-xico-n-_alcanza_el_34_7_por_ciento_de_lo_que_se_produce_-_n-cedrssa-n.htm.
- (22) World Bank Group (WBG). Un marco conceptual para una estrategia nacional sobre pérdida y desperdicio de alimentos en México <https://www.wrap.org.uk/content/conceptual-framework-national-strategy-food-loss-and-waste-mexico>.
- (23) Food and Agriculture Organization (FAO). *Pérdidas y Desperdicios de Alimentos En América Latina y El Caribe. Los Países de La Región Avanzan Hacia Un Futuro Con Menos Pérdidas y Desperdicios de Alimentos.*; 2015.
- (24) Otlés, S.; Despoudi, S.; Bucatariu, C.; Kartal, C. Food Waste Management, Managemente, Valorization, and Sustainability in the Food Industry. In *Food Waste Recovery*; Galanakis, C. M., Ed.; Elsevier Inc.: Roma, Italia, 2015; pp 2–23.

- (25) Baiano, A. Recovery of Biomolecules from Food Wastes - A Review. *Molecules* **2014**, *19* (9), 14821–14842. <https://doi.org/10.3390/molecules190914821>.
- (26) Kumar, K.; Yadav, A. N.; Kumar, V.; Vyas, P.; Dhaliwal, H. S. Food Waste: A Potential Bioresource for Extraction of Nutraceuticals and Bioactive Compounds. *Bioresour. Bioprocess.* **2017**, *4* (1). <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0148-6>.
- (27) Angiolillo, L.; Del Nobile, M. A.; Conte, A. The Extraction of Bioactive Compounds from Food Residues Using Microwaves. *Curr. Opin. Food Sci.* **2015**, *5*, 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.10.001>.
- (28) Sagar, N.; Pareek, S.; Sharma, S.; Yahia, E.; Lobo, M. Fruit and Vegetable Waste : Bioactive Compounds , Their Extraction , and Possible Utilization. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **2018**, *17*, 512–531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>.
- (29) Mullen A., Álvarez C., Pojic M., Dapcevic T., P. M. Classification and Target Compounds. In *Food Waste Recovery*; Galanakis, C. M., Ed.; Nikki Levy: Greece, 2015; pp 34–36.
- (30) Otlés, S. Kartal, C. Food Waste Valorization. In *Sustainable Food Systems From Agriculture to Industry*; Galanakis, C. M., Ed.; 2018; pp 371–399. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811935-8.00011-1>.
- (31) Coman, V.; Teleky, B.; Mitrea, L.; Martau, G.; Szabo, K.; Calinoiu, F.; Vodnar, D. Bioactive Potential of Fruit and Vegetable Wastes. *Advances in food and Nutrition Research*. Elsevier I. 2019, pp 1–69. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.07.001>.
- (32) Aguirre T., Perullini M., S. P. Encapsulation of Betacyanins and Polyphenols Extracted from Leaves and Stems of Beetroot in Ca (II) -Alginate Beads : A Structural Study. *J. Food Eng.* **2018**, *235*, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.015>.
- (33) Gutteridge, J.; Halliwell, B. Mini-Review : Oxidative Stress , Redox Stress or Redox Success ? *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **2018**, *1*–4. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2018.05.045>.
- (34) Bouayed, J.; Bohn, T. Exogenous Antioxidants — Double-Edged Swords in Cellular Redox State Health Beneficial Effects at Physiologic Doses versus Deleterious Effects at High Doses. *Oxid. Med. Cell. Longev.* **2010**, *3* (4), 228–237. <https://doi.org/10.4161/oxim.3.4.12858>.
- (35) Shahidi, F.; Ambigaipalan, P. Antioxidants in Oxidation Control. In *Measurement of antioxidant activiy y capacity*; Apak, R., Caoanoglu, E. Shahidi, F., Ed.; John Wiley & Sons Ltd, 2018; pp 287–310.
- (36) Zhang, H.; Tsao, R. ScienceDirect Dietary Polyphenols , Oxidative Stress and Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects. *Curr. Opin. Food Sci.* **2016**, *8*, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.02.002>.
- (37) Tomás, F. Los Polifenoles de Los Alimentos y La Salud. *Alimentación, Nutrición y Salud*. 2003, pp 41–53.
- (38) Londoño, J. Antioxidantes: Importancia Biológica y Métodos Para Medir Su

- Actividad. In *Desarrollo y transversalidad serie Lasallista Investigación y Ciencia*; Londoño Londoño, J., Ed.; Corporación Universitaria Lasallista, 2012; pp 129–162.
- (39) Plazzotta, S.; Manzocco, L. Food Waste Valorization. In *Saving Food*; Elsevier Inc., 2019; pp 279–314. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815357-4.00010-9>.
- (40) Apak, R., Caoanoglu, E. Shahidi, F. *Measurement of Antioxidant Activity and Capacity: Recent Trends and Applications*, John Wiley.; Shahidi Fereidoon, Ed.; 2018.
- (41) Du, L.-D.; Kong, X.-Y.; Du, G.-H. Vitamin C. In *Natural Small Molecule Drugs from Plants*; Springer, S., Ed.; Benjin, China, 2018; pp 653–658. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-10-8022-7_105.
- (42) Roselló, E.; Galanakis, C.; Brnčić, M.; Orlie, V.; Francisco, J.; Mawson, R.; Knoerzer, K.; Tiwari, B.; Barba, F. Clean Recovery of Antioxidant Compounds from Plant Foods, by-Products and Algae Assisted by Ultrasounds Processing. Modeling Approaches to Optimize Processing Conditions. *Trends Food Sci. Technol.* **2015**, *42*, 134–149. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.01.002>.
- (43) Hsu, C.; Chao, P.; Hu, S.; Yang, C. The Antioxidant and Free Radical Scavenging Activities of Chlorophylls and Pheophytins. *Food Nutr. Sci.* **2013**, *4* (August), 1–8. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.48A001>.
- (44) Roca, M.; Chen, K.; Pérez, A. Chlorophylls. In *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages*; Reinhold Carle and Ralf M. Schweiggert, Ed.; Woodhead: Sevilla, España, 2016; pp 125–158. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100371-8.00006-3>.
- (45) Gutiérrez-Rosales, F.; Garrido-Fernández, J.; Gallardo-Guerrero, L.; Gandul-Rojas, B.; Minguez-Mosquera, M. Action of Chlorophylls on the Stability of Virgin Olive Oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **1992**, *69* (9), 866–871. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF02636334>.
- (46) Ashoush, I. S.; Gadallah, M. Utilization of Mango Peels and Seed Kernels Powders as Sources of Phytochemicals in Biscuit Utilization of Mango Peels and Seed Kernels Powders as Sources of Phytochemicals in Biscuit. *Worl J. Dairy Food Sci.* **2011**, *6* (January), 35–42.
- (47) Food and Agriculture Organization (FAO). *Principales Frutas Tropicales: Compendio Estadístico 2018*; Roma, 2018.
- (48) Palafox, H.; Yahia, E.; Islas, M.; Gutierrez, P.; Robles, M.; González, G. Effect of Ripeness Stage of Mango Fruit (*Mangifera Indica* L., Cv. Ataulfo) on Physiological Parameters and Antioxidant Activity. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. **2012**, *135*, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.11.027>.
- (49) Yuan-zhi, S.; Jiao-ke, Z.; Hong, T.; Yi, Z.; Wen, L. The Chemical Treatments Combined with Antagonistic Yeast Control Anthracnose and Maintain the Quality of Postharvest Mango Fruit. *J. Integr. Agric.* **2019**, *18* (5), 1159–1169. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62128-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62128-8).

- (50) Torres, C.; Rojas, R.; Contreras, J.; Serna, L.; Belmares, R.; Aguilar, C. Mango Seed: Functional and Nutritional Properties. *Trends Food Sci. Technol.* **2016**, *55*, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.06.009>.
- (51) Palafox, H.; Yahia, E.; González, G. Identification and Quantification of Major Phenolic Compounds from Mango (*Mangifera Indica*, Cv. Ataulfo) Fruit by HPLC-DAD-MS/MS-ESI and Their Individual Contribution to the Antioxidant Activity during Ripening. *Food Chem.* **2012**, *135* (1), 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.103>.
- (52) Jahurul, M.; Zaidul, I.; Ghafoor, K.; Al-juhaimi, F.; Nyam, K.; Norulaini, N.; Sahena, F.; Omar, A. Mango (*Mangifera Indica* L.) by-Products and Their Valuable Components: A Review. *Food Chem.* **2015**, *183*, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.046>.
- (53) Asif, A.; Farooq, U.; Akram, K.; Hayat, Z.; Aftab, S. Therapeutic Potentials of Bioactive Compounds from Mango Fruit Wastes. *Trends Food Sci. Technol.* **2016**, *53*, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.004>.
- (54) Sumaya, T.; Sánchez, L.; Torres, G.; García, D. Red de Valor de Mango y Sus Desechos Con Base En Las Propiedades Nutricionales y Funcionales. *Quinta Época* **2012**, *30*, 826–833.
- (55) Rojas, R.; Maria, J. C. C.; Mun, C. Mango Peel as Source of Antioxidants and Pectin: Microwave Assisted Extraction. *Wastes Biomass Valor* **2015**, *66*, 1095–1102. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9401-4>.
- (56) Jiang, L. Y.; He, S.; Pan, Y. J.; Sun, C. R. Bioassay-Guided Isolation and EPR-Assisted Antioxidant Evaluation of Two Valuable Compounds from Mango Peels. *Food Chem.* **2010**, *119* (4), 1285–1292. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.005>.
- (57) Dorta, E.; Lobo, G.; González, M. Using Drying Treatments to Stabilise Mango Peel and Seed: Effect on Antioxidant Activity. *LWT - Food Sci. Technol.* **2012**, *45*, 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.08.016>.
- (58) Ajila, C.; Aalami, M.; Leelavathi, K.; Rao, P. Mango Peel Powder: A Potential Source of Antioxidant and Dietary Fiber in Macaroni Preparations. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* **2010**, *11* (1), 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.004>.
- (59) Sogi, D.; Siddiq, M.; Greiby, I.; Dolan, K. Total Phenolics, Antioxidant Activity, and Functional Properties of “Tommy Atkins” Mango Peel and Kernel as Affected by Drying Methods. *Food Chem.* **2013**, *141* (3), 2649–2655. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.053>.
- (60) Castro, H.; Vivas, D.; Barbosa, J.; Medina, S.; Gutiérrez, F.; Parada, F. Bioactive Phenolic Compounds from the Agroindustrial Waste of Colombian Mango Cultivars ‘Sugar Mango’ and ‘Tommy Atkins’—An Alternative for Their Use and Valorization. *Antioxidants* **2019**, *8* (2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/antiox8020041>.
- (61) Sánchez, P.; Gutiérrez, L.; Milena, S.; Martínez, H.; Parada, F.; Narváez, C. The

Journal of Supercritical Fluids Valorisation of Mango Peel : Proximate Composition , Supercritical Fluid Extraction of Carotenoids , and Application as an Antioxidant Additive for an Edible Oil. *J. Supercrit. Fluids* **2019**, *152*, 104574. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104574>.

- (62) Abdalla, A.; Darwish, S.; Ayad, E.; El-Hamahmy, R. Egyptian Mango By-Product 1. Compositional Quality of Mango Seed Kernel. *Food Chem.* **2007**, *103*(4), 1134–1140. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.017>.
- (63) Ribeiro, S.; Barbosa, L.; Queiroz, J.; Knödler, M.; Schieber, A. Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Brazilian Mango (*Mangifera Indica* L.) Varieties. *Food Chem.* **2008**, *110* (3), 620–626. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.067>.
- (64) Torres, C.; Rojas, R.; Serna, L.; Belmares, R.; Noé, C. Food and Bioproducts Processing Extraction of Antioxidants from Mango Seed Kernel : Optimization Assisted by Microwave. *Food Bioprod. Process.* **2017**, *105*, 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.07.005>.
- (65) Kittiphoom, S. Sutasinee, S. Mango Seed Kernel Oil and Its Physicochemical Properties. *Int. Food Res. J.* **2013**, *20* (3), 1145–1149.
- (66) Mariod, A.; Saeed, M.; Hussein, I. *Mangifera Indica* Mango Seed Kernel Oil. In *Unconventional Oilseeds and Oil Sources*; 2017; pp 227–232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809435-8.00034-2>.
- (67) Manthey, J.; Penelope, P. Influences of Harvest Date and Location on the Levels of β -Carotene, Ascorbic Acid, Total Phenols, the in Vitro Antioxidant Capacity, and Phenolic Profiles of Five Commercial Varieties of Mango (*Mangifera Indica* L.). *J. Agric. Food Chem.* **2009**, *57* (22), 10825–10830. <https://doi.org/10.1021/jf902606h>.
- (68) Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGARPA). *Plan Rector Nacional de Sistema Producto Mango*; 2012; Vol. 01.
- (69) National Mango Board. Mango PLU Codes & Varieties _ National Mango Board <https://www.mango.org/es/variedades-y-codigos-plu/> (accessed Sep 30, 2020).
- (70) Torres, C.; Vicente, A.; Flores, M.; Rojas, R.; Serna, L.; Alvarez, O.; Aguilar, C. Edible Films and Coatings Based on Mango (Var. Ataulfo) by-Products to Improve Gas Transfer Rate of Peach. *Food Sci. Technol.* **2018**, *97*, 624–631. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.057>.
- (71) Monribot, J.; Elizalde, J.; Aluja, M.; Segura, A.; Birke, A.; Guerrero, J.; Ruiz, E. Endorsing and Extending the Repertory of Nutraceutical and Antioxidant Sources in Mangoes during Postharvest Shelf Life. *Food Chem.* **2019**, *285*, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.136>.
- (72) Araújo, R.; Rodriguez, R.; Ruiz, H.; Pintado, M.; Aguilar, C. Avocado By-Products: Nutritional and Functional Properties. *Trends Food Sci. Technol.* **2018**, *80*, 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.027>.
- (73) Díaz, E.; Hernández, I.; Humberto, I.; León, A.; León, D. N. Evaluación de

Aguacates Criollos En Nuevo León , México : Región Norte. *Rev. Mex. ciencias agrícolas* **2012**, 3, 245–257. [https://doi.org/10.1016/S0002-9149\(00\)01443-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9149(00)01443-0).

- (74) Tapia, A.; Ramírez, J.; Salgado, M.; Castañeda, A.; Maldonado, F.; Díaz, V.; Lara, A. Distribución Espacial de Antracnosis (*Colletotrichum Gloeosporioides* Penz) En Aguacate En El Estado de México, México. *Revista Argentina de Microbiología*. November 2017, p 10. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2019.07.004>.
- (75) Figueroa, J.; Borrás, I.; Lozano, J.; Segura, A. Comprehensive Characterization of Phenolic and Other Polar Compounds in the Seed and Seed Coat of Avocado by HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS. *Food Res. Int.* **2018**, 105, 752–763. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.082>.
- (76) López, A.; Ana, G.; Pasini, F.; Caboni, M.; Segura, A.; Alberto, F. HPLC-DAD-ESI-QTOF-MS and HPLC-FLD-MS as Valuable Tools for the Determination of Phenolic and Other Polar Compounds in the Edible Part and by-Products of Avocado. *LWT - Food Sci. Technol.* **2016**, 73, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.049>.
- (77) Melgar, B.; Dias, M.; Ciric, A.; Sokovic, M.; Garcia, E.; Rodriguez, A.; Barros, L.; Ferreira, I. Bioactive Characterization of *Persea Americana* Mill. by-Products: A Rich Source of Inherent Antioxidants. *Ind. Crops Prod.* **2018**, 111, 212–218. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.024>.
- (78) Chel, L.; Barbosa, E.; Martínez, A.; González, E.; Betancur, D. Some Physicochemical and Rheological Properties of Starch Isolated from Avocado Seeds. *Int. J. Biol. Macromol.* **2016**, 86, 302–308. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.01.052>.
- (79) Rengifo, P. Carhuapoma, M. Aritica, L. Castro, A. Lopez, S. Caracterización y Actividad Antioxidante Del Aceite de La Semilla de Palta. *Cienc. Invest.* **2015**, 18 (1), 33–36.
- (80) Tremocoldi, M.; Rosalen, P.; Franchin, M.; Daiuto, R.; Augusto, J.; Massarioli, P.; Denny, C.; Paschoal, R.; Melo, P.; Alencar, S. Exploration of Avocado By-Products as Natural Sources of Bioactive Compounds. *PLoS One* **2018**, 13, 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192577>.
- (81) Saavedra, J.; Córdova, A.; Navarro, R.; Díaz-Calderón, P.; Fuentealba, C.; Astudillo-Castro, C.; Toledo, L.; Enrione, J.; Galvez, L. Industrial Avocado Waste: Functional Compounds Preservation by Convective Drying Process. *J. Food Eng.* **2017**, 198, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.018>.
- (82) Morais, D.; Rotta, E.; Sargi, S.; Schmidt, E.; Bonafe, E.; Eberlin, M.; Sawaya, A.; Visentainer, J. Antioxidant Activity, Phenolics and UPLC-ESI(-)-MS of Extracts from Different Tropical Fruits Parts and Processed Peels. *Food Res. Int.* **2015**, 77, 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.036>.
- (83) Kosińska, A.; Karamać, M.; Estrella, I.; Hernández, T.; Bartolomé, B.; Dykes, G. A. Phenolic Compound Profiles and Antioxidant Capacity of *Persea Americana* Mill. Peels and Seeds of Two Varieties. *J. Agric. Food Chem.* **2012**, 60 (18), 4613–4619. <https://doi.org/10.1021/jf300090p>.
- (84) Rotta, E.; de Morais, D.; Biondo, P.; França, P.; Dos Santos, V.; Matsushita, M.;

- Visentainer, J. Uso of Avocado Peel (*Persea Americana*) in Tea Formulation: A Functional Product Containing Phenolic Compounds with Antioxidant Activity. *Acta Sci.* **2016**, *38* (1), 23–29. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i1.27397>.
- (85) Revista yucatán. Aguacate yucateco para exportación <http://www.revistayucatan.com/v1/merida/aguacate-yucateco-para-exportacion/> (accessed Sep 30, 2020).
- (86) Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGARPA). *Boletín Mensual de La Producción de Aguacate*; 2017; Vol. 2017.
- (87) Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGARPA). *Planeación Agrícola Nacional*; México, 2017; Vol. I.
- (88) Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAGARPA). *Estudio Multidimensional Del Aceite de Aguacate (Hueso y Piel) Para Los Mercados de Alto Valor de Los Países Orientales.*; 2015.
- (89) Lee, T.; Tsai, Y.; Huang, T.; Chen, P.; Liang, W.; Lee, C. Heptadecanols from the Leaves of *Persea Americana* Var. *Americana*. *Food Chem.* **2012**, *132* (2), 921–924. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.067>.
- (90) Chaves, M.; Borges, C.; Barboza, C. Avocado: Characteristics, Health Benefits and Uses. *Food Technol.* **2016**, *46*, 747–754. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20141516>.
- (91) ONU. Consumo y producción sostenibles – Desarrollo Sostenible <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>.
- (92) AOAC. AOAC: Official Methods of Analysis, 1980 : AOAC International : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive <https://archive.org/details/gov.law.aocac.methods.1980/page/n25> (accessed Nov 10, 2018).
- (93) AOAC. AOAC. (1995). Official methods of analysis 16th Ed. Association of official analytical chemists. Washington DC, USA. <http://www.sciepub.com/reference/141205>. <https://doi.org/10.12691/ajfn-3-6-1>.
- (94) Lieb, V.; Schuster, L.; Kronmüller, A.; Schmarr, H.; Carle, R.; Steingass, C. Fatty Acids, Triacylglycerols, and Thermal Behaviour of Various Mango (*Mangifera Indica* L.) Kernel Fats. *Food Res. Int.* **2019**, *116*, 527–537. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.070>.
- (95) Metcalfe, L. D.; Schmitz, A. A.; Pelka, J. R. Rapid Preparation of Fatty Acid Esters from Lipids for Gas Chromatographic Analysis Thermometric Titration of Cetylpyridinium Chloride. *Anal. Chemistry* **1966**, *38* (3), 514–515. <https://doi.org/10.1021/ac60235a044>.
- (96) Can, C.; Sauri, E.; Moo, V. M.; Betancur, D.; Cuevas, L. Effect of Extraction Method and Specie on the Content of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Pumpkin Oil from Yucatan, Mexico. *Food Chem.* **2019**, *285*, 186–193. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.153>.

- (97) Duh, P.; Yen, G. Antioxidant Efficacy of Methanolic Extracts of Peanut Hulls In Soyaben and Peanut Oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **1997**, *74*, 745–748.
- (98) Schmidt, B.; Erdman, J.; Lila, M. Effects of Food Processing on Blueberry Antiproliferation and Antioxidant Activity. *J. Food Sci.* **2006**, *70* (6), s389–s394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11461.x>.
- (99) Chen, J.; Tai, C.; Chen, B. Improved Liquid Chromatographic Method for Determination of Carotenoids in Taiwanese Mango (*Mangifera Indica L.*). *J. Cromatography* **2004**, *1054*, 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.100>.
- (100) Moo, V.; Cuevas, L.; Sauri, E.; Betancur, D. Carotenoid Composition and Antioxidant Activity of Extracts From Tropical. *Chiang Mai J. Sci* **2017**, *44* (April), 605–616.
- (101) Lichtenthaler, H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods Enzymol.* **1987**, *148* (C), 350–382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
- (102) Brand, W.; Cuvelier, M.; Berset, C. Uso of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *Leb. a* **1995**, *46* (1), 194–202. <https://doi.org/10.3906/sag-1411-35>.
- (103) Moo, V.; Estrada, I.; Estrada, R.; Cuevas, L.; Ortiz, E.; Lourdes, M.; Betancur, D.; Sauri, E. Determination of Some Physicochemical Characteristics , Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Tropical Fruits from Yucatan , Mexico. *Food Chem.* **2014**, *152*, 508–515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.013>.
- (104) Miller, NJ. Rice-Evans, C. Davies, JM. Gopinathan, V. Milner, A. A Novel Method for Measuring Antioxidant Capacity and Its Application to Monitoring the Antioxidant Status in Premature Neonates. *Clin. Sci.* **1993**, *412*, 407–412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1042/cs0840407>.
- (105) Daiuto, É.; Tremocoldi, M.; Matias, S.; Vieites, R.; Minarelli, P. Chemical Composition and Antioxidant Activity of the Pulp, Peel and by Products of Avocado Hass. *Rev. Bras. Frutic.* **2014**, *36* (2), 417–424. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-102/13>.
- (106) Chansanroj, K.; Thanawattanawanich, P. Lyophilization of Pharmaceutical Products: From Concept to Reality. *Asian J. Pharm. Sci.* **2016**, *11* (1), 39. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2015.10.025>.
- (107) Bressani, R.; Rodas, B.; Ruiz, A. S. *La Composición Química , Capacidad Antioxidativa y Valor Nutritivo de La Semilla de Variedades de Aguacate*; 2009.
- (108) Martins, Z.; Pinho, O.; Ferreira, I. Food Industry By-Products Used as Functional Ingredients of Bakery Products. *Trends Food Sci. Technol.* **2017**, *67*, 106–128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.003>.
- (109) Macagnan, F.; da Silva, L.; Hecktheuer, L. Dietary Fibre: The Scientific Search for an Ideal Definition and Methodology of Analysis, and Its Physiological Importance

as a Carrier of Bioactive Compounds. *Food Res. Int.* **2016**, *85*, 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.032>.

- (110) Krumreich, F.; Borges, C.; Mendonça, C.; Jansen, C.; Zambiasi, R. Bioactive Compounds and Quality Parameters of Avocado Oil Obtained by Different Processes. *Food Chem.* **2018**, *257*, 376–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.048>.
- (111) Fuentes, J. Duran, M. Mango (*Mangifera Indica L.*) Seed and Its Fats. In *Nuts and Seeds Health and Disease Prevencion*; Elsevier, Ed.; México, 2011; pp 741–747. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10088-X>.
- (112) Vargas, M. Figuero, H. Tamayo, J. Toledo, V. Moo, V. Aprovechamiento de Cáscaras de Frutas : Análisis Nutricional y Compuestos Bioactivos. *Ciencias-ergo-sum* **2019**, *26* (May), 1–13. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n2a6>.
- (113) Barrera, R. Arrubla, J. Análisis de Fitoesteroles En La Semilla de Persea Americana Miller (Var. Lorena) Por Cromatografía de Gases y Cromatografía Líquida de Alte Eficiencia. *Fac. ciencias básicas* **2017**, *13* (1), 35–41. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rfcb.2013>.
- (114) Food and Agriculture Organization (FAO). Definitional Framework of Food Loss. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/save-food/PDF/FLW_Definition_and_Scope_2014.pdf (accessed Sep 30, 2020).
- (115) Flores, M.; Saravia, C.; Vergara, C. E.; Avila, F.; Valdés, H.; Ortiz-Viedma, J. Avocado Oil: Characteristics, Properties, and Applications. *Molecules* **2019**, *24* (11), 1–21. <https://doi.org/10.3390/molecules24112172>.
- (116) Galvão, M.; Narain, N.; Nigam, N. Influence of Different Cultivars on Oil Quality and Chemical Characteristics of Avocado Fruit. *Food Sci. Technol.* **2014**, *34* (3), 539–546. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.6388>.
- (117) Paucar, L.; Salvador, R.; Guillén, J.; Capa, J.; Moreno, C. Comparative Study of Physical-Chemical Features of Sacha Inchi Oil (*Plukenetia Volubilis L.*), Olive Oil (*Olea Europaea*) and Fish Oil. *Sci. Agropecu.* **2015**, *6* (4), 279–290. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.05>.
- (118) Nichols, D.; Jordan, T.; Neil, K. Chemical and Physical Properties of Lipids. In *Chemical biological, and functional aspects of food lipids*; Sikorski, Z. E., Kolakowska, A., Eds.; 2011; p 71.
- (119) Normas Mexicana. NMX-F-223-1985. Alimentos vegetales comestibles. <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-223-1985.PDF>.
- (120) Bora, P.; Narain, N.; Rocha, R.; Queiroz, M. Characterization of the Oils from the Pulp and Seeds of Avocado (Cultivar: Fuerte) Fruits. *Grasas y Aceites* **2001**, *52* (3–4), 171–174. <https://doi.org/10.3989/gya.2001.v52.i3-4.353>.
- (121) Rooijen, M.; Mensink, R. Palmitic Acid Versus Stearic Acid: Effects of Interesterification and Intakes on Cardiometabolic Risk Markers- A Systematic Review. *Nutr. J.* **2020**, *12* (615), 1–24.

- (122) Goradel, N.; Eghbal, M.; Darabi, M.; Roshangar, L.; Asadi, M.; Zarghami, N.; Nouri, M. Improvement of Liver Cell Therapy in Rats by Dietary Stearic Acid. *Iran. Biomed. J.* **2016**, *20* (4), 217–222. <https://doi.org/10.7508/ibj.2016.04.005>.
- (123) Hurtado, A.; Dorado, D.; Sanchez, A. Study of the Fatty Acid Profile and the Aroma Composition of Oil Obtained from Roasted Colombian Coffee Beans by Supercritical Fluid Extraction. *J. Supercrit. Fluids* **2016**, *113*, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.03.008>.
- (124) Ajila, C.; Bhat, S.; Rao, U. Food Chemistry Valuable Components of Raw and Ripe Peels from Two Indian Mango Varieties. *Food Chem.* **2007**, *102*, 1006–1011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.036>.
- (125) Ramírez, J.; Blancas, F. J.; Zamora, V. M.; García, M.; Bello, L.; Tovar, J.; Sáyago, S. Nutritional Properties and Phenolic Content of a Bakery Product Substituted with a Mango (*Mangifera Indica*) “Ataulfo” Processing by-Product. *Food Res. Int.* **2015**, *73*, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.004>.
- (126) Biswas, A.; Sahoo, J.; Chatli, M. A Simple UV-Vis Spectrophotometric Method for Determination of B-Carotene Content in Raw Carrot , Sweet Potato and Supplemented Chicken Meat Nuggets. *LWT - Food Sci. Technol.* **2011**, *44*, 1809–1813. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.017>.
- (127) Liu, M.; Zhang, L.; Ser, S.; Cumming, J. Comparative Phytonutrient Analysis of Broccoli By-Products: The Potentials for Broccoli. *Mol. Phys.* **2018**, *23*, 2–18. <https://doi.org/10.3390/molecules23040000>.
- (128) Mozarina, M.; Almeida, B.; Henrique, P.; Sousa, M. De; Martha, Â.; Arriaga, C.; Matias, G.; Emanuel, C.; Magalhães, D. C.; Arraes, G.; Leda, T.; Lemos, G. De. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Fresh Exotic Fruits from Northeastern Brazil. *Food Res. Int.* **2011**, *44*, 2155–2159. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.051>.
- (129) Zou, Z.; Xi, W.; Hu, Y.; Nie, C.; Zhou, Z. Antioxidant Activity of Citrus Fruits. *Food Chem.* **2016**, *196*, 885–896. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.072>.
- (130) Rodríguez, J.; Morcuende, D.; Andrade, M.; Kylli, P.; Estevez, M. Avocado (*Persea Americana* Mill.) Phenolics, in Vitro Antioxidant and Antimicrobial Activities, and Inhibition of Lipid and Protein Oxidation in Porcine Patties. *J. Agric. Food Chem.* **2011**, *59* (10), 5625–5635. <https://doi.org/10.1021/jf1048832>.
- (131) Liu, H.; Cao, J.; Jiang, W. Evaluation and Comparison of Vitamin C , Phenolic Compounds , Antioxidant Properties and Metal Chelating Activity of Pulp and Peel from Selected Peach Cultivars. *Food Sci. Technol.* **2015**, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.04.052>.

ANEXO I. LISTADO DE ABREVIATURAS

ABTS	2,2'-azino-di (3-etilbenzotazohín sulfonato)
AOAC	Métodos oficiales de análisis
AQP	Análisis químico proximal
ASM	Aceite de semilla de mango
ASA	Aceite de semilla de aguacate
BS	Base seca
BH	Base húmeda
CA	Cáscara de aguacate
CFT	Compuestos fenólicos totales
CHD	Enfermedad coronaria
CM	Cáscara de mango
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazil
EAG	Equivalentes de ácido gálico
EC	Equivalentes de catequina
ELN	Extracto libre de nitrógeno
EQ	Equivalentes de quercetina
ET	Equivalentes de Trolox
FAME	Ésteres metílicos de ácidos grasos
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FRAP	Poder antioxidante reductor férrico
FDT	Fibra dietética total
MXN	Pesos Mexicanos
ND	No detectado
nsd	No se determinó
NPP	No presentó peróxidos
ERO	Especies reactivas de oxígeno
ERN	Especies reactivas de nitrógeno
ORAC	Capacidad de absorción de radicales de oxígeno
SA	Semilla de aguacate
SM	Semilla de Mango
TEAC	Actividad antioxidante equivalentes a Trolox
Trolox	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico

ANEXO II. ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación	Página
1. % Humedad	37
2. % Cenizas	37
3. % Grasa	38
4. % Fibra cruda	38
5. % ELN	39
6. Blanco para el cálculo de fibra dietética total	40
7. Fibra dietética total	40
8. Contenido de aceite (%)	40
9. Índice de refracción	41
10. Índice de yodo	41
11. Índice de acidez	42
12. Índice de peróxido	42
13. Clorofila <i>a</i>	45
14. Clorofila <i>b</i>	45
15. Clorofila total	45
16. Vitamina C	46

