

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN**



**CÁSCARA DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) COMO FUENTE DE
COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA GALLETA: FIBRA DIETARIA,
PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y BIOACCESIBILIDAD DE
COMPUESTOS FENÓLICOS**

POR:

LIC. KAREN SUZETTE ENEMEGIO GONZÁLEZ

**Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NUTRICIÓN**

MONTERREY, NUEVO LEÓN

ABRIL 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NUTRICIÓN



**CÁSCARA DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) COMO FUENTE DE
COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA GALLETA: FIBRA DIETARIA,
PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y BIOACCESIBILIDAD DE
COMPUESTOS FENÓLICOS**

Presenta:

KAREN SUZETTE ENEMEGIO GONZÁLEZ

MONTERREY, NUEVO LEÓN

ABRIL 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NUTRICIÓN



**CÁSCARA DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) COMO FUENTE DE
COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA GALLETA: FIBRA DIETARIA,
PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y BIOACCESIBILIDAD DE
COMPUESTOS FENÓLICOS**

PRESENTA

KAREN SUZETTE ENEMEGIO GONZÁLEZ

DIRECTOR

DRA. VANIA URÍAS ORONA

CODIRECTOR

DRA. ANA LAURA ISABEL DE LA GARZA HERNÁNDEZ

MONTERREY, NUEVO LEÓN

ABRIL 2023

APROBACIÓN DE TESIS DE MAESTRÍA

**CÁSCARA DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) COMO FUENTE DE
COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA GALLETA: FIBRA DIETARIA,
PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y BIOACCESIBILIDAD DE
COMPUESTOS**

DRA. VANIA URÍAS ORONA

Presidente

DRA. ANA LAURA ISABEL DE LA GARZA HERNÁNDEZ

Secretario

DR. HERIBERTO CASTRO GARCÍA

Vocal

DRA. BLANCA EDELIA GONZÁLEZ MARTÍNEZ

Subdirección de Investigación, Innovación y Posgrado

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE TESIS

El comité de evaluación de tesis **APROBÓ** la tesis titulada “**CÁSCARA DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) COMO FUENTE DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA GALLETA: FIBRA DIETARIA, PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y BIOACCESIBILIDAD DE COMPUESTOS FENÓLICOS**” **presentada** por la L.N. KAREN SUZETTE ENEMEGIO GONZÁLEZ con la finalidad de obtener el grado de Maestría en Ciencias en Nutrición.

DRA. ANA LAURA ISABEL DE LA GARZA HERNÁNDEZ

Presidente

DRA. VANIA URÍAS ORONA

Secretario

DR. HERIBERTO CASTRO GARCÍA

Vocal

DRA. BLANCA EDELIA GONZÁLEZ MARTÍNEZ

SUBDIRECTORA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y POSGRADO

FACULTAD DE SALUD PÚBLICA Y NUTRICIÓN, U.A.N.L.

P R E S E N T E:

Nos permitimos comunicarle que hemos concluido la Dirección y Codirección de la tesis titulada: **“CÁSCARA DE PITAHAYA (*Hylocereus undatus*) COMO FUENTE DE COMPUESTOS BIOACTIVOS EN UNA GALLETA: FIBRA DIETARIA, PROPIEDADES ANTIOXIDANTES Y BIOACCESIBILIDAD DE COMPUESTOS FENÓLICOS”**, presentada por la L.N. KAREN SUZETTE ENEMEGIO GONZÁLEZ, con la finalidad de obtener el grado de Maestría en Ciencias en Nutrición.

Sin otro asunto en particular, le envío un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e

“Alere Flammam Veritatis”

Monterrey, Nuevo León a ____ de _____ de 2023

DRA. VANIA URÍAS ORONA

Directora

DRA. ANA LAURA ISABEL DE LA
GARZA HERNÁNDEZ

Codirección

AGRADECIMIENTOS

Agradezco siempre a mi primer y gran amor, Patricio Enemegio, por siempre apoyarme en cada decisión, por alentarme a jamás renunciar a mis sueños y, sobre todo, por amarme incondicionalmente. A mi mamá y amiga, Alma González, por volverme una mujer valiente, con aspiraciones y carácter para cumplir mis metas, aunque el camino sea difícil.

A mi compañero de vida, Kevin, por estar en los buenos y malos momentos, por hacerme reflexionar sobre mis decisiones, por siempre tener las palabras adecuadas que impulsaron a jamás rendirme. Te amo siempre.

A mi hermano José Ángel, por ser mi 911, por compartir conmigo tantas aventuras y experiencias, por siempre estar al pendiente a pesar de la distancia. A mi sobrino Patricio, que llenó mi vida de luz, espero que un día estés tan orgulloso de mí como yo de ti.

A Itzel y Anael, que más allá de compañeras de laboratorio, se volvieron grandes amigas. Gracias por escucharme, apoyarme y guiarme en el camino.

A La Dra. Vania Urías Orona, por impulsarme a esforzarme cada vez más, por hacerme salir de mi zona de confort, por escucharme y entenderme en las situaciones difíciles. A La Dra. Ana Laura por su empatía, tiempo y su dedicación a la ciencia. Al Dr. Niño Medina, por su paciencia, consejos y tiempo durante este proyecto. Al Dr. Alan Rodríguez, por lograr que amara estar en el laboratorio aún y cuando las cosas sean difíciles.

Finalmente, quiero dar las gracias a mis amigos y familiares por siempre confiar en mí, por las risas compartidas y por los abrazos en malos momentos.

DEDICATORIA

Ma. L. Viera Vélez (†) y J. Enemegio C. (†)

“Estás cerca, aunque no te vea, estás conmigo, aunque estés lejos, estás en mi corazón, en mis pensamientos, en mi vida, siempre.”

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	11
LISTA DE FIGURAS	12
NOMECLATURA	13
RESUMEN.....	15
ABSTRACT.....	16
I. ANTECEDENTES	17
1.1 Alimentos funcionales y nutraceuticos.....	17
1.1.1 Compuestos bioactivos en alimentos	19
1.1.1.1 Fibra dietaria	21
1.1.1.2 Compuestos fenolicos y actividad antioxidante	24
1.1.1.2.1 Digestión y bioaccesibilidad de compuestos fenolicos	25
1.2 Subproductos: alternativa para el desarrollo de alimentos	27
1.1.1 Pitahaya	27
1.1.2 Cáscara de pitahaya y su aplicación en alimentos.....	29
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	32
III. JUSTIFICACIÓN	32
IV. HIPÓTESIS	33
V. OBJETIVOS	33
5.1 General.....	33
5.2 Especificos	33
VI. METODOLOGÍA.....	34
6.1 Diseño de estudio.....	34
6.2 Criterios de selección	34
6.3 Estrategia general del estudio	35
6.4 Obtención de la muestra	35
6.5 Desarrollo de galletas.....	36
6.6 Análisis de aceptación sensorial.....	37
6.7 Parámetros físicos.....	37
6.7.1 Dureza.....	37
6.7.2 Dimensiones	38
6.7.3 Color.....	38
6.8 Análisis proximal.....	38

6.8.1	Humedad.....	38
6.8.2	Ceniza	39
6.8.3	Proteína.....	39
6.8.4	Grasa	39
6.8.5	Fibra cruda	40
6.8.6	Carbohidratos totales	40
6.9	Compuestos bioactivos	41
6.9.1	Fibra dietaria	41
6.9.2	Extractos metanólicos	41
6.9.3	Fenoles totales.....	42
6.9.4	Flavonoides totales	42
6.10	Capacidad antioxidante	43
6.10.1	ABTS.....	43
6.10.2	DPPH	43
6.10.3	FRAP.....	43
6.11	Digestión <i>in vitro</i>	44
VII.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	46
VIII.	CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE BIOSEGURIDAD.....	47
IX.	RECURSOS.....	48
X.	RESULTADOS.....	50
10.1	Desarrollo de galletas.....	50
10.2	Análisis de aceptación.....	50
10.3	Parámetros físicos.....	52
10.4	Análisis proximal.....	55
10.5	Compuestos bioactivos	56
10.6	Capacidad antioxidante	57
10.7	Digestión <i>in vitro</i>	58
XI.	DISCUSIÓN	60
11.1	Análisis de aceptación sensorial.....	60
11.2	Parámetros físicos.....	62
11.3	Análisis proximal.....	64
11.4	Fibra dietaria.....	67
11.5	Compuestos fenólicos totales.....	68
11.6	Capacidad antioxidante	69

11.7 Bioaccesibilidad.....	71
XII. CONCLUSIONES.....	73
XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
XIV. ANEXOS	74

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Clasificación de alimentos funcionales	17
2	Características fisicoquímicas y funcionales de la fibra dietaria	22
3	Principales países productores de pitahaya	29
4	Composición nutricional de pitahaya	29
5	Compuestos bioactivos en pitahaya	29
6	Ingredientes para la elaboración de galleta control y galletas con cáscara de pitahaya.	36
7	Análisis de dureza (N) en galleta control y galletas con cáscara de pitahaya	52
8	Análisis de dimensiones (mm) en galleta control y galletas con cáscara de pitahaya.	53
9	Pérdida de peso (%) en galleta control y galletas con cáscara de pitahaya.	54
10	Análisis de color (L*, a* y b*) galleta control y galletas con cáscara de pitahaya.	54
11	Análisis proximal (%) en galleta control y galletas con cáscara de pitahaya.	55
12	Contenido (% en 100g) de fibra dietaria en galletas.	56
13	Contenido de fenoles (mg EAG/100 g) y flavonoides (mg EC/100 g) en galleta control y galletas con cáscara de pitahaya.	57
14	Capacidad antioxidante (mg ET/100 g) en galletas.	57
15	Bioaccesibilidad <i>in vitro</i> (%) de los compuestos fenólicos totales galleta control y galletas con cáscara de pitahaya.	59

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Clasificación de nutraceuticos	19
2	Clasificación de compuestos bioactivos	20
3	Efecto de la fibra soluble e insoluble en la salud humana	23
4	Clasificación de los compuestos fenolicos	24
5	Pitahaya (<i>Hylocereus undatus</i>)	28
6	Diagrama general del diseño experimental	35
7	Aspecto visual de galleta control y galletas con cáscara de pitahaya	50
8	Análisis de aceptación de galleta control y galletas con cáscara de pitahaya.	51

NOMECLATURA

°C	Centígrados
ABTS	Ácido etilbenzotiazolin-6-sulfónico
ABTS	2, ácido 2'-Azino-Bis-3-Ethylbenzothiazoline-6-Sulfonic
AGCC	Ácidos grasos de cadena corta
AlCl₃	Cloruro de aluminio
ANOVA	Análisis de varianzas
AOAC	Association of Official Agricultural Chemists
AOAC	Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales
AX	Arabinoxilano
BA	Bioaccesibilidad
CaCl₂	Cloruro de calcio
CF	Compuestos fenólicos
CFT	Compuestos fenólicos totales
CIDICS	Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud
Cm	Centímetros
DEM	Desviación estándar de la media
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazilo
DPPH	2,2-Difenil-1-Picrilhidrazilo
EAG	Equivalentes de ácido gálico
F10	Formulación con 10% de sustitución
F15	Formulación con 15% de sustitución
FD	Fibra dietaria
FDI	Fibra dietaria insoluble
FDS	Fibra dietaria soluble
FDT	Fibra dietaria total
FL	Flavonoides
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power

G	Gramos
GC	Galleta control
H	Hora
HCl	Ácido clorhídrico
mL	Mililitros
mm	milímetros
N	Newtons
Na₂CO₃	Carbonato de sodio
NaCl	Cloruro de sodio
NaHCO₃	Bicarbonato de sodio
NaNO₃	Nitrato de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
nm	Nanómetros
pH	Potencial hidrógeno
RNS	Especies reactivas de nitrógeno
ROS	Especies reactivas de oxígeno
RPM	Repeticiones por minuto
UANL	Universidad Autónoma de Nuevo León
uL	Microlitros

RESUMEN

Introducción: Los subproductos de frutas y hortalizas, como la cáscara, con frecuencia contienen mayores niveles de compuestos bioactivos que la porción comestible. La cáscara de pitahaya se caracteriza por el contenido de fibra, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante que le confieren propiedades nutraceuticas, permitiéndole ser una alternativa para la formulación de nuevos productos alimenticios. **Objetivo:** Evaluar el efecto de la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en el contenido de fibra dietaria, propiedades antioxidantes y la bioaccesibilidad de compuestos fenólicos en una galleta a base de harina de trigo. **Metodología:** La cáscara se deshidrató a 40°C durante 48 horas y tamizó con malla de 150 - 450 μm . Tratamientos: Galleta control sin cáscara de pitahaya (GC), galleta 10% (F10) y 15% (F15) con incorporación de cáscara de pitahaya. Se realizó una escala de aceptación a jueces no entrenados. Se evaluó las características fisicoquímicas: análisis proximal, textura, pérdida de peso, dimensiones y color, además; fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS Y FRAP. Por último, se realizó una simulación de digestión a través de un modelo *in vitro* para determinar la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos. **Resultados:** La incorporación de cáscara de pitahaya en galletas F10 y F15 no tuvo diferencia con la GC de acuerdo con sus características sensoriales, a excepción del color. Por otro lado, la incorporación de la cáscara de pitahaya en las galletas F10 y F15 disminuyeron la dureza 12% y 28%, respectivamente. Así mismo, las galletas F10 y F15 obtuvieron los valores más altos de chroma a^* en comparación con la GC ($p < 0.05$). La incorporación parcial de cáscara de pitahaya disminuyó el contenido de grasa (F10: $25.59 \pm 0.19\%$ y F15: $24.75 \pm 0.04\%$) y proteína (F10: $29.85 \pm 0.49\%$ y F15: $29.21 \pm 0.31\%$) en comparación con la GC ($26.22 \pm 0.02\%$ y $33.76 \pm 0.21\%$, respectivamente) ($p < 0.05$). El contenido de fibra aumentó de manera significativa en las galletas (F10: $2.03 \pm 0.03\%$ y F15: $2.97 \pm 0.90\%$) en comparación con GC ($0.56 \pm 0.07\%$) ($p < 0.05$). Dentro de la fibra, la FDI aumentó 5.32 y 8.44% (F10 y F15, respectivamente) en comparación con GC ($6.84 \pm 0.27\%$) ($p < 0.05$). En la galleta F15 aumentó significativamente (69.55 ± 1.70 mg EA/100g) en comparación con GC (46.60 ± 3.44 mg EA/100g) ($p < 0.05$). Sin embargo, la capacidad antioxidante no se relacionó con lo anterior, ya que los valores de DPPH no mostraron diferencia significativa entre la GC y F10 ($p > 0.05$). Por otro lado, por el método ABTS se encontró un aumento significativo de 5 mg EC 100 g^{-1} en la capacidad antioxidante para F10 ($p < 0.05$). De manera semejante, la galletas F10 (22.89 ± 0.84 mg EC 100 g^{-1}) y F15 (33.12 ± 4.25 mg EC 100 g^{-1}) aumentaron significativamente su capacidad antioxidante con respecto a la GC (6.12 ± 0.67 mg EC 100 g^{-1}) por el método de FRAP ($p < 0.05$). Por último, la bioaccesibilidad en F15 aumentó 154% en comparación con la muestra sin digerir (69.55 ± 1.70 mg EAG/100g) ($p < 0.05$). **Conclusiones:** La incorporación de cáscara de pitahaya al 10% no afectó las características sensoriales. Así mismo, su incorporación aumentó el contenido de fibra dietaria, compuestos fenólicos y disminuyó la grasa total en la galleta. Por último, las galletas F10 y F15 mostraron un aumento significativo de bioaccesibilidad al finalizar la fase intestinal a través de la simulación de digestión *in vitro*.

ABSTRACT

Introduction: Fruit and vegetable by-products, such as peel, often have higher levels of bioactive compounds than the edible portion. Pitahaya peel is characterized by its fiber content, phenolic compounds, and antioxidant capacity that confer nutraceutical properties, allowing it to be an alternative for the formulation of new food products. **Objective:** To evaluate the effect of pitahaya (*Hylocereus undatus*) peel addition on dietary fiber content, antioxidant properties and bioaccessibility of phenolic compounds in a wheat flour-based cookie. **Methodology:** The husk was dehydrated at 40°C for 48 hours and sieved with 150 - 450 μm mesh. Treatments: Control cookie without pitahaya shell (GC), 10% (F10) and 15% (F15) cookie with pitahaya shell substitution. An acceptance scale was performed to untrained judges. Physicochemical characteristics were evaluated: proximal analysis, texture, weight loss, dimensions and color, as well as total phenols, flavonoids and antioxidant capacity by DPPH, ABTS and FRAP methods. Finally, a digestion simulation was performed through an *in vitro* model to determine the bioaccessibility of phenolic compounds. **Results:** The incorporation of pitahaya peel in F10 and F15 cookies did not differ from GC according to their sensory characteristics, except for color. On the other hand, the substitution of pitahaya peel in F10 and F15 cookies decreased hardness by 12% and 28%, respectively. Likewise, cookies F10 and F15 obtained the highest chroma a^* values compared to GC ($p < 0.05$). Partial substitution of pitahaya peel decreased fat (F10: $25.59 \pm 0.19\%$ and F15: $24.75 \pm 0.04\%$) and protein (F10: $29.85 \pm 0.49\%$ and F15: $29.21 \pm 0.31\%$) contents compared to GC ($26.22 \pm 0.02\%$ and $33.76 \pm 0.21\%$, respectively) ($p < 0.05$). Fiber content increased significantly in cookies (F10: $2.03 \pm 0.03\%$ and F15: $2.97 \pm 0.90\%$) compared to GC ($0.56 \pm 0.07\%$) ($p < 0.05$). Within fiber, FDI increased 5.32 and 8.44% (F10 and F15, respectively) compared to GC ($6.84 \pm 0.27\%$) ($p < 0.05$). In cookie F15 it significantly increased (69.55 ± 1.70 mg EA/100g) compared to GC (46.60 ± 3.44 mg EA/100g) ($p < 0.05$). However, antioxidant capacity was not related to the above, as DPPH values showed no significant difference between GC and F10 ($p > 0.05$). On the other hand, by the ABTS method, a significant increase of 5 mg EC 100 g⁻¹ in antioxidant capacity was found for F10 ($p < 0.05$). Similarly, F10 (22.89 ± 0.84 mg EC 100 g⁻¹) and F15 (33.12 ± 4.25 mg EC 100 g⁻¹) cookies significantly increased their antioxidant capacity with respect to GC (6.12 ± 0.67 mg EC 100 g⁻¹) by FRAP method ($p < 0.05$). Finally, bioaccessibility in F15 increased 154% compared to the undigested sample (69.55 ± 1.70 mg EAG/100g) ($p < 0.05$). **Conclusions:** The incorporation of 10% pitahaya peel did not affect the sensory characteristics. Likewise, its substitution increased the content of dietary fiber, phenolic compounds and decreased total fat in the cookie. Finally, cookies F10 and F15 showed a significant increase in bioaccessibility at the end of the intestinal phase through *in vitro* digestion simulation.

I. ANTECEDENTES

1.1 Alimentos funcionales y nutraceuticos

Los alimentos funcionales se distinguen con la presencia de ciertos componentes clasificados como nutrientes, los cuales tienen efectos benéficos en el organismo, logrando el bienestar, salud y/o disminución del riesgo de algunas enfermedades no transmisibles (Márquez Fernández & Márquez Fernández, 2019). Además, están al alcance para el consumo diario de la población con una calidad igual o similar que los alimentos tradicionales. Así mismo, Alali *et al.* (2021) mencionan que los alimentos funcionales se distinguen de acuerdo con los siguientes aspectos:

- Que tengan características sensoriales similares a los alimentos convencionales, componentes fisiológicamente funcionales que no son consumidos a nivel farmacológico.
- Que aporten un beneficio fisiológico científicamente comprobado como parte de un patrón dietético, pero sin estar en forma de píldora o cápsula.
- Seguridad alimentaria para consumo a largo plazo.
- Que contenga nutraceuticos de forma natural o añadido.

A su vez, la clasificación de los alimentos funcionales se ha dividido en alimentos convencionales, alimentos modificados e ingredientes alimentarios sintéticos (Egbuna & Tupas, 2020), tal como se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Clasificación de alimentos funcionales.

Clase	Descripción	Ejemplo
Alimentos convencionales	Alimentos íntegros y sin modificar que contienen naturalmente compuestos bioactivos efectivos para la salud.	Frutas, verduras, pescados, lácteos y granos.
Alimentos modificados	Alimento que se modificó para su mejora, enriquecimiento o fortificación con nutracéuticos.	Jugos de frutas con calcio, pan enriquecido con folato, bebida con extractos de plantas o hierbas y sal yodada.
Ingredientes alimentarios sintéticos	Componentes funcionales que son sintetizados o fabricados en laboratorio.	Fructanos de tipo inulina

Adaptada de Egbuna *et al.*, 2020.

Como se menciona anteriormente, los alimentos funcionales se identifican por su contenido de nutracéuticos. Por lo tanto, es importante mencionar que el término nutracéutico fue mencionado por primera vez en 1989 por Stephen L. DeFelice. Sin embargo, no existe una definición reconocida internacionalmente de este concepto, aunque han aparecido diferentes definiciones a lo largo de su estudio (Aronson, 2017). A pesar de ello, diferentes autores describen que un nutracéutico se caracteriza por la presencia de una sustancia, compuesto o parte de un alimento que se consume de manera oral para obtener un beneficio fisiológico u otorgar protección contra enfermedades crónicas (Durazzo *et al.*, 2020; Sachdeva *et al.*, 2020; Santini *et al.*, 2017; Nasri *et al.*, 2014)

No obstante, también se considera nutracéutico aquel producto farmacéutico que se utilizará más allá de una dieta, pero previo al uso de medicamentos para prevenir o tratar afecciones patológicas en sujetos que no

son candidatos para una terapia farmacéutica funcional (Gulati *et al.*, 2019). Los nutraceuticos se pueden clasificar de acuerdo con la función de sus fuentes como se muestra en la **Figura 1** (Egbuna *et al.*, 2020).

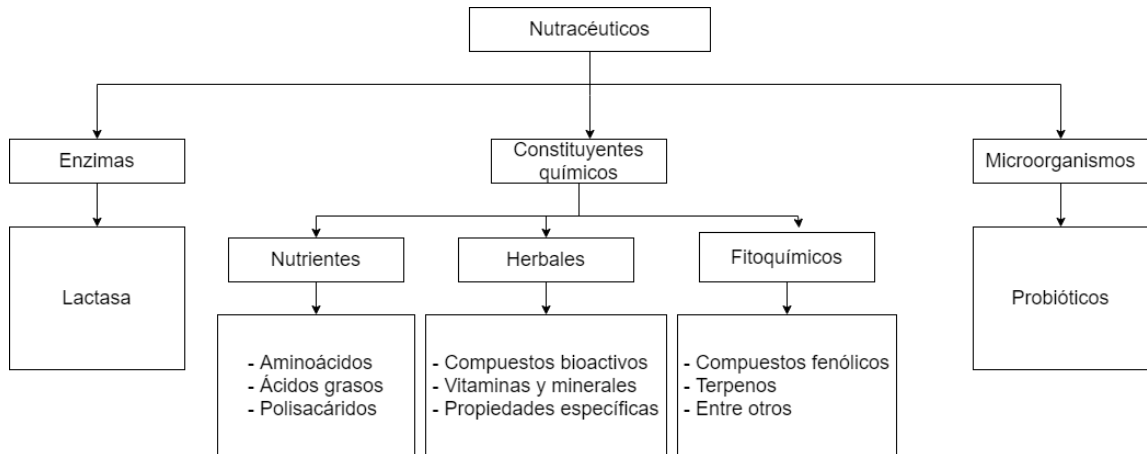


Figura 1. Clasificación de nutraceuticos. Adaptada de Alali *et al.* (2021); Egbuna *et al.* (2020).

De acuerdo con lo anterior, los nutraceuticos y alimentos funcionales ofrecen gran cantidad de beneficios para la salud aparte del valor nutricional básico, también tienen un efecto terapéutico. Además, nutraceuticos como la fibra *psyllium* se le atribuye un impacto positivo contra la obesidad, ya que existe evidencia sobre su efecto en la regulación del apetito. Del mismo modo, los alimentos funcionales como el café y el té verde tienen potencial para la pérdida de peso corporal, debido a que aumentan el gasto energético (de Freitas Junior & de Almeida, 2017; Nasri *et al.*, 2014).

1.1.1 Compuestos bioactivos en alimentos

Se denomina compuesto bioactivo alimentario (FBC por sus siglas en inglés) aquel compuesto que existe de forma natural en alimentos y llegan a tener un efecto benéfico en el cuerpo humano posterior a su consumo. Se encuentran principalmente en frutas, verduras, cereales y hojas (Câmara *et al.*, 2020). Sin embargo, diversos estudios mencionan que también pueden estar presentes en

alimentos de origen animal, como la carne y productos lácteos (Albenzio *et al.*, 2017; Bernhoft, 2010). Los FBC se pueden clasificar de acuerdo con su función en el metabolismo de las plantas. Se distinguen entre constituyentes primarios o secundarios (**Figura 2**) (Mondal *et al.*, 2021)

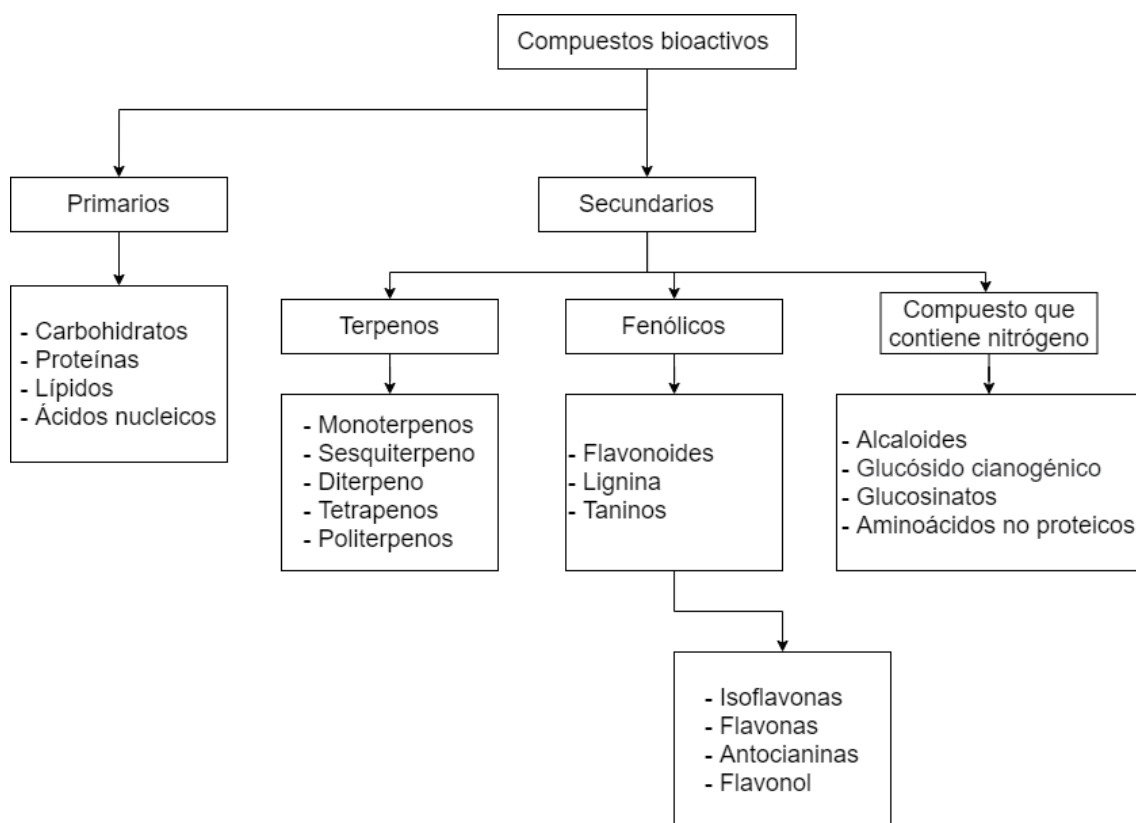


Figura 2. Clasificación de compuestos bioactivos (Mondal *et al.*, 2021).

De acuerdo con los metabolitos primarios, específicamente los carbohidratos, se encuentran los polisacáridos. Por ejemplo, la inulina, considerada fibra dietaria junto con los fructooligosacáridos tienen una participación en la homeostasis de la simbiosis huésped-microbiota intestinal. Por otro lado, los lípidos, específicamente los ácidos grasos poliinsaturados, mejor conocidos como PUFAs (por sus siglas en inglés) tienen relevancia en enfermedades crónicas como cáncer, enfermedades cardiovasculares y diabetes (Mondal *et al.*, 2021). En las proteínas, existen péptidos como carnosina, creatina

y carnitina que tienen participación en la disminución de sarcopenia, a su vez, tiene impacto en la prevención de síndrome metabólico, específicamente en la presión arterial a causa de componentes inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina del tejido conectivo (Câmara *et al.*, 2021; Mondal *et al.*, 2021).

Por otro lado, los terpenoides constituyen el grupo de metabolitos secundarios más grande; son responsables del aroma de varios frutos, como el limoneno en diferentes cítricos. Se ha demostrado que los polifenoles o compuestos fenólicos poseen un efecto en la salud humana gracias a sus actividades biológicas, como antioxidantes, antimicrobianos y actividades antiinflamatorias. Así mismo, los alcaloides exhiben propiedades semejantes a las de los álcalis. En este grupo, la cafeína es uno de los compuestos bioactivos más populares en la actualidad. Por último, los glucosinolatos, un ejemplo de ellos es el sulforafano, un compuesto bioactivo presente en el brócoli y se está estudiando su efecto anticanceroso (Câmara *et al.*, 2021).

1.1.1.1 Fibra dietaria

En términos bioquímicos, se le denomina fibra dietaria (FD) a los oligosacáridos y polisacáridos distintos del almidón (Hervik & Svihus, 2019). La FD es clasificada en dos grupos según su solubilidad: la fibra dietaria insoluble (FDI) que abarca componentes propios de la pared celular como la celulosa, algunas hemicelulosas, lignina y almidón resistente. Por otro lado, la fibra dietaria soluble (FDS), se compone de polisacáridos no celulósicos (como los oligosacáridos no digeribles) es decir, arabinoxilano (AX), β -glucano, algunas hemicelulosas, pectinas, gomas, mucílagos e inulinas (Ciudad-Mulero *et al.*, 2019). Los efectos fisiológicos que tienen la fibra se presentan en la **Tabla 2**.

La recomendación de ingesta diaria de fibra dietaria es basada en la edad, el sexo y la ingesta energética. En términos generales, la ingesta diaria de fibra dietaria en los adultos debe estar en el rango de 18 a 38 gramos por día

(Vilcanqui-Pérez & Vélchez-Perales, 2017). Las fuentes más importantes de fibras solubles son frutas, bayas, ciertas verduras (por ejemplo, zanahoria), fracción germinal de productos de avena y cebada, por mencionar alguno. Por otro lado, en productos integrales y salvados; cáscara de fruta, arroz integral, legumbres y frutos secos se encuentra la fibra insoluble (Suharoschi *et al.*, 2019).

Tabla 2. Características fisicoquímicas y funcionales de la fibra dietaria.

Característica	Efecto
Solubilidad	Función durante el procesamiento de los alimentos y en el tracto gastrointestinal
Viscosidad	Disminuye el contacto con enzimas digestivas y nutrimentos, que se transportan por heces sin haber sido digeridos y absorbidos a través del intestino.
Fermentabilidad	Es debido a la microbiota intestinal. Se producen ácidos grasos de cadena corta (AGCC), encargados de producción y/o inhibición de ciertas hormonas.
Capacidad de hidratación	Determina el trayecto de la fibra en el tracto gastrointestinal y modificación del metabolismo lipídico.
Capacidad de adsorción de moléculas orgánicas	Atrapa moléculas de grasa, une moléculas con ácidos biliares, adsorbe glucosa y disminuye la digestibilidad del almidón.

Modificado y adaptado de Vilcanqui-Pérez *et al.* (2017).

Las características mencionadas anteriormente, tienen un efecto positivo en la regulación, el efecto y posible tratamiento a diversos factores relacionados con la nutrición (**Figura 3**).

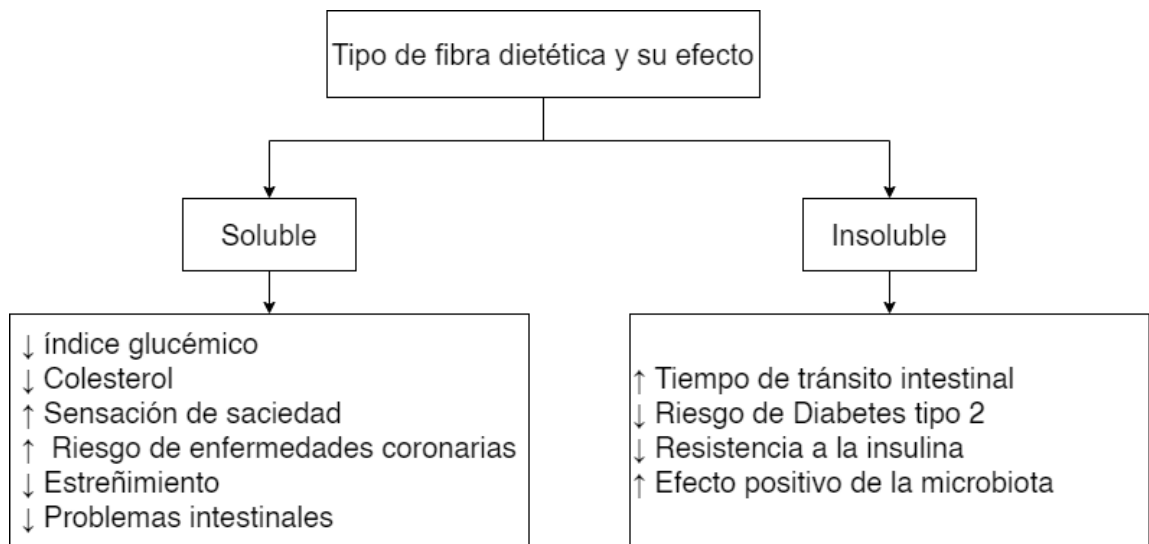


Figura 3. Efecto de la fibra soluble e insoluble en la salud humana. Elaboración propia.

La fibra participa en diversos mecanismos que tienen efecto positivo para el tratamiento de la obesidad. Uno de ellos sucede al consumir alimentos ricos en fibra, por lo cual, habrá mayor secreción salival y a su vez, aumentará el tiempo de masticación. Además, se ha concluido que reduce la digestión y absorción de nutrientes en el intestino delgado, obliga la movilización de glucógeno y grasa para convertirla en fuente de energía. (Vilcanqui-Pérez *et al.*, 2017).

A su vez, los alimentos ricos en fibra también han demostrado ser una estrategia para reducir la hiperglucemia posprandial en pacientes con diabetes tipo 2 (Kim *et al.*, 2016). Lo anterior se vio reflejado en un estudio por Kim *et al.* (2016), donde participaron 13 sujetos con edad media de 55.2 diagnosticado al menos 6 años antes con diabetes tipo I. Existieron dos grupos, donde a uno se le proporcionó un cereal enriquecido con fibra y al otro, un cereal convencional. Se evaluaron los niveles de glucosa plasmática e insulina. Se obtuvo que el nivel de glucosa posprandial después de consumir el cereal enriquecido con fibra es menor a comparación en el grupo que ingirió cereal convencional, lo que está relacionado con cambios en los niveles plasmáticos de insulina y glucagón.

Estudios recientes han demostrado que el consumo de fibra dietaria se asocia con la disminución de riesgo de enfermedades cardiovasculares (Soliman, 2019). Un metaanálisis reciente de tres ensayos controlados aleatorios mostró que agregar fibras solubles puede duplicar la eficacia del consumo de las estatinas; fármaco que tiene como objetivo reducir los niveles de colesterol en sangre (Brum *et al.*, 2018).

1.1.1.2 Compuestos fenólicos y actividad antioxidante

Los compuestos fenólicos (CF), también conocidos como polifenoles o fenoles, son fitoquímicos distribuidos en la mayoría de los tejidos vegetales, incluidas frutas y verduras (de la Rosa *et al.*, 2019). Estas sustancias químicas se clasifican según sus vías y estructuras biosintéticas. La mayoría de los compuestos fenólicos que se encuentran en la naturaleza, son conjugados de monosacáridos y polisacáridos, debido a la diversidad de su estructura, se han encontrado en la naturaleza diversos compuestos fenólicos. En la actualidad, se conocen más de 8,000 estructuras de compuestos fenólicos y se clasifican en varias categorías (**Figura 4**) (Vuolo *et al.*, 2019).

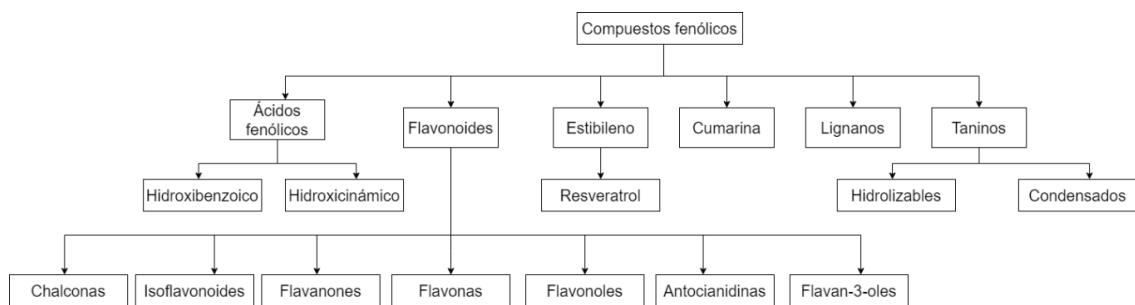


Figura 4. Clasificación de compuestos fenólicos. Adaptada de Shahidi & Ambigaipalan, (2015).

Los compuestos fenólicos se han estudiado ampliamente y se ha demostrado que tienen una variedad de actividades biológicas que pueden ser beneficiosas para la salud humana (Shahidi *et al.*, 2015) debido a que tienen la

función de contrarrestar las especies reactivas de oxígeno (ROS) y especies reactivas de nitrógeno (RNS), mejor conocidas como radicales libres (Joshi & Prabhakar, 2020). Estas especies, desarrollan estrés oxidativo, ocasionando trastornos crónicos y degenerativos. Se originan por procesos celulares normales de forma endógena y factores ambientales de forma exógena, como por el consumo o uso de tóxicos, tabaquismo, drogas, también por una alimentación no adecuada, exposición a fertilizantes o pesticidas (Coronado H *et al.*, 2015). Los CF actúan como captadores de radicales libres y, a veces, como agentes quelantes de metales para interferir con el proceso de oxidación (Shahidi *et al.*, 2015).

1.1.1.2.1 Digestión y bioaccesibilidad de compuestos fenólicos

La bioaccesibilidad se define como la proporción máxima de compuestos liberados de la matriz alimentaria en el tracto gastrointestinal, en donde estarán disponibles para la absorción intestinal (Cilla *et al.*, 2018; Meca *et al.*, 2012). Por otro lado, la biodisponibilidad, es definida como la cantidad de un compuesto ingerido y absorbido, disponible para la función fisiológica normal, es una característica esencial para evaluar el papel de los componentes de la dieta en la salud humana (Akter *et al.*, 2022; Peña-Vázquez *et al.*, 2022; Moreda-Piñeiro *et al.*, 2012).

Los métodos *in vivo* en animales y humanos han demostrado resultados más realistas y exactos, sin embargo, consumen más tiempo y costo, por lo cual, procedimientos a nivel *in vitro* se han vuelto tendencia en investigación (Lucas-González *et al.*, 2018). Un modelo de digestión gastrointestinal *in vitro* ideal proporcionaría resultados lo más parecidos posible a los efectos del mundo real en un período corto de tiempo y, por lo tanto, podría servir como una herramienta rápida y de bajo costo para evaluar componentes alimentarios específicos o sistemas de liberación con diferentes estructuras y composición (Zampedri *et al.*, 2018).

Durante la última década, se ha tenido un gran interés por las fuentes de alimentación y, sobre todo, la interacción de las matrices alimentarias con los compuestos fenólicos durante el proceso de digestión, la cual se ha estudiado ampliamente, donde se observó que la estructura y composición de la matriz alimentaria puede afectar la bioaccesibilidad, digestibilidad y biodisponibilidad de estos compuestos, así como en su capacidad antioxidante (Jakobek, 2015; Pešić *et al.*, 2019).

Los compuestos fenólicos pueden interactuar de formas diferentes en la estructura del alimento, pueden ser de forma directa entre los compuestos fenólicos y otros componentes presentes en la matriz, como su unión con una proteína y polisacáridos; estas interacciones pueden afectar la absorción. Además, los efectos más indirectos de la dieta sobre varios parámetros fisiológicos intestinales (pH, fermentación entérica, excreción de bilis, tiempo de tránsito, etc.) pueden tener implicaciones en la absorción de compuestos fenólicos. Las enzimas y los transportadores implicados en la absorción y el metabolismo de los compuestos fenólicos también pueden ser inducidos o inhibidos por la presencia de algunos micronutrientes o xenobióticos (Manach *et al.*, 2004).

Además, los compuestos fenólicos pueden estar presentes en los alimentos en forma insoluble (unido a la matriz) o soluble (libre o ligados). Los compuestos fenólicos solubles se consideran más biodisponibles que las formas insolubles, preferentemente absorbidos en el intestino delgado (Zhang *et al.*, 2020). Después de la absorción y la biotransformación, los metabolitos llegan a los tejidos donde pueden desempeñar diversas funciones biológicas. Por otro lado, los fenoles insolubles se absorben pobremente en el tracto gastrointestinal y al llegar al intestino son ampliamente metabolizados por la microbiota, produciendo metabolitos que pueden absorberse o actuar *in situ* (de Almeida *et al.*, 2020).

1.2 Subproductos: alternativa para el desarrollo de alimentos

Aproximadamente 1,300 millones de toneladas de alimentos producidos para consumo humano se desperdicia. Las frutas y verduras tienen las tasas más altas de desecho en comparación de otros alimentos (Environment, 2021). Los desechos ocasionados por el procesamiento y modificaciones a productos frescos son un problema ambiental y económico (Sagar *et al.*, 2018), los más comunes son el orujo, cáscara y semillas, los cuales contienen gran cantidad de compuestos bioactivos como carotenoides, compuestos fenólicos, vitaminas, entre otros (J Rajesh Banu *et al.*, 2020).

Los subproductos de frutas, por ejemplo, la cáscara, con frecuencia contiene más compuestos bioactivos que la pulpa o la porción comestible (Can-Cauich *et al.*, 2017). Sin embargo, estos subproductos presentan un sabor amargo, por lo cual, es necesario modificarlos y/o adaptarlos para elaborar productos innovadores otorgando un beneficio a la salud. De tal manera, su aplicación a nuevos productos podría reducir la cantidad de desechos y satisfacer el consumo de ciertos nutrientes como compuestos fenólicos, a los cuales se les ha atribuido su protección, tratamiento y prevención de enfermedades crónicas (Cheok *et al.*, 2016).

Los componentes principales de las cáscaras de fruta son polisacáridos no amiláceos y lignina. Por lo tanto, existe un interés para convertir diversos subproductos, como la cáscara de pitahaya, en fibra dietaria y a su vez, su implementación en alimentos tradicionales para el consumo humano (Wanlapa *et al.*, 2011).

1.1.1 Pitahaya

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) comúnmente se le nombra "Fruta del dragón". Es una especie exótica y su popularidad se expandió por todo el mundo

debido a sus características nutricionales y fisicoquímicas (Santarrosa Quiguiri & Espinoza, 2013). Es una baya de forma ovoide, redondeada o alargada, su peso varía entre los 200 a 570 gramos, y puede poseer color amarillo, rosa a rojo y rojo púrpura en la cáscara, cubierta por estructuras llamadas brácteas que sobresalen en forma triangular. La porción comestible representa del 44 - 54 % de la fruta y las semillas el 1 y 2% del peso total del fruto (Ariffin *et al.*, 2009; Ochoa-Velasco *et al.*, 2012).

La especie *Hylocereus undatus* tiene una cáscara color rojo – rosado, una longitud de 15 a 22 cm con un peso de 300 a 800 g, de forma ovalada y cubierta de escamas grandes, largas, rojas y verdes, contiene pulpa blanca y semillas negras.



Figura 5. Pitahaya (*Hylocereus undatus*)

Se considera un alimento funcional debido a sus características fisicoquímicas, nutricionales y farmacológicas (Michelle *et al.*, 2017). Posee propiedades antioxidantes, antimicrobianas, antidiabéticas, anticancerosas y nutracéuticas, también, se utiliza como colorante natural en la formulación de algunos alimentos (Joshi & Prabhakar, 2020). A nivel mundial la producción de pitahaya alcanza los 1,000,000 toneladas, considerándose a Vietnam como el principal productor y exportador de este fruto (**Tabla 3**) (Mercado-Silva, 2018).

Tabla 3. Principales países productores de pitahaya.

País	Producción en toneladas al año
Vietnam	602,680
China	200,000
Indonesia	36,000
Taiwán	27,654
Malasia	8,577
Nicaragua	6,160
México	2,496

Adapta de Mercado-Silva, 2018.

Actualmente, los estados como Quintana Roo, Yucatán, Tabasco, Veracruz, Guerrero, Querétaro, Estado de México, Puebla, Oaxaca, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí, Colima y Sinaloa son los de mayor producción de este fruto en México (Montesino Cruz *et al.*, 2015). Entre la composición química de la pitahaya, se encuentra presente la fibra (**Tabla 4**). Además, su contenido de compuestos fenólicos tiene impacto positivo en la salud humana. Por lo anterior, la pitahaya presenta potencial uso como coadyuvante de enfermedades estomacales, de intestino y favorecer en la reducción de los niveles de presión arterial, diabetes y para contrarrestar patologías como el cáncer (Verona-Ruiz *et al.*, 2020). Por lo cual, la pitahaya ha sido investigada en cada una de sus partes (cáscara, semilla y pulpa).

1.1.2 Cáscara de pitahaya y su aplicación en alimentos.

La cáscara de la pitahaya es una rica fuente de nutrientes (**Tabla 4**), especialmente fibra dietaria, así como de fitoquímicos bioactivos como los compuestos fenólicos (**Tabla 5**) Además, este subproducto muestra un gran potencial de aplicación en la industria alimentaria para la reformulación alimentos y recuperación de sustancias de alto valor agregado (amilasa, pectinasa, pectina y antocianinas). Por lo anterior, la literatura reciente ha demostrado que la

cáscara o extractos de este fruto, promueven la salud. lo que sugiere su uso en el desarrollo de productos alimenticios innovadores (Jiang *et al.*, 2021).

Tabla 4. Composición nutricional de pitahaya (*Hylocereus undatus*).

Componente	Pulpa	Cáscara
Agua (%)	89.00 ± 0.17	10.66 ± 0.18
Proteína (g)	0.18 ± 0.02	6.00 ± 0.17
Grasa (g)	0.45 ± 0.02	6.20 ± 0.52
Carbohidratos (g)	9.34 ± 0.07	47.78 ± 0.00
Fibra dietaria (g)	0.45 ± 0.03	23.75 ± 0.10

Modificada y adaptada de Chia & Chong, (2015); Liaotrakoon, (2013).

Tabla 5. Compuestos bioactivos en pitahaya (*Hylocereus undatus*).

Componente	Pulpa	Cáscara
Compuestos fenólicos (mg of GAE)	32.37 ± 1.72	29.10 ± 1.30
Flavonoides (mg RE)	26.71 ± 4.46	22.90 ± 1.49
Vitamina C mg	31.11 ± 3.85	18.33 ± 6.11

Modificada y adaptada de Senadheera & Abeysinghe, (2015).

Hasta ahora se han realizado diferentes investigaciones con potenciales de aplicación de los subproductos. Por ejemplo, Madane *et al.* (2020), evaluaron la incorporación de cáscara de pitahaya al 3% en Nuggets de pollo, obteniendo como resultado un menor tiempo de cocción, favoreció el olor y vida útil después de 20 días de almacenamiento en refrigeración, inhibió la oxidación de lípidos, incrementó el contenido de fibra. Así mismo, Ho & Abdul Latif (2016), utilizaron este desecho orgánico para la elaboración de galletas, se reemplazó la harina de trigo en proporciones de 5, 10, 15 % con cáscara de pitahaya. La incorporación de la cáscara al 15%, tuvo como resultado la reducción en el contenido de grasa, humedad y actividad de agua sin afectar sus características sensoriales.

A su vez, Faridah *et al.* (2020), elaboraron una mermelada a la cual se le añadió azúcar y 1 kg de cáscara de pitahaya como agente espesante, gelificante y emulsionante, debido a su contenido de pectina. Se observó que, gracias a la cáscara de pitahaya, se incrementó el contenido de antioxidantes y fibra dietaria. Esto sugiere que la incorporación de cáscara tiene potencial como materia prima en la elaboración de un producto funcional con características sensoriales aceptables para su consumo. Del mismo modo, Utpott *et al.* (2020), realizaron un helado con 1% de cáscara de pitahaya. En cuestión nutricional, se indicó que se tenía un alto contenido de fibra, el cual influyó de manera positiva en parámetros físicos, específicamente en la consistencia, obteniendo mayor cremosidad, a su vez, agregar dicho subproducto redujo el contenido de grasa hasta en un 73% en comparación con la formulación control.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El consumo de alimentos procesados ha generado un efecto nocivo a la salud, debido a la alta cantidad de calorías, grasas, azúcares y bajo contenido de fibra. Por otro lado, el procesamiento de frutas genera una gran cantidad de subproductos, como las cáscaras, las cuales, se utilizan para la alimentación de animales y fertilizantes, debido a su alto contenido de nutrientes. Por lo que, existe interés en generar un uso alternativo en la formulación de productos alimenticios, favoreciendo el incremento de compuestos bioactivos que promuevan la salud.

III. JUSTIFICACIÓN

En México se producen anualmente alrededor de 2,496 toneladas de pitahaya. La mayor parte de la producción se destina a comercio nacional. Se estima que se llegan a generar como residuo hasta 40 toneladas de cáscara de pitahaya al año. Diversos estudios, reportan que la pitahaya tiene una gran cantidad de nutrientes y un efecto positivo en la salud, lo cual es de interés para este estudio. Sin embargo, la cáscara es el material menos utilizado, pero se conoce que posee un alto valor en compuestos fenólicos y fibra dietaria. Por lo anterior, se plantea el uso de cáscara de pitahaya como sustituto parcial de harina de trigo en la formulación de una galleta para evaluar su potencial de aplicación y su efecto en aspectos funcionales, nutricionales y sensoriales.

IV. HIPÓTESIS

La adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) incrementa el contenido de fibra dietaria, propiedades antioxidantes y la bioaccesibilidad de compuestos fenólicos en galleta a base de harina de trigo.

V. OBJETIVOS

5.1 General

Evaluar el efecto de la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en una galleta a base de harina de trigo sobre el contenido de fibra dietaria, propiedades antioxidantes y la bioaccesibilidad de compuestos fenólicos en galletas a base de harina de trigo.

5.2 Específicos

1. Evaluar la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) sobre el análisis de aceptación de galletas a base de harina de trigo.
2. Determinar las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y antioxidantes de la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en galletas a base de harina de trigo.
3. Evaluar la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos a través de un ensayo de digestión *in vitro* en galletas con adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en galletas a base de harina de trigo.

VI. METODOLOGÍA

6.1 Diseño de estudio

Se realizó el diseño de un estudio descriptivo, experimental, transversal y correlacional para evaluar la composición nutricional y bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos (compuestos fenólicos totales) y capacidad antioxidante en una galleta adicionada con cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) antes y durante un proceso de digestión gastrointestinal *in vitro*.

6.2 Criterios de selección

- Inclusión: Fruta de forma ovoide cubierto de escamas grandes y largas, rojas y de color verde - amarillento en punta. Pulpa blanca y semillas negras pequeñas. No presenta parámetros de descomposición ni daños en cáscara.
- Exclusión: Fruto con manchas anormales, fruto blando, cáscara opaca, brácteas quebradizas y frágiles.
- Eliminación: Fruto que cuente con parámetros de descomposición o materias no reconocibles.

6.3 Estrategia general del estudio

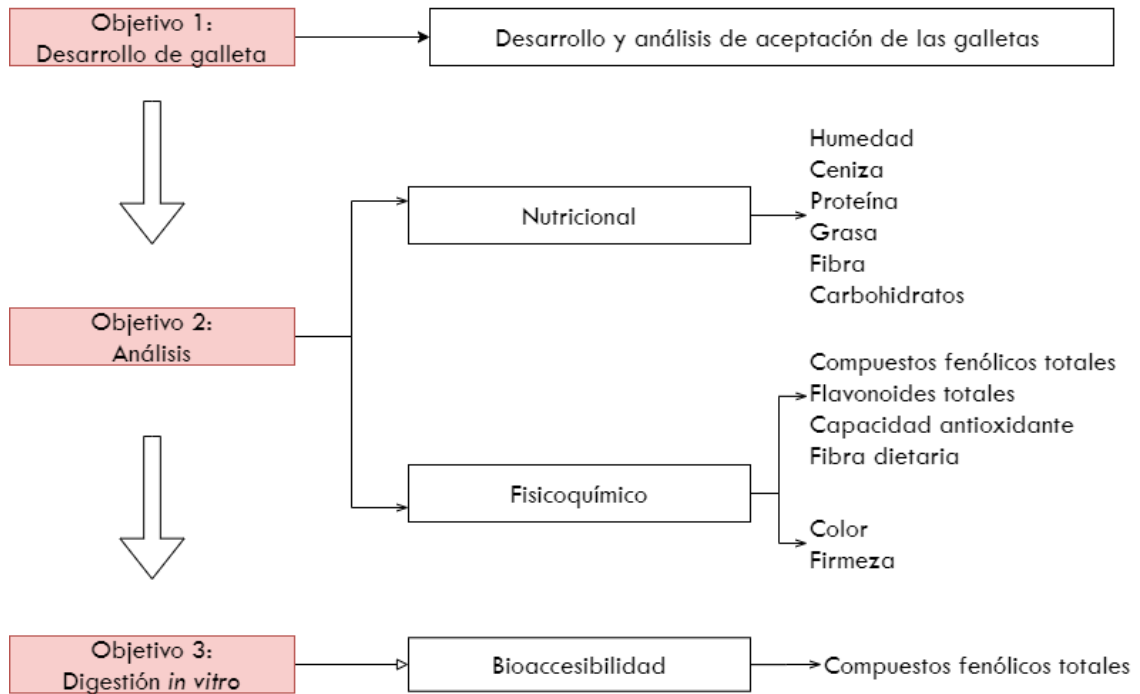


Figura 6. Diagrama general del diseño experimental.

6.4 Obtención de la muestra

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) se adquirió en supermercados y establecimientos de Monterrey, Nuevo León. Para su procesamiento la fruta fue lavada con agua potable. Posteriormente, la cáscara se retiró de forma manual y se sometió a un proceso de secado a temperatura de 40°C durante 48 h. Después se molió y tamizó en una malla de 420 µm. Se almacenó en empaques herméticos sin exposición de aire y luz para su conservación.

Objetivo 1. Evaluar la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) sobre el análisis de aceptación de galletas a base de harina de trigo.

6.5 Desarrollo de galletas

Las galletas se elaboraron en base a la formulación de Ho & Abdul Latif (2016), con modificaciones. Se trabajó con tres grupos: Galleta control (GC); sin cáscara de pitahaya y galletas con incorporación de cáscara de pitahaya al 10% (F10) y 15% (F15), de acuerdo con la **Tabla 6**.

Tabla 6. Ingredientes para elaboración de galleta con cáscara de pitahaya.

Ingredientes (%)	Fórmulas			
	GC	F10	F15	F25
Harina de trigo	55	50	47	42
Cáscara de pitahaya	0	5	8	13
Huevo	6	6	6	6
Mantequilla	28	28	28	28
Azúcar	11	11	11	11

Se prepararon las galletas primeramente mezclando la mantequilla y azúcar hasta obtener una pasta homogénea, posteriormente se añadió huevo. Se incorporaron las harinas en la proporción correspondiente a cada grupo. Se homogenizó la mezcla hasta que los ingredientes estuvieran completamente integrados. Se procedió a extender la masa con un grosor de 6 mm y diámetro aproximado de 3 cm en forma circular. Se horneó a 150° C durante 15 minutos. Posteriormente, las galletas se dejaron a temperatura ambiente hasta su enfriamiento y se almacenaron en bolsas herméticas aislándolas de luz y/o humedad hasta su análisis. Las muestras fueron analizadas por triplicado.

6.6 Análisis de aceptación sensorial

Se realizó un análisis de aceptación sensorial con un panel de 20 jueces no entrenados mediante una evaluación descriptiva, en la cual se evaluó el sabor, color, apariencia, olor y textura para generar descriptores de cada uno de los atributos. Se identificó la galleta control como GC y las galletas adicionadas con cáscara de pitahaya como F10 (10% de incorporación) y F15 (15% de incorporación). Se utilizó una prueba de calificación de escala hedónica para medir el grado de aceptación de las galletas en una escala de cinco puntos, desde "me desagrada mucho" hasta "me agrada mucho". Se otorgó un formulario de evaluación que enumera varios parámetros sensoriales y opciones de puntuación con clasificaciones numéricas (**ANEXO 1**) (Zoulias *et al.*, 2000; Pereira *et al.*, 2013).

Objetivo 2. Determinar las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y antioxidantes de la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en galletas a base de harina de trigo.

6.7 Parámetros físicos

6.7.1 Dureza

Se determinó por medio de un texturómetro modelo TA. XT Plus Stable Micro Systems texture analyser (Surrey, UK). El análisis se llevó a cabo en las muestras de galletas GC, F10 y F15 al día 0 de su elaboración. Se aplicó el 20% de deformación de la media del diámetro de las galletas. Para la prueba se utilizó una esfera de 3 mm de diámetro. Los valores fueron reportados en Newtons (N). El análisis se llevó a cabo por triplicado (Perry *et al.*, 2003).

6.7.2 Dimensiones

Se utilizó un calibrador Vernier para determinar el diámetro y altura (mm) de las galletas. Se colocaron las galletas una a lado de otra, girando las muestras 90° para lecturas repetidas (Bala *et al.*, 2015).

6.7.3 Color

Se realizó de acuerdo con el método de Ho & Abdul Latif (2016). Para la determinación de color se empleó un lector de color portátil modelo CR-20 de Konica Minolta (Tokio, Japan). Se determinaron las variables L*, a*, b*; donde el valor de L representa la medida de luminosidad (rangos de 0 a 100 donde 0 = negro y 100 = blanco), el valor chroma a* [cromaticidad verde (-60) a rojo (+60)] y Chroma b* [cromaticidad azul (-60) a amarillo (+60)]. La medición se llevó a cabo por triplicado al día 0 en las galletas del grupo GC, F10 y F15.

6.8 Análisis proximal

Se determinó de acuerdo con los métodos y técnicas establecidas por la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC por sus siglas en inglés) (AOAC International, 2016).

6.8.1 Humedad

Método AOAC 950.46: Se cuantificó a través de la diferencia entre el peso inicial y peso final de una muestra de 5 a 10 gramos sometida a una temperatura de 105°C durante 24 horas. El porcentaje de humedad fue determinado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = 100 \left(\frac{(B-A)-(C-A)}{B-A} \right)$$

Donde,

A= Peso de la charolilla seca y limpia (g)

B= Peso de la charolilla ± muestra húmeda (g)

C= Peso de la charolilla ± muestra seca (g)

6.8.2 Ceniza

Método AOAC 923.03: Se llevó a cabo el método de calcinación en una mufla. Se pesaron 3 gramos de galleta seca y se calcinó a 500°C. Se dejó enfriar y posteriormente se trasladó a él desecador. El porcentaje de ceniza fue determinado mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ceniza (\%)} = 100 \left(\frac{\text{Peso crisol y muestra (g)} - \text{Peso crisol y ceniza (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \right)$$

6.8.3 Proteína

El método de combustión de Dumas fue realizado para determinar el contenido total de nitrógeno en sustratos orgánicos generales. La muestra molida y seca, se sometió a alta temperatura en una atmósfera de oxígeno. Posteriormente, el nitrógeno se convierte cuantitativamente en N₂ al pasar por tubos de oxidación y reducción. Así mismo, se capturan o separan otros productos de combustión volátiles. El detector de conductividad térmica medirá el nitrógeno. El resultado se expresó como un porcentaje de nitrógeno o miligramos, que se pueden convertir en proteínas mediante el factor de conversión de 6.25 (Željko Mihaljev *et al.*, 2015).

6.8.4 Grasa

Método AOAC 985.15: Se sometió la muestra molida y seca a la acción del disolvente dietiléter en el aparato extractor de Goldfish bajo reflujo constante.

El solvente se separó del extracto y la muestra se desecó en una estufa a 90°C.
El contenido de grasa en la muestra se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Grasa cruda (\%)} = 100 \left(\frac{\text{Peso vaso con grasa (g)} - \text{Peso vaso limpio y seco (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \right)$$

6.8.5 Fibra cruda

Método AOAC 935.39: El contenido de fibra en la muestra se determinó con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y con posterior calcinación del residuo. Posteriormente, la cantidad de fibra cruda presente en la muestra calcinada se calculó con la diferencia de pesos con la siguiente ecuación:

$$\text{Fibra cruda (\%)} = 100 \left(\frac{\text{PCRS (g)} - \text{PCRC (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \right)$$

Donde:

PCRS= Peso crisol con residuo seco

PCRC= Peso crisol con residuo ceniza

6.8.6 Carbohidratos totales

Método AOAC 995.13: Se calculó por diferencia de porcentaje de humedad, proteína, grasa, ceniza y fibra cruda mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Carbohidratos (\%)} = 100 - (A + B + C + D + E)$$

Donde,

A= Contenido de humedad (%)

B= Contenido de proteína cruda (%)

C= Contenido de lípidos crudos (%)

D= Contenido de fibra cruda (%)

E = Contenido de ceniza (%)

6.9 Compuestos bioactivos

6.9.1 Fibra dietaria

Método AOAC 985.29: se trabajó con una muestra seca y desgrasada. Para eliminar el almidón presente en la muestra se utilizó α -amilasa y amiloglucosidasa, también fue necesario retirar la proteína presente, por lo que se utilizó la enzima proteasa. Posteriormente, se agregó etanol para precipitar la fibra dietaria soluble, después el residuo se filtró y lavó con etanol y acetona. Finalmente, el residuo se secó y pesó. Para llevar a cabo la cuantificación del contenido de fibra, fue necesario determinar en residuo su contenido de proteínas y cenizas presentes. El resultado se expresó de acuerdo con el peso de los residuos, menos el peso de la proteína y ceniza.

6.9.2 Extractos metanólicos

Para llevar a cabo la extracción se colocaron 800 mg de muestra en un tubo de ensayo. Después, se purgó la muestra con 3 mL de metanol al 80% (80:20 metanol: agua v/v) con flujo de nitrógeno por 30 s. Las muestras purgadas se agitaron en una plancha de calentamiento a 200 rpm durante 1 h protegidas de la luz. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 6000 rpm durante 10 min y se recuperó el sobrenadante. Se repitió la centrifugación y recuperación del sobrenadante. Finalmente, las muestras fueron almacenadas a -20°C protegidas de la luz hasta su análisis.

6.9.3 Fenoles totales

Los compuestos fenólicos (CF) totales fueron cuantificados por método de Folin-Ciocalteu con ligeras variantes de acuerdo con lo reportado por Rodríguez-Salinas *et al.* (2021). En un tubo, se agregaron 200 μL de extracto metanólico y se diluyeron con 2600 μL de agua destilada, luego se añadieron 200 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu y, finalmente, se incorporaron 2000 μL de solución de Na_2CO_3 al 7%. La reacción se dejó en la oscuridad durante 90 minutos. Finalmente, la lectura de la absorbancia fue medida por un espectrofotómetro a una longitud de onda de 750 nm utilizando metanol al 80% como blanco. Se realizó una curva de calibración con ácido gálico de 0 a 200 mg L^{-1} para calcular el contenido de compuestos fenólicos totales. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g de materia seca (mg EAG/100G)

6.9.4 Flavonoides totales

Los flavonoides totales (FL) fueron cuantificados de acuerdo con el método utilizado por Rodríguez-Salinas *et al.* (2021), en donde se diluyeron 200 μL del extracto en un tubo de ensayo con 3500 μL de agua destilada. Posteriormente, se agregaron 150 μL de solución de NaNO_3 al 5% y se dejó reaccionar durante 5 minutos. Después, se agregaron 150 μL de AlCl_3 al 10% y luego de 5 min se agregaron 100 μL de NaOH 1 M. Finalmente, la reacción se protegió de la luz durante 15 min y se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 510 nm en un espectrofotómetro. Se realizó una curva de calibración con catequina de 0 a 200 mg L^{-1} para calcular el contenido de flavonoides totales. Los resultados se expresaron en miliequivalentes de catequinas por 100 g de materia seca (mg EC/100 g).

6.10 Capacidad antioxidante

6.10.1 ABTS

Se generó el ácido etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS+) por oxidación de la solución ABTS con persulfato de potasio. Se reposó durante 12 horas en la oscuridad. Se realizó el análisis incorporando 0.50 µL de extracto metanólico, 1500 µL del reactivo ABTS. Se dejó en oscuridad durante 30 minutos aislado de oscuridad y se realizó la lectura a 734 nm. Se realizó una curva de calibración con rutina estándar para calcular la capacidad antioxidante.

6.10.2 DPPH

Se utilizó el método descrito por Pérez-Jiménez *et al.* (2008) con modificaciones. Se realizó su análisis con 0.50 µL de extracto metanólico y 1500 µL de reactivo DPPH durante 30 minutos aislado de oscuridad. Se midió la absorbancia en espectrofotómetro a longitud de onda de 517 nm y se calculó a partir de una curva de calibración con rutina estándar.

6.10.3 FRAP

Se utilizó el método descrito por Pérez-Jiménez *et al.* (2008) con modificaciones. Se incorporó 0.50 µL de extracto metanólico y 1500 µL del reactivo FRAP, se reposó durante 30 minutos a 37°C aislado de oscuridad. Se midió la absorbancia en espectrofotómetro a longitud de onda de 593 nm y se calculó a partir de una curva de calibración con rutina estándar.

Objetivo 3. Evaluar la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos a través de un ensayo de digestión *in vitro* en galletas con adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en galletas a base de harina de trigo.

6.11 Digestión *in vitro*

Los procesos de digestión gastrointestinal *in vitro* son utilizados para simular el proceso de digestión gastrointestinal en el cuerpo humano, para determinar la biodisponibilidad de los ingredientes presentes en los alimentos y evaluar su comportamiento durante el proceso (Minekus *et al.*, 2014; Peña-Vázquez *et al.*, 2022).

El método consistió en tres fases: la fase oral, gástrica e intestinal. Para simular la fase oral, la galleta (2.5 g) fue homogeneizada en un volumen de 17.5 mL de fluido similar a la saliva con α -amilasa salival [75 U mL^{-1}] y 125 μL de CaCl_2 0.3M aforado con agua destilada a 25 mL. Se colocó en baño maría con agitación constante durante 30 minutos en oscuridad.

Posteriormente, para simular la fase gástrica, se adicionaron 18.75 mL de fluido similar gástrico con pepsina [2000 U mL^{-1} HCl 1M] y 12.5 μL de CaCl_2 0.3M. Se aforó con agua destilada a 25 mL y el pH se ajustó a 3 con HCl 1M, se colocó a baño maría con agitación constante durante dos horas en oscuridad.

Por último, para simular la fase intestinal se añadió un volumen de 27.5 mL de fluido similar intestinal con pancreatina [100 U mL^{-1} NaOH 1M y agua destilada], 6.25 mL de extracto de bilis [625 mg en 12.5 mL de NaOH al 1M y 12.5 mL de agua destilada] y 100 μL de CaCl_2 0.3M. Se aforó con agua destilada a 50mL y se ajustó un pH a 7, colocándolo a baño maría a 37°C en agitación

constante durante dos horas en oscuridad. Al finalizar las fases se recolectó el volumen total y se inactivaron las enzimas por choque térmico. Posterior a ello, se secaron a una temperatura de 50°C por 12 horas.

La bioaccesibilidad (BA) se refiere a la liberación de compuestos fenólicos en la matriz alimentaria a través de la acción de las enzimas digestivas y la pone a disposición para su posterior absorción gastrointestinal (Perales-Vázquez *et al.*, 2020). Se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula (donde CFT son los compuestos fenólicos totales):

$$\text{Bioaccesibilidad (\%)} = \left(\frac{\text{CFT fase digerida}}{\text{CFT sin digerir}} \right) \times 100$$

VII. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis fue realizado mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics versión 25.0. Las técnicas se realizaron por triplicado para el análisis proximal y digestión gastrointestinal *in vitro*. Los resultados son expresados como media \pm desviación estándar de la media (DEM). El Análisis de Varianzas (ANOVA) de un factor se realizó para determinar si existen diferencias significativas entre las muestras, siendo complementada por la prueba *post-hoc* de Tukey para especificar las diferencias significativas entre las distintas fases de la digestión gastrointestinal *in vitro*. Un valor de $p < 0.05$ fue considerado como estadísticamente significativo.

VIII. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y DE BIOSEGURIDAD

El proyecto de investigación se apegó a las condiciones y lineamientos de la unidad de alimentación y salud establecido en la Facultad de Salud Pública y Nutrición (FaSPyN), el Laboratorio de Química y Bioquímica de la Facultad de Agronomía y por la unidad de investigación de Nutrición del Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud (CIDICS).

En el campo de investigación, se han emitido normas emitidas a nivel nacional e internacional estableciendo lineamientos para el manejo adecuado de materiales, entre ellos:

- Utilizar batas y guantes durante la estancia de laboratorio.
- Limpiar y desinfectar el área de trabajo correspondiente antes y después de realizar las actividades.
- Queda prohibido comer, beber, fumar y maquillarse en el área de trabajo.
- Prohibir el almacenamiento de alimentos o bebidas destinados al consumo humano en las áreas de laboratorio.
- Los recipientes de las muestras deben ser de material de vidrio o plástico.
- Al entrar al laboratorio, manipular cualquier material y al terminar el trabajo, es necesario el lavado correcto de manos.
- Está prohibido utilizar las prendas protectoras como, la bata, guantes o lentes de seguridad fuera del laboratorio.
- No utilizar dispositivo celular durante la estancia de trabajo.
- Todo desecho deberá vaciarse al contenedor indicado por la unidad de trabajo.
- Queda prohibido desechar cualquier sustancia o material de trabajo en el lavabo o cesto de basura convencional.
- Los materiales utilizados deberán ser lavados antes y después de su uso.

IX. RECURSOS

El proceso de elaboración del producto alimentario y a su vez, la cuantificación proximal y física se realizó en el Laboratorio de Alimentos de la Facultad de Salud Pública y Nutrición. Por otro lado, el proceso de digestión gastrointestinal *in vitro* y la cuantificación de compuestos fenólicos y flavonoides totales se realizó en la Unidad de Investigación de Nutrición del Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencias de la Salud (CIDICS). Por último, el análisis antioxidante fue realizado en el Laboratorio Química y Bioquímica de la Facultad de Agronomía. Dichos organismos son pertenecientes a la Universidad Autónoma de Nuevo León.

a. Materiales

- Agitador magnético múltiple
- Balanza analítica
- Balanza granataria
- Baño y circulador de inmersión
- Centrífuga
- Espectrofotómetro
- Estufa incubadora
- Molino para café
- Potenciómetro
- Mufla
- Estufa de secado
- Digestor de lípidos
- Digestor de proteínas
- Vórtex
- Texturómetro
- Plancha de calentamiento
- Deshidratador

- b. Financieros: Ingredientes alimenticios funcionales con potencial nutracéutico y su efecto antiobesidad 19-FaSPyN-AG-03.
- c. Humanos: Investigadores, estudiantes y asistentes de los laboratorios de la Unidad de Investigación de Nutrición del CIDICS, Unidad de Alimentación y Salud de FaSPyN y Unidad de Química de la Facultad de Agronomía.

X. RESULTADOS

Objetivo 1. Evaluar la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) sobre el análisis de aceptación de galletas a base de harina de trigo.

10.1 Desarrollo de galletas

En la **Figura 7** se observa la apariencia de las galletas horneadas de los tratamientos: control y aquellas adicionadas con cáscara de pitahaya. Dado que las galletas fueron procesadas bajo las mismas condiciones, es evidente que la incorporación de cáscara de pitahaya generó un efecto directamente proporcional en el color y textura de las galletas. Ya que, al incrementar la incorporación de esta harina se observó un color rojizo más intenso, así como un mayor agrietamiento en su superficie.

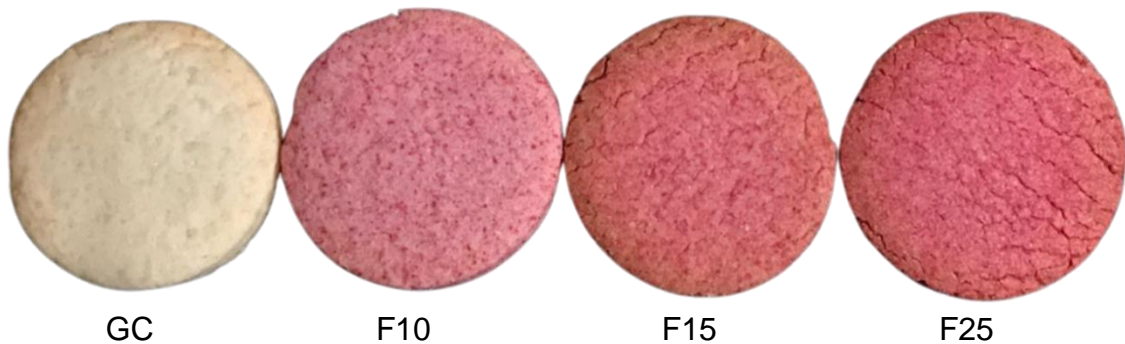


Figura 7. Aspecto visual de galletas. GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15% y F25: Incorporación al 25%

10.2 Análisis de aceptación

El análisis de aceptación evalúa las características distintivas de un producto alimenticio; la escala hedónica es uno de los métodos más utilizados para este fin. En este estudio, la evaluación se realizó con base a los atributos típicos de las galletas tradicionales, como: el color, el olor, el sabor, la textura y

la aceptabilidad en general. Los resultados de la evaluación se presentan en base a estos atributos, de acuerdo con la **Figura 8**.

La GC presentó mayor nivel de aceptación en comparación con los tratamientos F10, F15 y F25, destacando en el parámetro de olor. Respecto a las galletas adicionadas con cáscara de pitahaya, se observó que, a mayor incorporación de la cáscara, menor fue la aceptación en los parámetros sensoriales, con excepción en el color, de tal manera que la galleta F25 tuvo la menor puntuación por los panelistas. Cabe señalar que la galleta F10 destacó en todos los parámetros en comparación con la galleta F15 y F25, ya que presentaba un aroma particular a la mantequilla, el color era ligeramente rosado, su sabor y textura no tenía diferencia a la galleta control. Por otro lado, el tratamiento F25 de acuerdo con los panelistas, mencionaron percibir una sensación arenosa como parte de su textura y un sabor no agradable. Lo cual se vio reflejado en su nivel de aceptación, siendo más bajo en comparación el F10 y F15. Por lo anterior, se decidió descartar la galleta F25 de este estudio y continuar la evaluación en las galletas F10 y F15.

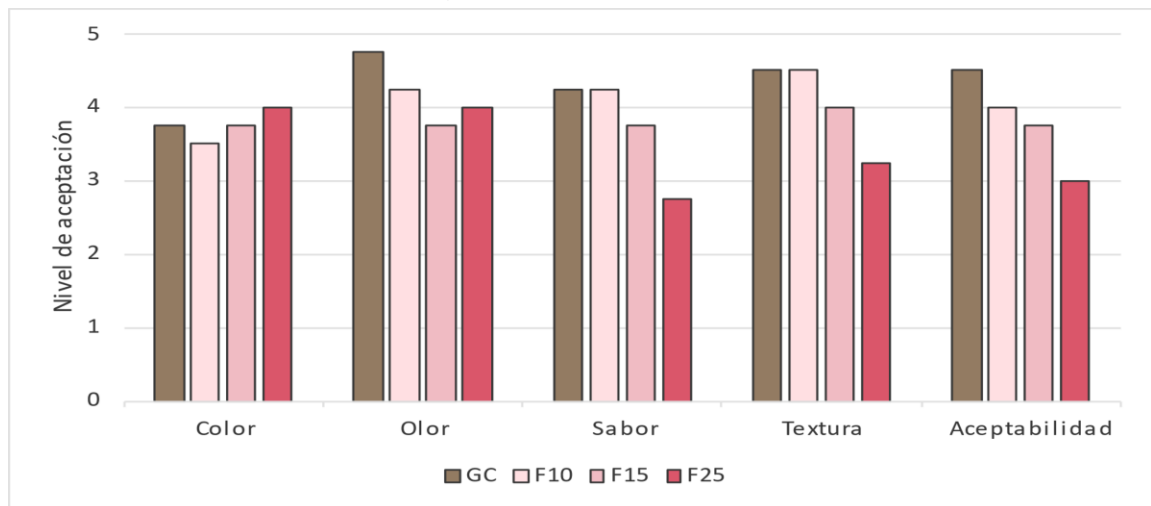


Figura 8. Análisis de aceptación de galleta control y galletas adicionadas con cáscara de pitahaya. GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15% y F25: Incorporación al 25%.

Objetivo 2. Determinar las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y antioxidantes de la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en galletas a base de harina de trigo.

10.3 Parámetros físicos

La dureza es uno de los parámetros más importantes para evaluar la textura en una galleta, la cual está relacionada con la fuerza requerida para comprimir un trozo de alimento entre los molares. Los resultados obtenidos de la evaluación instrumental de la textura se muestran en la **Tabla 7**. La incorporación de cáscara de pitahaya al 10 y 15% disminuyó ($p<0.05$) la dureza en un 12 y 28% respectivamente, comparadas con la galleta control. Así mismo, la galleta F15 tuvo una menor ($p<0.05$) dureza en comparación con la galleta F10.

Tabla 7. Análisis de dureza en galletas, posterior al proceso de horneado.

Muestra	Dureza (N)
GC	17.73 ± 0.21 ^a
F10	15.60 ± 0.86 ^b
F15	12.75 ± 0.70 ^c

Los resultados se expresan como media ± desviación estándar de la media (DEM) ($n=3$). El análisis estadístico se realizó mediante el Análisis de Varianzas (ANOVA) de un factor y la prueba Tukey como prueba *post hoc*. En cada columna, las letras distintas en superíndice indican un valor estadísticamente significativo ($p<0.05$). N: Newtons, GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15%.

Otro de los parámetros a evaluar en las características físicas son el diámetro y la altura. Esto con el fin de observar el efecto de la incorporación de un ingrediente no convencional en una formulación tradicional. Los resultados del presente estudio muestran que la incorporación de cáscara de pitahaya no afectó el diámetro y altura de las galletas en comparación con la galleta control (**Tabla 8**).

Tabla 8. Análisis de dimensiones (mm) en galletas horneadas.

Muestra	Antes de horneado		Después de horneado	
	Diámetro	Altura	Diámetro	Altura
GC	40.52 ± 0.24 ^{a,B}	5.90 ± 0.60 ^{a,A}	43.00 ± 1.07 ^{a,B}	6.07 ± .058 ^{a,A}
F10	40.57 ± 0.55 ^{a,B}	5.87 ± 0.64 ^{a,A}	43.39 ± 1.01 ^{a,B}	6.65 ± 0.35 ^{a,A}
F15	40.74 ± 0.83 ^{a,B}	5.95 ± 0.58 ^{a,A}	43.43 ± 0.33 ^{a,B}	6.31 ± 0.51 ^{a,A}

Los resultados se expresan como media ± DEM. El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de un factor y la prueba Tukey como prueba *post hoc*. Letras mayúsculas diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ($p < 0.05$) antes y después de horneado. Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre galletas. GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15%.

En relación con la pérdida de peso (**Tabla 9**), los tres tratamientos presentaron valores similares entre sí ($p > 0.05$), con un promedio de 11.58%. Por lo tanto, la incorporación de cascara de pitahaya no afectó el rendimiento (88.42%) de las galletas.

Tabla 9. Pérdida de peso (%) en galletas.




Muestra	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Pérdida de peso (%)
GC	11.40 ± 0.36 ^a	10.03 ± 0.42 ^a	12.01 ^a
F10	10.47 ± 0.31 ^b	9.27 ± 0.31 ^a	11.47 ^a
F15	10.93 ± 0.21 ^{ab}	9.70 ± 0.17 ^a	11.28 ^a

Los resultados se expresan como media ± DEM ($n=3$). El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de un factor y la prueba Tukey como prueba *post hoc*. En cada columna, las letras distintas en superíndice indican un valor estadísticamente significativo ($p < 0.05$). GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15%. Peso inicial: antes de horneado, Peso final: después de horneado.

En la **Tabla 10** se reporta el análisis de color, en el cual se observa una diferencia significativa entre los tratamientos en relación con las variables L^* , a^* y b^* . La incorporación de la cáscara de pitahaya en los tratamientos F10 y F15 a

diferentes concentraciones tuvo impacto en el color. Se observa que los parámetros de color aumentaron en las galletas adicionadas con cáscara de pitahaya (27% para F10 y 35% para F15) ($p < 0.05$) en el factor L^* en comparación con la GC. De modo similar, el parámetro amarillento (b^*) mostró una disminución significativa en las galletas adicionadas con el subproducto, F10 y F15, obteniendo una diferencia del 56% y 49%, en relación con la galleta control. Por otro lado, los valores rojizos aumentaron significativamente en las galletas F10 y F15 (338 y 397% respectivamente), observándose la presencia de pigmento rosado-rojizo en relación con la galleta control.

Tabla 10. Análisis de color en galletas posterior al proceso de horneado.

Muestra	L^*	a^*	b^*	Color
GC	71.77 ± 0.42^a	5.23 ± 0.15^a	25.20 ± 0.50^a	
F10	51.73 ± 1.04^b	22.93 ± 0.12^b	14.33 ± 0.76^b	
F15	47.17 ± 0.65^c	26.03 ± 0.21^c	12.53 ± 0.55^c	

Los resultados se expresan como media \pm DEM ($n=3$). El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de un factor y la prueba Tukey como prueba *post hoc*. En cada columna, las letras distintas en superíndice indican un valor estadísticamente significativo ($p < 0.05$). GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15%, L: luminosidad, a: coordenadas rojo/verde y b: coordenadas amarillo/azul.

10.4 Análisis proximal

En la **Tabla 11** se muestran los resultados obtenidos en el análisis proximal, en donde se observa que hay diferencia significativa en todas las variables entre las galletas control y las adicionadas con cáscara de pitahaya. Las galletas F10 y F15 aumentaron significativamente el contenido de humedad (0.17% y 0.38%), ceniza (promedio de 1.07%) y fibra cruda (1.47% y 2.41% respectivamente) en comparación con la galleta control. Así mismo, se observa una disminución estadísticamente significativa en el porcentaje de grasa y proteína ($p < 0.05$) con respecto a la galleta control.

Tabla 11. Análisis proximal (% en 100g) en galletas.

Muestra	Humedad	Ceniza	Grasa	Proteína	Fibra cruda	HC
GC	2.21 ± 0.04 ^a	0.60 ± 0.00 ^a	26.22 ± 0.02 ^a	33.76 ± 0.21 ^a	0.56 ± 0.07 ^a	36.64 ± 0.19 ^a
F10	2.38 ± 0.06 ^b	1.63 ± 0.05 ^b	25.59 ± 0.19 ^b	29.85 ± 0.49 ^b	2.03 ± 0.03 ^b	39.52 ± 0.64 ^b
F15	2.59 ± 0.01 ^c	1.71 ± 0.02 ^b	24.75 ± 0.04 ^c	29.21 ± 0.31 ^b	2.97 ± 0.90 ^b	39.74 ± 1.21 ^b

Los resultados se expresan como media ± DEM ($n=3$). El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de un factor y la prueba Tukey como prueba *post hoc*. En cada columna, las letras distintas en superíndice indican un valor estadísticamente significativo ($p < 0.05$). HC: Hidratos de carbono, GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15%.

10.5 Compuestos bioactivos

Los resultados obtenidos de la fibra dietaria se encuentran en la **Tabla 12**. Se obtuvo un aumento estadísticamente significativo en la cantidad de fibra dietaria total en consecuencia de la incorporación de cáscara de pitahaya en las galletas F10 y F15 en comparación con la galleta control. La fibra dietaria insoluble aumentó 5.32 y 8.44% (F10 y F15 respectivamente) en comparación con la galleta control ($6.84 \pm 0.27\%$) comportamiento similar en fibra dietaria soluble, donde la galleta F15 incrementó el doble del contenido en relación con la GC.

Tabla 12. Contenido (% en 100g) de fibra dietaria en galletas.

Muestra	FDI	FDS	FDT
GC	6.84 ± 0.27^a	3.07 ± 0.50^a	9.91 ± 0.32^a
F10	12.16 ± 0.11^b	4.73 ± 0.08^b	16.89 ± 0.25^b
F15	15.28 ± 0.82^c	7.36 ± 0.50^c	22.65 ± 0.32^c

Los resultados se expresan como media \pm DEM ($n=3$). El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de un factor y la prueba Tukey como prueba *post hoc*. En cada columna, las letras distintas en superíndice indican un valor estadísticamente significativo ($p<0.05$). GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15%, FDI: Fibra dietaria insoluble, FDS: Fibra dietaria soluble, FDT: Fibra dietaria total.

En la evaluación del contenido de compuestos fenólicos totales, se observó un aumento significativo en las galletas F10 y F15 (38% y 49%, respectivamente) en comparación con la galleta control (46.60 ± 3.44 mg EAG/100 g de producto seco). A su vez, el contenido de flavonoides en la galleta F15 tuvo un incremento ($p<0.05$) del 16% en comparación con la galleta control (Tabla 13).

Tabla 13. Contenido de fenoles totales (mg EAG/100g) y flavonoides (mg EC/100g) en galletas.

Muestra	Fenoles totales	Flavonoides
GC	46.60 ± 3.44 ^a	25.86 ± 1.72 ^a
F10	64.16 ± 2.68 ^b	24.61 ± 2.53 ^{ab}
F15	69.55 ± 1.70 ^b	29.96 ± 1.72 ^b

Los resultados se expresan como media ± DEM ($n=3$). El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de un factor y la prueba Tukey como prueba *post hoc*. En cada columna, las letras distintas en superíndice indican un valor estadísticamente significativo ($p<0.05$). GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15%.

10.6 Capacidad antioxidante

Los métodos de DPPH, ABTS y FRAP se utilizaron para medir la capacidad antioxidante de las galletas. Para DPPH la galleta control y F10 no reportaron diferencia significativa ente sí, aunque este último tuvo un ligero incremento del 8%, pero para F15 hubo una disminución significativa del 22% en relación con GC. Para ABTS, el tratamiento F10 mostró un incremento significativo del 6% en comparación a GC, pero con F15 no hay diferencia significativa comparándose con la galleta control Por el método de FRAP el comportamiento fue diferente, tanto F10 y F15 tuvieron un incremento significativo con respecto a GC con una diferencia de 16.77 hasta 20 mg EC (Tabla 14).

Tabla 14. Capacidad antioxidante (mg ET/100g de producto seco) en galletas.

Muestra	DPPH	ABTS	FRAP
GC	47.96 ± 1.63 ^a	81.12 ± 0.88 ^a	6.12 ± 0.67 ^a
F10	51.88 ± 4.04 ^a	86.12 ± 2.03 ^b	22.89 ± 0.84 ^b
F15	37.30 ± 5.26 ^b	82.29 ± 1.02 ^a	33.12 ± 4.25 ^c

Los resultados se expresan como media ± DEM ($n=3$). El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de un factor y la prueba Tukey como prueba *post hoc*. En cada columna, las letras

distintas en superíndice indican un valor estadísticamente significativo ($p < 0.05$). GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15%.

Objetivo 3. Evaluar la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos a través de un ensayo de digestión *in vitro* en galletas con adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en galletas a base de harina de trigo.

10.7 Digestión *in vitro*

El contenido de compuestos fenólicos durante la digestión simulada en un modelo *in vitro* se muestra en la **Tabla 15**. En la fase gástrica no tuvo diferencia significativa entre la galleta control en comparación con los tratamientos F10 y F15, los tres grupos reportaron un contenido promedio de 173 mg EAG/100g, sin embargo, para la fase intestinal los tratamientos con cáscara de pitahaya mostraron una disminución significativa hasta un 26.5% en el contenido de compuestos fenólicos.

En torno a la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos a través de la digestión, se observó de manera general que ésta descendió significativamente posterior a la fase intestinal comparado con la fase gástrica en cada una de las galletas. La galleta F10 mostró un aumento de 64.16 mg EAG a 172.88 mg EAG desde la fase oral a la fase gástrica, sin embargo, en la fase intestinal, hubo una disminución significativa de 68.31 mg EAG. Comportamiento similar sucedió con la galleta F15, la cual en la fase gástrica obtuvo valores de hasta 173.74 mg EAG que disminuyó hasta 106.93 mg EAG en la fase intestinal.

Tabla 15. Contenido de compuestos fenólicos (mg EAG/100g) y bioaccesibilidad (%) durante el proceso de digestión gastrointestinal *in vitro* en galleta control y galletas adicionadas con cáscara de pitahaya.

Fase	GC		F10		F15	
	mg EAG	%B	mg EAG	%B	mg EAG	%B
Sin digerir	46.60 ± 3.44 ^{A, a}	-	64.16 ± 2.68 ^{A, b}	-	69.55 ± 1.70 ^{A, b}	-
Fase gástrica	174.97 ± 1.87 ^{B, a}	378	172.88 ± 2.74 ^{B, a}	269	173.74 ± 0.74 ^{B, a}	250
Fase intestinal	143.37 ± 0.79 ^{C, a}	308	104.57 ± 1.94 ^{C, b}	163	106.93 ± 2.05 ^{C, b}	154

Los resultados se expresan como media ± DEM. El análisis estadístico se realizó mediante ANOVA de un factor y la prueba Tukey como prueba *post hoc*. Letras mayúsculas diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre fases de la digestión. Letras minúsculas diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre galletas. GC: Galleta Control, F10: Incorporación al 10%, F15: Incorporación al 15%.

XI. DISCUSIÓN

Objetivo 1. Evaluar la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) sobre el análisis de aceptación de galletas a base de harina de trigo.

11.1 Análisis de aceptación sensorial

En la actualidad, las personas buscan productos alimenticios seguros y nutritivos, pero también consideran las cualidades organolépticas (El Sheikha, 2021). El análisis de aceptación sensorial examina las propiedades (color, olor, sabor y textura) de un producto o alimento a través de los sentidos (vista, olfato, gusto, tacto y oído) (Ruiz-Capillas & Herrero, 2021).

En este estudio se observó que a medida que incrementó la incorporación de cáscara de pitahaya, mayor era la puntuación en el parámetro de color en las galletas. Este comportamiento fue similar a lo reportado por Palak *et al.* (2019), quienes elaboraron galletas con incorporación de 5% hasta 15% de cáscara de granada (*Punica granatum*). La galleta con incorporación al 15% presentó mayor calificación por parte de los panelistas. Así mismo, Parafati *et al.* (2020), observaron que en un pan con incorporación de hasta un 20% con cáscara de tuna (*Opuntia ficus indica*) obtuvo mayor aceptación, logrando una calificación de hasta 7.64 en una escala hedónica de 9 puntos. En cambio, Ho & Abdul Latif (2016), demostraron una disminución en la aceptabilidad debido al color en las galletas adicionadas con cáscara de pitahaya, donde se obtuvieron los niveles más bajos a mayor adicción. De acuerdo con Hoppu *et al.* (2018), quienes evaluaron la percepción visual del color de muestras líquidas, reportaron que un color atípico en un producto alimenticio (rosa-rojo) tiene impacto en la apreciación y preferencia del consumidor, ya que puede diferir de acuerdo con su ubicación geográfica, edad, sexo, entre otros.

Por otro lado, la puntuación de acuerdo con el olor disminuyó con relación al aumento de cáscara de pitahaya en las galletas. De acuerdo con la opinión de los panelistas percibían un aroma a mantequilla en la galleta control y F10, sin embargo, para F15 no fue similar. La disminución en la aceptación sensorial en el parámetro de olor es semejante a lo reportado por Abreu *et al.* (2019), quienes elaboraron galletas con sustitución de cáscara uva (*Vitis labrusca*) en diferentes concentraciones (5%, 10%, 15%, 20% y 30%), observando una menor aceptación a medida que incrementaba la adición del subproducto. De manera semejante, Hassan & Ali, (2014) formularon un pan con sustitución parcial de cáscara de toronja blanca (*Citrus paradise L*) observando una disminución en la preferencia de los consumidores conforme se incrementó la concentración de dicho subproducto.

La incorporación de cáscara de pitahaya afectó el sabor y textura de acuerdo con la percepción de los panelistas, particularmente que en el tratamiento F15 presentó un sabor amargo y a su vez, una consistencia menos suave que la F10. Esto coincide con los resultados de Ramya *et al.* (2020), quienes pudieron ver que la incorporación parcial de cáscara de yaca (*Artocarpus heterophyllus*) en galletas, tuvo un efecto significativo en los parámetros sensoriales, ya que las concentraciones al 10% y 15% de incorporación, mostraron los puntajes más bajos en el sabor. Por otro lado, en la formulación de pan con cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*) reportado por Eshak (2016), observaron que, a mayor incorporación de la cáscara, mayor era la aceptación de acuerdo con el sabor, sin embargo, no se relacionó con el puntaje de textura, ya que la concentración el pan con 10% obtuvo la puntuación más baja (7.4) en comparación con la control (8.2). Lo anterior también fue reportado por Olaitan, *et al.* (2017), quienes mencionan que la incorporación parcial de cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*) marcó una diferencia en la puntuación, ya que la galleta con 7.5% de cáscara obtuvo los niveles más bajos en la preferencia de los consumidores. De acuerdo con lo

anterior, se puede concluir que las propiedades sensoriales pueden verse afectadas por la incorporación de las cáscaras de fruta, las cuales se caracterizan por su alto contenido en fibra. Los estudios han demostrado que los productos horneados con altos niveles de fibra tienen impacto en la preferencia de los consumidores, considerando que los niveles aceptables varían de acuerdo con su incorporación (del 5 hasta 15% de cáscara) (Weng *et al.*, 2021), esto es debido al sabor amargo de la fibra y a su vez, se ha demostrado que en productos horneados genera una estructura menos aireada, ocasionando galletas más porosas (Ktenioudaki & Gallagher, 2012).

Objetivo 2. Determinar las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y antioxidantes de la adición de cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*) en galletas a base de harina de trigo.

11.2 Parámetros físicos

La textura es fundamental para determinar la aceptación de una galleta y el parámetro de dureza está relacionado con la fuerza necesaria para romper una galleta de acuerdo con lo reportado por Guiné (2022). En el presente estudio, la dureza disminuyó conforme a una mayor cantidad de cáscara de pitahaya, observándose que las galletas F10 y F15 eran más quebradizas que la galleta control. Un comportamiento similar se observó con Urganci & Isik (2021), donde elaboraron 4 tratamientos: control (a base de harina de trigo) y galletas con incorporación de cáscara de granada (*Punica granatum*) al 6, 12 y 18%. La galleta control tuvo una dureza de 9.62 N, mientras que la galleta al 18% obtuvo un resultado de dureza de 4.12 N. De igual forma, Saeed & Mohamed Zahrat (2017), reportan una disminución de la dureza en un 10% en galletas con cáscara de kiwi. (Naknaen *et al.* (2016), reportan que la dureza en las galletas disminuyó al incorporar cáscara de sandía (*Citrullus lanatus*). Estos datos indican que las galletas tienden a volverse más frágiles a altos niveles de incorporación. Silva *et*

al. (2013), explica que llevar a cabo la incorporación de harina de trigo por un ingrediente no tradicional como los subproductos, afecta la formación de gluten y, por lo tanto, se genera una estructura débil y frágil en galletas (Ajila *et al.*, 2008). A su vez, en productos de panificación el tamaño el producto es una de las características importantes para el consumidor. En nuestro estudio, hubo un aumento significativo en el tamaño de las galletas antes y después del horneado, sin embargo, no hubo diferencia entre las muestras. En un estudio (Zaker *et al.*, 2017) con galletas de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) reportan que la galleta control tuvo un diámetro de 58.44mm, mientras que las galletas con cáscara varió de 56.8 (5% de incorporación) a 52.5 (25% de incorporación). Sin embargo, esto contrasta con los resultados de Lee Hoon Ho *et al.* (2016), quienes sustituyeron galletas de harina de trigo con cáscara de pitahaya, observándose una diferencia significativa entre la galleta control (17.27mm) y las galletas con incorporación al 15% (17.41 mm). De acuerdo con la literatura, estos comportamientos contradictorios están relacionados por los ingredientes, formulación y las condiciones de producción en el alimento (Heo *et al.*, 2019). Sin embargo, diversos autores reportan que la incorporación de matrices alimentarias altas en fibra, tienen impacto en la altura y diámetro en producto de panadería, debido a la dilución del gluten (Peressini & Sensidoni, 2009). A su vez, lo anterior se ha relacionado con una pérdida de peso en productos horneados. En nuestro estudio, existió una diferencia en la pérdida de peso en el control y en las galletas con cáscara de pitahaya, sin embargo, no fue estadísticamente significativo. Nuestros resultados son contradictorios a los reportados por Kohajdová *et al.* (2018), quienes observaron que a mayor incorporación de uva (*Vitis vinífera*), las galletas perdían peso de 16.82% a 18.11% para control e incorporación al 15% respectivamente. Por otra parte, Ho & Abdul Latif (2016) reportaron que no existieron diferencias de peso entre la galleta control y las galletas con incorporación parcial de cáscara de pitahaya.

Por otro lado, de acuerdo con el color, la galleta control presentó los niveles más altos de L* en comparación con las galletas F10 y F15. La

incorporación de cáscara de pitahaya aumento los valores de chroma a*. La literatura reporta que este efecto es debido al contenido de betacianinas y betalainas presentes, las cuales se caracterizan por sus colores rosados – rojizos (Chia & Chong, 2015; Khoo *et al.*, 2022). A su vez, diversos autores mencionan que las tonalidades amarillentas pueden degradarse debido a los compuestos inestables durante el horneado Chia & Chong, 2015). Similar a lo reportado por Ho & Abdul Latif (2016) donde las galletas con incorporación de cáscara de pitahaya aumentaron el enrojecimiento de las galletas. Sin embargo, un estudio por Mai *et al.* (2021) observaron que no aumentaba la tonalidad rojiza a mayor incorporación de cáscara de pitahaya al 10%. Una posible explicación de ello es el tamaño de partícula que utilizaron (140 μ m), la cual, tiene impacto en la distribución de cáscara en la formulación. Además, Abreu *et al.* (2019) reportó que los ingredientes agregados pueden afectar el color de los productos después de horneados (Yilmaz & Karaman, 2017), lo cual se debe a la reacción de Maillard, que consiste en reacciones de pardeamiento no enzimático que se ven afectadas por la cantidad de azúcares reductores en los alimentos y la temperatura de horneado. A causa de lo anterior, las tonalidades de la superficie cambian la aceptabilidad de los productos horneados con harina de trigo (Friedman, 2015; Purlis & Salvadori, 2007).

11.3 Análisis proximal

Es importante que la incorporación de subproductos a la reformulación de productos alimenticios se evalúe a nivel nutricional. En este estudio el contenido de grasa y proteína disminuyó en F10 y F15. En el caso de la proteína resultó similar a lo reportado por Jose *et al.* (2022), señalando que, a mayor incorporación de cáscara de piña (*Ananas comosus*), la cantidad de proteína en las galletas disminuía en las galletas. Al retirar un porcentaje de la harina de trigo y sustituirse con harina de algún subproducto; los que se caracterizan con valores bajos de proteína, repercute en el producto final, en este caso la galleta. Sin

embargo, Ho & Abdul Latif (2016), mencionan que no obtuvieron diferencias significativas en la galleta control y las galletas con cáscara de pitahaya.

En este estudio, respecto al contenido de grasa, la GC tenía un porcentaje más alto (26.22%) en comparación con la galleta F10 (25.59%) y F15 (24.75%). Estos resultados son similares al estudio de Ramya *et al.* (2020), donde la muestra control contenía el mayor porcentaje de grasa (21.21%), mientras que la galleta con 15% de incorporación de cáscara de yaca reportó el porcentaje más bajo (19.02%). Así mismo, en un estudio donde se utilizaron galletas con incorporación parcial de cáscara de piña (*Ananas comosus*) el contenido de grasa (%) se registró en las galletas de control y el más bajo en las galletas mezcladas con 15% PCP (Jose *et al.* 2022). A su vez, la incorporación parcial de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) disminuyó hasta un 16% en bizcochos (A.H. Al-Saab & Gadallah, 2021). Por lo anterior, se menciona que las cáscaras de frutas pueden ser utilizadas potencialmente en productos de panadería con el fin de reducir el contenido de grasa en estos alimentos (Cacatian *et al.*, 2022). Sin embargo, es importante considerar que la grasa mejora la textura, retención de sabor y la sensación del alimento en la boca. Por lo cual, la disminución de grasa en nuestras galletas tiene relación a los resultados obtenidos en el análisis de aceptación sensorial.

Por otro lado, los valores de humedad, ceniza, fibra y carbohidratos aumentaron a medida de la incorporación de cáscara de pitahaya. Los resultados obtenidos del presente estudio mostraron hallazgos similares a los de Bertagnolli *et al.* (2014), donde reportaron que, al agregar mayor cantidad de cáscara de guayaba a la formulación, mayor era el contenido de humedad. De igual manera, Nakov *et al.* (2020), observaron que el contenido de humedad aumentó conforme la incorporación de la cáscara de manzana llegando a un 22.9% de humedad en galletas con incorporación del 32% en comparación con la galleta control. Dichos autores mencionan que esta tendencia está relacionada

con las propiedades de la unión de las moléculas de agua con la fibra de cáscaras de diferentes materiales vegetales.

En relación con al contenido de ceniza, la cáscara es un subproducto que presenta un alto valor de minerales comparado con la harina de trigo, por lo tanto, al incrementar su incorporación en las galletas, el contenido de cenizas se ve enriquecido (Chia & Chong, 2015). Este comportamiento fue observado en los resultados de nuestro estudio. Lo cual concuerda con Bertagnolli *et al.* (2014), en galletas suplementadas con cáscara de guayaba, donde el contenido de cenizas fue de 4.2%, superior a los reportados en nuestro estudio. De manera similar, Ho & Abdul Latif (2016) reportan que el contenido de cenizas aumentó conforme se incrementaba el contenido de cáscara de pitahaya, donde el valor más alto fue de 3.11% en galletas con incorporación al 15%, seguido de 2.73% para galletas con incorporación al 10%, mientras que el valor más bajo fue de 2.7% para la galleta control.

La incorporación de cáscara de pitahaya aumentó el contenido de fibra cruda y a su vez, la cantidad de carbohidratos totales. Younis *et al.* (2016) reportaron resultados similares a los de este estudio; donde el contenido de fibra cruda aumentó a medida que se incrementó el porcentaje de cáscara de limón dulce (*Citrus limetta*) en las galletas. La galleta control reportó el valor más bajo con 2.7%, mientras que las galletas con incorporación al 12% aumentó el contenido de fibra hasta un 13.15%. Así mismo, Elhassaneen *et al.* (2016), reportaron que el valor más alto de fibra lo obtuvo las galletas adicionadas con cáscara de papa (8.74%), seguido de las galletas con cáscara de tuna (8.11%) y el valor más bajo lo obtuvo la galleta control con 5.89%. A su vez, Jose *et al.* (2022) reportaron que el contenido máximo de fibra cruda (2.45%) pertenecía a las galletas mezcladas con 15% de cáscara de piña (*Ananas comosus*), mientras que el valor más bajo (1.79%) se registró para la galleta control, tendencia similar a los de este estudio. Por lo tal, el uso de diferentes cáscaras presenta un potencial como ingrediente funcional por su alto contenido en fibra, logrando

aumentar el valor nutricional en productos reformulados y a su vez, la fibra está fuertemente relacionada con la disminución de diversos trastornos de la salud. (Wanlapa *et al.*, 2015).

11.4 Fibra dietaria

Actualmente existe una tendencia en aumento de recuperar los subproductos por su alto contenido de fibra dietaria (Chaouch & Benvenuti, 2020). Al respecto, en nuestro estudio la incorporación de pitahaya aumenta el contenido de fibra dietaria total (fibra soluble e insoluble) donde los valores más altos se observaron en la galleta F15. Este comportamiento ha sido reportado por Nakov *et al.* (2020), donde reportaron que la incorporación con cáscara de manzana (*Malus domestic*) incrementaba el contenido de fibra dietaria total, obteniendo resultados de 2.2g en el control hasta 10.4g para el pan con incorporación al 32% de incorporación. De igual forma, Zaker *et al.* (2016) reportó incremento de fibra dietaria total en galletas con incorporación al 20% de cáscara de naranja (13.6g), en comparación con la galleta control (2.73 g). Lo anterior también fue reportado por Nassar & El-Naggar (2008) donde una incorporación de 25% de cáscara de naranja aumentó hasta 5 veces el contenido de fibra dietaria insoluble (9.g) en comparación con una galleta control (1.75g). Así mismo, en un estudio (Ajila *et al.*, 2008), elaboraron galletas con cáscara de mango (*Mangifera caesia var*) a diferentes concentraciones, obteniendo como resultado que la galleta al 20% de incorporación contenía 8.2 g de fibra dietaria soluble mientras que el control obtuvo 2.8 g. De tal manera que la incorporación de diferentes cáscaras de fruta tiene potencial de aplicación ya que aumenta el contenido de fibra dietaria en los productos, a su vez, se ha demostrado diversos efectos positivos en la prevención de diversas enfermedades como estreñimiento, obesidad, entre otras. A su vez, su implementación en la industria alimentaria tiene efecto positivo en la absorción de agua, captación de grasa, prolongación de vida útil y modificaciones en textura (Chaouch & Benvenuti,

2020). Así mismo, la literatura reporta que las fibras dietéticas producidas a partir de subproductos son alimentos ricos en antioxidantes y polifenoles (Eskicioglu *et al.*, 2016).

11.5 Compuestos fenólicos totales

Diversas investigaciones han demostrado la presencia de una gran variedad de compuestos bioactivos en subproductos de frutas donde destaca la fibra dietaria y los compuestos fenólicos (Suleria *et al.*, 2020; Chaouch & Benvenuti, 2020). El presente estudio demostró un aumento en las concentraciones de compuestos fenólicos totales a medida que aumentaba la incorporación de cáscara de pitahaya. De manera semejante, Elhassaneen *et al.* (2016) con la incorporación de cáscara de tuna al 5% en bizcochos aumentando 74% el contenido de fenoles totales en comparación a la muestra control (110.23 mg EAG/100 g). Lo mismo fue observado por Mahloko *et al.*, (2019) donde el contenido de fenoles totales osciló entre 10.79 y 11.80 mg EAG/100g entre las galletas de control y las galletas compuestas con 4% cáscara de plátano respectivamente. Así mismo, Bertagnolli *et al.* (2014) encontraron que mayores cantidades de cáscara de guayaba en las galletas dieron como resultado aumentos significativos en los compuestos fenólicos. Los ensayos determinan que los compuestos bioactivos presentes en las cáscaras de frutas pueden aplicarse a reformulación de alimentos, suplementos dietéticos, aditivos alimentarios, formulaciones de medicamentos, etc. para mejorar las cualidades nutricionales (Bhardwaj *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2019) Además, han sido estudiados por su efecto antioxidante, lo cual se ha relacionado con efectos benéficos contra la obesidad y su asociación con el estrés oxidativo (Mayasankaravalli *et al.*, 2020).

Con respecto a lo anterior, los compuestos fenólicos más abundantes en cáscaras de frutas son los flavonoides (Suleria *et al.*, 2020). Nuestro estudio

reportó un aumento en el contenido de flavonoides en galletas F15, sin embargo, la F10 no tuvo diferencia significativa en comparación con el control. Por otro lado, Bakar *et al.* (2022) han reportado que la incorporación del 10% de cáscara de camote en galletas con aumentó el contenido de flavonoides de 8.16 mg ECAT/100 g (control) a 30.66 mg ECAT/100 g. De manera semejante sucedió con galletas con cáscara de camote morado donde el valor más alto fue de 42.9 mg ECAT/100 g (incorporación al 10%) . De acuerdo con la literatura, la variación en nuestros resultados fue afectados por diversas situaciones, entre ellas, secado de la cáscara, interacción con otros ingredientes, a su vez el tiempo y temperatura del horneado (Suleria *et al.*, 2020). Esto ha sido evidenciado por Patrón-Vázquez *et al.* (2019), donde el contenido de compuestos fenólicos en cáscara de limón (*Citrus limon*) disminuyó conforme aumentó la temperatura de secado. De manera semejante, sucedió en una tisana adicionada con fruto de membrillo, donde se evaluó efectos del calentamiento (durante 20, 40 y 60 min), observándose que el tratamiento térmico afectó las propiedades nutricionales, ya que a medida que aumentó el tiempo hubo una disminución de los compuestos fenólicos (Maghsoudlou *et al.*, 2019).

11.6 Capacidad antioxidante

Dentro de los métodos para evaluar la capacidad antioxidantes, los más utilizados son DPPH, ABTS y FRAP. Cada uno presenta diferente mecanismo de reacción, de tal manera, que en este estudio se pudo apreciar que hubo una variabilidad de los resultados por los métodos DPPH y ABTS con relación al contenido de cáscara de pitahaya, sin embargo, mediante la técnica de FRAP si fue posible observar un comportamiento directamente proporcional entre la capacidad antioxidante y la incorporación del subproducto en las galletas. El ensayo DPPH se usa ampliamente para determinar la actividad de eliminación de radicales libres asociada principalmente con los fenoles totales (Yang *et al.*, 2020). Los resultados obtenidos de DPPH en nuestro estudio concuerdan con en la investigación de Mahloko *et al.* (2019), donde observaron que la

incorporación de 27% de cáscara de plátano y 3% de *Cyperus esculentus*, disminuyó significativamente de 78.82% (Control) a 77.92%. La inhibición de DPPH para materiales vegetales generalmente ocurre de manera proporcional al contenido de fenoles totales y flavonoides. Sin embargo, no fue el caso en este estudio, debido a la presencia de parámetros e influencia del solvente de extracción en los compuestos endógenos, ya que pueden afectar en la actividad de los resultados obtenidos con el reactivo DPPH (Alothman *et al.*, 2009; González-Montelongo *et al.*, 2010). La prueba ABTS es otro método ampliamente utilizado para determinar la capacidad de eliminar compuestos fenólicos en función a la donación de átomos de hidrógeno de los compuestos fenólicos. Los radicales libres ABTS liberados se midieron mediante análisis colorimétrico, en el que los antioxidantes de la muestra redujeron la cantidad de ABTS y formaron un radical libre estable (Yang *et al.*, 2020). La galleta F10 reportó los niveles más altos por el método de ABTS, lo cual es similar a lo reportado por Bourekoua *et al.* (2018), observaron una tendencia similar, el aumento de la incorporación de harina de semillas de granada, incrementaba el contenido de fenoles totales. Por otro lado, en el ensayo de ABTS, la muestra control reportó valores más altos (9.95 mg ET/100 g) que las muestra con incorporación al 2.5% (6.22 mg ET/100 g). A su vez, al incrementar la incorporación al 5 y 7.5%, la capacidad antioxidante disminuyó significativamente (5.99 y 5.16 mg ET/100 g, respectivamente). Lo anterior ha sido explicado por diversos autores, donde se concluye que el contenido de compuestos fenólicos puede generar un efecto prooxidante, ocasionando una disminución en la capacidad antioxidante para las técnicas de ABTS y DPPH. (Terpinc *et al.*, 2012; Jakobek, 2015). El ensayo FRAP evalúa la capacidad de las muestras de donar electrones para reducir un complejo de hierro ferrico (Fe^{+3}) a un complejo azul en forma ferrosa (Fe^{+2}) (Yang *et al.*, 2020). Las galletas con cáscara de pitahaya mostraron actividades más altas para este ensayo. Un comportamiento similar fue reportado por Ramashia *et al.* (2021), donde los resultados de FRAP oscilaron entre 142 y 162 mg ET/100 g en galletas 5 y 20% de cáscara de *Parinari curatellifolia* respectivamente. El valor más bajo lo obtuvo la muestra control

(108.33 mg ET/100 g). El incremento de los valores en el ensayo de FRAP pueden explicarse debido a la generación del compuesto de la reacción de Maillard, ya que los compuestos fenólicos poseen la característica de una capacidad quelante de metales (Manzocco *et al.*, 2000). Es decir, un proceso térmico en un producto alimentario favorece a la producción de pigmentos, la cual se caracteriza por una actividad antioxidante (Mahloko *et al.*, 2019).

11.7 Bioaccesibilidad

La bioactividad se relaciona con la bioaccesibilidad y la biodisponibilidad de las moléculas ingeridas. De tal manera que la ingesta compuestos fenólicos no necesariamente está relacionada con su bioactividad. Por lo tanto, el análisis de simulación gastrointestinal es una herramienta eficaz para evaluar los esfuerzos realizados para aumentar el contenido de compuestos fenólicos en los alimentos (Charis Galanakis, 2022). Nuestro estudio muestra que los tres galletas (GC, F10 y F15) tuvieron mayor interacción en la fase gástrica a excepción de la galleta F15, sin embargo, la galleta control mantuvo esta interacción hasta finalizar la fase intestinal.

Diversos artículos mencionan variaciones de la bioaccesibilidad en sus productos alimenticios, por ejemplo, Cedola *et al.* (2019), informaron que enriquecer el pan con 10% de pasta de aceitunas secas aumentó la bioaccesibilidad de fenoles totales, específicamente en la fase de digestión gástrica. Este mismo grupo de investigación, pero en otro estudio analizaron la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos en la formulación de pasta tipo “taralli” con extracto de hoja de olivo, como sustituto del vino blanco, en donde el contenido de fenoles, flavonoides y la capacidad antioxidante de los “taralli” se incrementaron después de la digestión gástrica en comparación con el control. También estudiaron el comportamiento de tres compuestos fenólicos más abundantes presentes en los extractos de hoja de olivo, donde se concluye que la oleuropeína era ligeramente resistente a la digestión gástrica, mientras que el

hidroxitirosol y el verbascósido eran sensibles a este proceso (Cedola *et al.*, 2020). En cambio, estudios como el de Lafarga *et al.* (2019), aplicaron una digestión gastrointestinal *in vitro* en panes a base de harina de trigo y con harina de tallos (3g) y harina de hojas (3g) de brócoli para estudiar la estabilidad de los compuestos fenólicos. En cuanto al pan con tallos de brócoli, el contenido de fenoles totales aumentó 66% al finalizar la fase gástrica (188.50 mg EAG100 g⁻¹) y el 164% después de la fase intestinal (494.98 mg EAG 100 g⁻¹). Por otro lado, el pan con hojas de brócoli aumento 106% en la fase gástrica (383.34 mg EAG 100 g⁻¹) y hasta un 164% al terminar la fase intestinal (501.86 mg EAG 100 g⁻¹). A su vez, Colantuono *et al.* (2018), reportaron la bioaccesibilidad de fenoles totales en pan enriquecido con harina de tallo de alcachofa en tres concentraciones diferentes. Descubrieron que el nivel de fenoles liberados del pan enriquecido se correlacionaba con la concentración de harina de tallo de alcachofa utilizado en la receta del pan. Todos los tratamientos liberaron la mayor cantidad de compuestos fenólicos en la fase intestinal. La literatura reporta que variaciones en la estabilidad y comportamiento de los compuestos fenólicos han sido explicadas por diferentes estudios, por ejemplo, Bouayed *et al.* (2011), mencionan mayoría de los compuestos fenólicos parecen liberarse en la fase gástrica, esto puede explicarse debido a la digestión con pepsina, combinada con el movimiento peristáltico y un pH de 3, da como resultado muestras trituradas con tamaños de partículas aún más pequeños. Además, un pH bajo favorece la presencia de fenoles en forma no disociada, lo que puede facilitar la transferencia/difusión desde la matriz a la fase acuosa debido a interacciones iónicas reducidas. A su vez, existe efecto en la bioaccesibilidad debido a concentraciones e interacciones de matrices alimentarias. Ya que matriz alimentaria afecta la liberación de nutrientes y la forma en que llegan a sus lugares de destino, esto sucede debido al mecanismo de descomposición, el cual varía entre los alimentos. La bioaccesibilidad, a su vez, está influenciada por las condiciones fisiológicas del sistema digestivo (como fuerzas mecánicas, pH, temperatura y enzimas) y por las propiedades de los alimentos (como composición, cantidad, textura, estructura y viscosidad) (Bohn, 2014).

XII. CONCLUSIONES

El presente estudio se enfocó en evaluar las características fisicoquímicas, compuestos bioactivos y la bioaccesibilidad de compuestos fenólicos en galletas adicionadas con cáscara de pitahaya. Así mismo, se contribuye en la generación de conocimiento para el aprovechamiento de subproductos y continuar con las investigaciones orientadas en el área de la nutrición y de alimentos funcionales. De esta manera, se concluye que:

- La incorporación de 10% de cáscara de pitahaya en la galleta no afectó las características sensoriales en comparación con la galleta control.
- La incorporación de cáscara de pitahaya en las galletas incrementó el contenido de fibra dietaria, favoreciendo el aumento de la humedad y disminuyendo la cantidad de grasa total.
- Se aumentó de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante por el método de FRAP aumentó conforme se incrementó el porcentaje de adición de cáscara de pitahaya.
- La bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos aumentó en la fase intestinal del proceso digestivo *in vitro*.

XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J., Quintino, I., Pascoal, G., Postinger, B., Cadena, R., & Teodoro, A. (2019). Antioxidant capacity, phenolic compound content and sensory properties of cookies produced from organic grape peel (*Vitis labrusca*) flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(4), 1215–1224. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14100>
- Ajila, C. M., Leelavathi, K., & Prasada Rao, U. J. S. (2008). Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder. *Journal of Cereal Science*, 48(2), 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.10.001>
- Akter, S., Addepalli, R., Netzel, M., Tinggi, U., Fletcher, M., Sultanbawa, Y., & Osborne, S. (2022). *In vitro* Bioaccessibility and Intestinal Absorption of Selected Bioactive Compounds in *Terminalia ferdinandiana*. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.818195>
- Al-Saab, A. H., & Gadallah, M. G. E. (2021). Phytochemicals, antioxidant activity and quality properties of fibre enriched cookies incorporated with orange peel powder. *Food Research*, 5(4), 72–79. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(4\).698](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(4).698)
- Alali, M., Alqubaisy, M., Aljaafari, M. N., AlAli, A. O., Baqais, L., Molouki, A., Abushelaibi, A., Lai, K.-S., & Lim, S.-H. E. (2021). Nutraceuticals: Transformation of Conventional Foods into Health Promoters/Disease Preventers and Safety Considerations. *Molecules*, 26(9), 2540. <https://doi.org/10.3390/molecules26092540>
- Albenzio, M., Santillo, A., Caroprese, M., & Marino, R. (2017). Bioactive Peptides in Animal Food Products. *Foods*, 6(5), 35. <https://doi.org/10.3390/foods6050035>
- Alothman, M., Bhat, R., & Karim, A. A. (2009). Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents. *Food Chemistry*, 115(3), 785–788. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.005>
- AOAC. (2020). *Official Methods of Analysis, 22nd Edition (2023)*. AOAC INTERNATIONAL. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>

- Ariffin, A., Bakar, J., Tan, C., Rahman, R., Karim, R., & Loi, C. (2009). Essential fatty acids of pitaya (dragon fruit) seed oil. *Food Chemistry*, 114(2), 561–564. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.108>
- Aronson, J. K. (2016). Defining “nutraceuticals”: neither nutritious nor pharmaceutical. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 83(1), 8–19. <https://doi.org/10.1111/bcp.12935>
- Bakar, M. F. A., Ranneh, Y., & Kamil, N. F. M. (2022). Development of high fiber rich antioxidant biscuits from purple and orange sweet potato peels. *Food Research*, 6(1), 12–19. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(1\).036](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(1).036)
- Bala, A., Gul, K., & Riar, C. s. (2015). Functional and sensory properties of cookies prepared from wheat flour supplemented with cassava and water chestnut flour. *Coagent Food & Agriculture*, 1(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1019815>
- Bernhoft, A. (2010). A brief review on bioactive compounds in plants. In *Bioactive Compounds in Plants – Benefits and Risks for Man and Animals*; The Norwegian Academy of Science and Letters, 50, 11-17.
- Bertagnolli, S. M. M., Silveira, M. L. R., Fogaça, A. de O., Umann, L., & Penna, N. G. (2014a). Bioactive compounds and acceptance of cookies made with Guava peel flour. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(2), 303–308. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0046>
- Bhardwaj, K., Najda, A., Sharma, R., Nurzyńska-Wierdak, R., Dhanjal, D. S., Sharma, R., Manickam, S., Kabra, A., Kuča, K., & Bhardwaj, P. (2022). Fruit and Vegetable Peel-Enriched Functional Foods: Potential Avenues and Health Perspectives. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2022, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2022/8543881>
- Bohn, T. (2014). Dietary factors affecting polyphenol bioavailability. *Nutrition Reviews*, 72(7), 429–452. <https://doi.org/10.1111/nure.12114>
- Bouayed, J., Hoffmann, L., & Bohn, T. (2011). Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake. *Food Chemistry*, 128(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.052>

- Bourekoua, H., Różyło, R., Gawlik-Dziki, U., Benatallah, L., Zidoune, M. N., & Dziki, D. (2018). Pomegranate seed powder as a functional component of gluten-free bread (Physical, sensorial and antioxidant evaluation). *International Journal of Food Science & Technology*, 53(8), 1906–1913. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13777>
- Brum, J., Ramsey, D., McRorie, J., Bauer, B., & Kopecky, S. L. (2018). Meta-Analysis of Usefulness of Psyllium Fiber as Adjuvant Antilipid Therapy to Enhance Cholesterol Lowering Efficacy of Statins. *The American Journal of Cardiology*, 122(7), 1169–1174. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2018.06.040>
- Câmara, J. S., Albuquerque, B. R., Aguiar, J., Corrêa, R. C. G., Gonçalves, J. L., Granato, D., Pereira, J. A. M., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Food Bioactive Compounds and Emerging Techniques for Their Extraction: Polyphenols as a Case Study. *Foods*, 10(1), 37. <https://doi.org/10.3390/foods10010037>
- Can-Cauich, C. A., Sauri-Duch, E., Betancur-Ancona, D., Chel-Guerrero, L., González-Aguilar, G. A., Cuevas-Glory, L. F., Pérez-Pacheco, E., & Moo-Huchin, V. M. (2017). Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 37, 501–506. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.08.028>
- Cedola, A., Palermo, C., Centonze, D., Del Nobile, M. A., & Conte, A. (2020). Characterization and Bio-Accessibility Evaluation of Olive Leaf Extract-Enriched “Taralli.” *Foods*, 9(9), 1268. <https://doi.org/10.3390/foods9091268>
- Chaouch, M. A., & Benvenuti, S. (2020). The Role of Fruit By-Products as Bioactive Compounds for Intestinal Health. *Foods*, 9(11), 1716. <https://doi.org/10.3390/foods9111716>
- Cheok, C. Y., Mohd Adzahan, N., Abdul Rahman, R., Zainal Abedin, N. H., Hussain, N., Sulaiman, R., & Chong, G. H. (2016). Current trends of tropical fruit waste utilization. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–27. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1176009>
- Chia, S. L., & Chong, G. H. (2015). Effect of Drum Drying on Physico-chemical Characteristics of Dragon Fruit Peel (*Hylocereus polyrhizus*). *International*

- Journal of Food Engineering*, 11(2), 285–293. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2014-0198>
- Cilla, A., Bosch, L., Barberá, R., & Alegría, A. (2018). Effect of processing on the bioaccessibility of bioactive compounds – A review focusing on carotenoids, minerals, ascorbic acid, tocopherols and polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis*, 68, 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.01.009>
- Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Matallana-González, M. C., & Morales, P. (2019). Dietary fiber sources and human benefits: The case study of cereal and pseudocereals. *Advances in Food and Nutrition Research*, 83–134. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.002>
- Colantuono, A., Ferracane, R., & Vitaglione, P. (2018). Potential bioaccessibility and functionality of polyphenols and cynaropicrin from breads enriched with artichoke stem. *Food Chemistry*, 245, 838–844. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.099>
- Coronado H, M., Vega y León, S., Gutiérrez T, R., Vázquez F, M., & Radilla V, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2), 206–212. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182015000200014>
- de Almeida, S. S., da Costa, G. B. M., Barreto, M. S., Freire, D. M. G., Lobo, L. A., Domingues, R. M. C. P., Moura-Nunes, N., Monteiro, M., & Perrone, D. (2020). Bioaccessibility and gut metabolism of phenolic compounds of breads added with green coffee infusion and enzymatically bioprocessed. *Food Chemistry*, 333, 127473. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127473>
- de Freitas Junior, L. M., & de Almeida, E. B. (2017). Medicinal plants for the treatment of obesity: ethnopharmacological approach and chemical and biological studies. *American Journal of Translational Research*, 9(5), 2050–2064. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5446492/>
- de la Rosa, L. A., Moreno-Escamilla, J. O., Rodrigo-García, J., & Alvarez-Parrilla, E. (2019). Phenolic Compounds. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 253–271. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813278-4.00012-9>
- Durazzo, A., Lucarini, M., & Santini, A. (2020). Nutraceuticals in Human Health. *Foods*, 9(3), 370. <https://doi.org/10.3390/foods9030370>
- Egbuna, C., & Tupas, G. D.

- (2020). *Functional Foods and Nutraceuticals: Bioactive Components, Formulations and Innovations (1st Edition)*. [EPub], Switzerland: Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42319-3>
- El Sheikha, A. F. (2021). Food authentication: Introduction, techniques, and prospects. *Food Authentication and Traceability*, 29, 1–34. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821104-5.00006-4>
- Elhassaneen, Y. (2016). Improvement of Bioactive Compounds Content and Antioxidant Properties in Crackers with the Incorporation of Prickly Pear and Potato Peels Powder. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 5(1), 53. <https://doi.org/10.11648/j.ijnfs.20160501.18>
- Environment, U. (2021). *UNEP Food Waste Index Report 2021*. UNEP - UN Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>
- Eshak, N. S. (2016b). Sensory evaluation and nutritional value of balady flat bread supplemented with banana peels as a natural source of dietary fiber. *Annals of Agricultural Sciences*, 61(2), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2016.07.002>
- Eskicioglu, V., Kamiloglu, S., & Nilufer-Erdil, D. (2016). Antioxidant dietary fibres: Potential functional food ingredients from plant processing by-products. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(No. 6), 487–499. <https://doi.org/10.17221/42/2015-cjfs>
- Faridah, A., Holinesti, R., Azhar, M., Cahyani, N., & Syukri, D. (2020). The Optimization of Recipe on the Production of Natural Jam from the Peel of Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*). *Pakistan Journal of Nutrition*, 19(4), 212–216. <https://scialert.net/fulltext/?doi=pjn.2020.212.216>
- Friedman, M. (2015). Acrylamide: inhibition of formation in processed food and mitigation of toxicity in cells, animals, and humans. *Food & Function*, 6(6), 1752–1772. <https://doi.org/10.1039/c5fo00320b>
- Galanakis, C. M. (2021). *Nutraceutical and Functional Food Components*. [EPub]. Academic Press.

- González-Montelongo, R., Lobo, M. G., & González, M. (2010). The effect of extraction temperature, time and number of steps on the antioxidant capacity of methanolic banana peel extracts. *Separation and Purification Technology*, 71(3), 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2009.12.022>
- Guiné, R. P. F. (2022). Textural Properties of Bakery Products: A Review of Instrumental and Sensory Evaluation Studies. *Applied Sciences*, 12(17), 8628. <https://doi.org/10.3390/app12178628>
- Gulati, O. P., Ottaway, P. B., Jennings, S., Coppens, P., & Gulati, N. (2019). Botanical nutraceuticals (food supplements and fortified and functional foods) and novel foods in the EU, with a focus on legislative controls on safety aspects. *Nutraceutical and Functional Food Regulations in the United States and around the World*, 277–321. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816467-9.00020-4>
- Hassan, M., & Ali, H. (2014). *Physico-Chemical Properties and Sensory Evaluation of Toast Bread Fortified with Different Levels of White Grapefruit (Citrus paradise L.) Albedo Layer Flour*. *World Journal of Dairy & Food Sciences*; <https://doi.org/15829/idosi.wjdfs.2014.9.2.1140>
- Heo, Y., Kim, M., Lee, J., & Moon, B. (2019). Muffins enriched with dietary fiber from kimchi by-product: baking properties, physical–chemical properties, and consumer acceptance. *Food Science & Nutrition*, 7(5), 1778–1785. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1020>
- Hervik, A. K., & Svihus, B. (2019). The Role of Fiber in Energy Balance. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2019, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2019/4983657>
- Ho, L.-H., & Abdul Latif, N. W. binti. (2016). Nutritional composition, physical properties, and sensory evaluation of cookies prepared from wheat flour and pitaya (*Hylocereus undatus*) peel flour blends. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1136369>
- Hoon Ho, L., Latif, A., & Yildiz, F. (2016). Nutritional composition, physical properties and sensory evaluation of cookies prepared from wheat flour and pitaya (*Hylocereus undatus*) peel flour blends. *Cogent Food and Agriculture*, 2(1): 1136369. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1136369>

- Hoppu, U., Puputti, S., Aisala, H., Laaksonen, O., & Sandell, M. (2018). Individual Differences in the Perception of Color Solutions. *Foods*, 7(9), 154. <https://doi.org/10.3390/foods7090154>
- J Rajesh Banu, Gopalakrishnan Kumar, M Gunaskaran, & S Kavitha. (2020). *Food waste to valuable resources: applications and management*. [EPub] Academic Press.
- Jakobek, L. (2015). Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chemistry*, 175, 556–567. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.013>
- Jeronimo Michelle, C., Orsine Joice, V., & C.G. Novaes, M. R. (2017). Nutritional pharmacological and toxicological characteristics of pitaya (*Hylocereus undatus*): A review of the literature. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 11(27): 300-304. <https://doi.org/10.5897/AJPP2016.4582>
- Jose, M., Himashree, P., Sengar, A. S., & Sunil, C. K. (2022). Valorization of food industry by-product (Pineapple *Pomace*): A study to evaluate its effect on physicochemical and textural properties of developed cookies. *Measurement: Food*, 6, 100031. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2022.100031>
- Joshi, M., & Prabhakar, B. (2020). Phytoconstituents and pharmaco-therapeutic benefits of pitaya: A wonder fruit. *Journal of Food Biochemistry*, 44(7). <https://doi.org/10.1111/jfbc.13260>
- Khoo, H. E., He, X., Tang, Y., Li, Z., Li, C., Zeng, Y., Tang, J., & Sun, J. (2022). Betacyanins and Anthocyanins in Pulp and Peel of Red Pitaya (*Hylocereus polyrhizus* cv. Jindu), Inhibition of Oxidative Stress, Lipid Reducing, and Cytotoxic Effects. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.894438>
- Kim, E. K., Oh, T. J., Kim, L.-K., & Cho, Y. M. (2016). Improving Effect of the Acute Administration of Dietary Fiber-Enriched Cereals on Blood Glucose Levels and Gut Hormone Secretion. *Journal of Korean Medical Science*, 31(2), 222. <https://doi.org/10.3346/jkms.2016.31.2.222>
- Kohajdová, V., Karovičová, J., & Lauková, M. (2018). Physical, Textural and Sensory Properties of Cookies Incorporated with Grape Skin and Seed Preparations. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68(4), 309–317. <https://doi.org/10.2478/pjfn-2018-0004>

- Ktenioudaki, A., & Gallagher, E. (2012). Recent advances in the development of high-fibre baked products. *Trends in Food Science & Technology*, 28(1), 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.004>
- Lafarga, T., Gallagher, E., Bademunt, A., Viñas, I., Bobo, G., Villaró, S., & Aguiló-Aguayo, I. (2019). Bioaccessibility, physicochemical, sensorial, and nutritional characteristics of bread containing broccoli co-products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(2), e13861. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13861>
- Liaotrakoon, W. (2013). *Characterization of dragon fruit (Hylocereus spp.) components with valorization potential*. [Thesis]. https://www.researchgate.net/publication/292787024_Characterization_of_dragon_fruit_Hylocereus_spp_components_with_valorization_potential
- Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2018). *In vitro* digestion models suitable for foods: Opportunities for new fields of application and challenges. *Food Research International*, 107, 423–436. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.055>
- Madane, P., Das, A. K., Nanda, P. K., Bandyopadhyay, S., Jagtap, P., Shewalkar, A., & Maity, B. (2019). Dragon fruit (*Hylocereus undatus*) peel as antioxidant dietary fibre on quality and lipid oxidation of chicken nuggets. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1449–1461. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04180-z>
- Maghsoudlou, Y., Asghari Ghajari, M., & Tavasoli, S. (2019). Effects of heat treatment on the phenolic compounds and antioxidant capacity of quince fruit and its tisane's sensory properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(5), 2365–2372. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03644-6>
- Mahloko, L. M., Silungwe, H., Mashau, M. E., & Kgatla, T. E. (2019). Bioactive compounds, antioxidant activity and physical characteristics of wheat-prickly pear and banana biscuits. *Heliyon*, 5(10), e02479. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02479>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>

- Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M. C., & Lerici, C. R. (2000). Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9-10), 340–346. [https://doi.org/10.1016/s0924-2244\(01\)00014-0](https://doi.org/10.1016/s0924-2244(01)00014-0)
- Márquez Fernández, P. M., & Márquez Fernández, D. M. (2019). Functional foods: current issues and trends. *Revista Vitae*, 26(1), 6–7. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.v26n1a01>
- Mayasankaravalli, C., Deepika, K., Esther Lydia, D., Agada, R., Thagriki, D., Govindasamy, C., Chinnadurai, V., Othman Gatar, O. M., Khusro, A., Kim, Y. O., & Kim, H.-J. (2020). Profiling the phyto-constituents of Punica granatum fruits peel extract and accessing its *in-vitro* antioxidant, anti-diabetic, anti-obesity, and angiotensin-converting enzyme inhibitory properties. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), 3228–3234. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.09.046>
- Meca, G., Jordi Mañes, Font, G., & Ruiz, M.-J. (2012). Study of the potential toxicity of commercial crispy breads by evaluation of bioaccessibility and bioavailability of minor *Fusarium* mycotoxins. *Industrial Biological Research Association*, 50: 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.10.055>
- Mercado-Silva, E. M. (2018). Pitaya— *Hylocereus undatus* (Haw). *Exotic Fruits*, 2, 339–349. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803138-4.00045-9>
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., Macierzanka, A., Mackie, A., & Marze, S. (2014). A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food – an international consensus. *Food Funct.*, 5(6), 1113–1124. <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>
- Mohammad Aleem Zaker, Arvind Raghunathrao Sawate, Bhanudas Patil, & Surendra Kishanrao Sadawarte. (2016). Studies on Effect of Orange Peel Powder Incorporation on Physical, Nutritional and Sensorial Quality of Cookies. *International Journal of Engineering Research And*, V5(09). <https://doi.org/10.17577/ijertv5is090125>

- Mohammadi-Moghaddam, T., & Firoozzare, A. (2021). Investigating the effect of sensory properties of black plum peel marmalade on consumers acceptance by Discriminant Analysis. *Food Chemistry: X*, 11, 100126. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100126>
- Mondal, S., Soumya, N. P. P., Mini, S., & Sivan, S. K. (2021). Bioactive compounds in functional food and their role as therapeutics. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 4(3), 24. <https://doi.org/10.31989/bchd.v4i3.786>
- Montesinos, J. A., Rodríguez-Larramendi, L., Rodobaldo Ortiz-Pérez, de, M., Giovanni Ruíz Herrera, & Guevara-Hernández, F. (2015). PITAHAYA (*Hylocereus* spp.) UN RECURSO FITOGENÉTICO CON HISTORIA Y FUTURO PARA EL TRÓPICO SECO MEXICANO. *Cultivos Tropicales*, 36, 67–76. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193243640007>
- Moreda-Piñeiro, J., Alonso-Rodríguez, E., Romarís-Hortas, V., Moreda-Piñeiro, A., López-Mahía, P., Muniategui-Lorenzo, S., Prada-Rodríguez, D., & Bermejo-Barrera, P. (2012). Assessment of the bioavailability of toxic and non-toxic arsenic species in seafood samples. *Food Chemistry*, 130(3), 552–560. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.071>
- Naknaen, P., Itthisoponkul, T., Sondee, A., & Angsombat, N. (2016). Utilization of watermelon rind waste as a potential source of dietary fiber to improve health promoting properties and reduce glycemic index for cookie making. *Food Science and Biotechnology*, 25(2), 415–424. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0057-z>
- Nakov, G., Brandolini, A., Hidalgo, A., Ivanova, N., Jukić, M., Komlenić, D. K., & Lukinac, J. (2020). Influence of apple peel powder addition on the physico-chemical characteristics and nutritional quality of bread wheat cookies. *Food Science and Technology International*, 26(7), 574–582. <https://doi.org/10.1177/1082013220917282>
- Nasri, H., Baradaran, A., Shirzad, H., & Rafieian-Kopaei, M. (2014). New concepts in nutraceuticals as alternative for pharmaceuticals. *International Journal of Preventive Medicine*, 5(12), 1487–1499. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4336979/>

- Nassar, A., & El-Naggar, E. (2008). Effect of Citrus By-Products Flour Incorporation on Chemical, Rheological and Organoleptic Characteristics of Biscuits. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(5), 612–616. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=02d370d799c5e2505d7d59d2a8419b2d8df405f2>
- Ochoa-Velasco, C. E., García-Vidal, V., Luna-Guevara, J. J., Luna-Guevara, M. L., Hernández-Carranza, P., & Guerrero-Beltrán, J. Á. (2012). Antioxidant, physicochemical and microbiological characteristics of fermented and unfermented drink of three varieties of dragon fruits (*Hylocereus* spp). *Scientia Agropecuaria*, 3(4), 279–289. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2012.04.02>
- Olaitan, N., & Eke, M. (2017). *Effect of Watermelon (Citrullus lanatus) Rind Flour Supplementation on the Quality of Wheat Based Cookies*. <https://doi.org/10.9790/1813-0612013844>
- Palak, T., Ranu, P., & Verma, A. (2019). Sensory Analysis of Pomegranate Peel Powder in the Development of Value-Added Food Products. *International Journal of Science and Research*, 2319-7064. <https://doi.org/10.21275/SR201106190108>
- Parafati, L., Restuccia, C., Palmeri, R., Fallico, B., & Arena, E. (2020). Characterization of Prickly Pear Peel Flour as a Bioactive and Functional Ingredient in Bread Preparation. *Foods*, 9(9), 1189. <https://doi.org/10.3390/foods9091189>
- Patrón-Vázquez, J., Baas-Dzul, L., Medina-Torres, N., Ayora-Talavera, T., Sánchez-Contreras, Á., García-Cruz, U., & Pacheco, N. (2019). The Effect of Drying Temperature on the Phenolic Content and Functional Behavior of Flours Obtained from Lemon Wastes. *Agronomy*, 9(9), 474. <https://doi.org/10.3390/agronomy9090474>
- Peña-Vázquez, G. I., Dominguez-Fernández, M. T., Camacho-Zamora, B. D., Hernandez-Salazar, M., Urías-Orona, V., De Peña, M.-P., & de la Garza, A. L. (2022). *In vitro* simulated gastrointestinal digestion impacts bioaccessibility and bioactivity of sweet orange (*Citrus sinensis*) phenolic compounds. *Journal of Functional Foods*, 88, 104891. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104891>

- Pereira, D., Correia, P. M. R., & Guiné, R. P. F. (2013). Analysis of the physical-chemical and sensorial properties of Maria type cookies. *Acta Chimica Slovaca*, 6(2), 269–280. <https://doi.org/10.2478/acs-2013-0040>
- Peressini, D., & Sensidoni, A. (2009). Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.09.007>
- Perry, J. M., Swanson, R., Lyon, B. G., & Savage, E. M. (2003). Instrumental and Sensory Assessment of Oatmeal and Chocolate Chip Cookies Modified with Sugar and Fat Replacers. *Cereal Chemistry*, 80(1). <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2003.80.1.45>
- Pešić, M. B., Milinčić, D. D., Kostić, A. Ž., Stanisavljević, N. S., Vukotić, G. N., Kojić, M. O., Gašić, U. M., Barać, M. B., Stanojević, S. P., Popović, D. A., Banjac, N. R., & Tešić, Ž. Lj. (2019). *In vitro* digestion of meat- and cereal-based food matrix enriched with grape extracts: How are polyphenol composition, bioaccessibility and antioxidant activity affected? *Food Chemistry*, 284, 28–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.107>
- Purlis, E., & Salvadori, V. O. (2007). Bread browning kinetics during baking. *Journal of Food Engineering*, 80(4), 1107–1115. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.09.007>
- Ramashia, S. E., Mamadisa, F. M., & Mashau, M. E. (2021). Effect of Parinari curatellifolia Peel Flour on the Nutritional, Physical and Antioxidant Properties of Biscuits. *Processes*, 9(8), 1262. <https://doi.org/10.3390/pr9081262>
- Ramya, H. N., Anitha, S., & Ashwini, A. (2020). Nutritional and Sensory Evaluation of Jackfruit Rind Powder Incorporated with Cookies. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(11), 3305–3312. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.911.395>
- Rodríguez-Salinas, P. A., Urías-Orona, V., Muy-Rangel, D., Heredia, J. B., Suarez-Jacobo, A., Báez-González, J. G., Zavala-García, F., & Niño-Medina, G. (2021). Efecto de termosonicación y pasteurización sobre propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y nutraceuticas en bebidas de maíz. *Biotechnia*, 23(1), 92–101. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i1.1204>

- Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2021). Sensory Analysis and Consumer Research in New Product Development. *Foods*, 10(3), 582. <https://doi.org/10.3390/foods10030582>
- Sachdeva, V., Roy, A., & Bharadvaja, N. (2020). Current Prospects of Nutraceuticals: A Review. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 21(10), 884–896. <https://doi.org/10.2174/1389201021666200130113441>
- Saeed, W. T., & Mohaned, Z. E. M. (2017). Physicochemical and sensory characteristics of cookies amended with kiwi fruit powder. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 95(4), 1681–1694. <https://doi.org/10.21608/ejar.2017.151565>
- Sagar, N. A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E. M., & Lobo, M. G. (2018). Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512–531. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>
- Santarrosa, P. (2013). Evaluación nutricional comparativa de pitahaya (*Hylocereus triangularis*) deshidratada en deshidratador de bandejas con la liofilizada. *Uchile.cl*. [https://doi.org/Santarrosa%20Quiguir%C3%AD,%20Ver%C3%B3nica%20Paulina.%20\(2013\).%20Evaluaci%C3%B3n%20nutricional%20comparativa%20de%20pitahaya%20\(Hylocereus%20triangularis\)%20deshidratada%20en%20deshidratador%20de%20bandejas%20con%20la%20liofilizada.%20Escuela%20Superior%20Polit%C3%A9cnica%20de%20Chimborazo.%20Riobamba](https://doi.org/Santarrosa%20Quiguir%C3%AD,%20Ver%C3%B3nica%20Paulina.%20(2013).%20Evaluaci%C3%B3n%20nutricional%20comparativa%20de%20pitahaya%20(Hylocereus%20triangularis)%20deshidratada%20en%20deshidratador%20de%20bandejas%20con%20la%20liofilizada.%20Escuela%20Superior%20Polit%C3%A9cnica%20de%20Chimborazo.%20Riobamba).
- Santini, A., Tenore, G. C., & Novellino, E. (2017). Nutraceuticals: A paradigm of proactive medicine. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 96, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2016.09.003>
- Senadheera, S. P., & Abeysinghe, D. C. (2015). Bioactive Compounds and Total Antioxidant Capacity of Different Tissues of Two Pitaya (Dragon Fruit) Species Grown in Sri Lanka. *Journal of Food and Agriculture*, 8(1-2), 33. <https://doi.org/10.4038/jfa.v8i1-2.5196>
- Silva, E., Birkenhake, M., Scholten, E., Sagis, L. M. C., & van der Linden, E. (2013). Controlling rheology and structure of sweet potato starch noodles with high

- broccoli powder content by hydrocolloids. *Food Hydrocolloids*, 30(1), 42–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.002>
- Soliman, G. A. (2019). Dietary Fiber, Atherosclerosis, and cardiovascular disease. *Nutrients*, 11(5), 1155. <https://doi.org/10.3390/nu11051155>
- Spence, C. (2019). On the Relationship(s) Between Color and Taste/Flavor. *Experimental Psychology*, 66(2), 99–111. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000439>
- Sudha, M. L., Vetrmani, R., & Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100(4), 1365–1370. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.013>
- Suharoschi, R., Pop, O. L., Vlaic, R. A., Muresan, C. I., Muresan, C. C., Cozma, A., Sitar-Taut, A. V., Vulturar, R., Heghes, S. C., Fodor, A., & Iuga, C. A. (2019). Dietary Fiber and Metabolism. *Dietary Fiber: Properties, Recovery, and Applications*, 59–77. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816495-2.00003-4>
- Suleria, H. A. R., Barrow, C. J., & Dunshea, F. R. (2020). Screening and Characterization of Phenolic Compounds and Their Antioxidant Capacity in Different Fruit Peels. *Foods*, 9(9), 1206. <https://doi.org/10.3390/foods9091206>
- Terpinc, P., Čeh, B., Ulrih, N. P., & Abramovič, H. (2012). Studies of the correlation between antioxidant properties and the total phenolic content of different oil cake extracts. *Industrial Crops and Products*, 39, 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.023>
- Urganci, U., & Isik, F. (2021). Quality Characteristics of Biscuits Fortified with Pomegranate Peel. *Akademik Gıda*, 10–20. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.927462>
- Utpott, M., Ramos de Araujo, R., Galarza Vargas, C., Nunes Paiva, A. R., Tischer, B., de Oliveira Rios, A., & Hickmann Flôres, S. (2020). Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder as a fat replacer in ice cream. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14420>

- Verona-Ruiz, A., Urcia-Cerna, J., & Paucar-Menacho, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Culture, physicochemical characteristics, nutritional composition, and bioactive compounds. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439–453. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.16>
- Vilcanqui-Pérez, F., & Vílchez-Perales, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud: revisión. *Arch. Latinoam. Nutr*, 67(2), 146–156. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1022331>
- Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Maróstica Junior, M. R. (2019). Phenolic Compounds. *Bioactive Compounds*, 33–50. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814774-0.00002-5>
- Wanlapa, S., Wachirasiri, K., Sithisam-ang, D., & Suwannatup, T. (2011). Potential of Selected Tropical Fruit Peels as Dietary Fiber in Functional Foods. *International Journal of Food Properties*, 18(6), 1306–1316. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.535187>
- Wanlapa, S., Wachirasiri, K., Sithisam-ang, D., & Suwannatup, T. (2015). *Potential of Selected Tropical Fruit Peels as Dietary Fiber in Functional Foods*. International Journal of Food Properties; Taylor & Francis. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201500157063>
- Weng, M., Li, Y., Wu, L., Zheng, H., Lai, P., Tang, B., & Luo, X. (2021). Effects of passion fruit peel flour as a dietary fibre resource on biscuit quality. *Food Science and Technology*, 41(1), 65–73. <https://doi.org/10.1590/fst.33419>
- Yang, D., Dunshea, F. R., & Suleria, H. A. R. (2020). LC-ESI-QTOF/MS characterization of Australian herb and spices (garlic, ginger, and onion) and potential antioxidant activity. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(7). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14497>
- Yilmaz, E., & Karaman, E. (2017). Functional crackers: incorporation of the dietary fibers extracted from citrus seeds. *Journal of Food Science and Technology*, 54(10), 3208–3217. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2763-9>
- Younis, K., Rayees Ul Islam, Jahan, K., & Ray, A. (2015) Investigating the effect of mosambi (*Citrus limetta*) peel powder on physicochemical and sensory properties

- of cookies. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 8(3).
<https://doi.org/10.3920/QAS2015.0706>
- Zaker, M. A., Raghunathrao Sawate, A., Patil, B., & Kishanrao Sadawarte, S. (2016). Studies on Effect of Orange Peel Powder Incorporation on Physical, Nutritional and Sensorial Quality of Cookies. *International Journal of Engineering Research And*, V5(09). <https://doi.org/10.17577/ijertv5is090125>
- Zampedri, C., Zampedri, P., Scattolaro, O., Zapata, L., & Castagnini, M. (2018). Evaluación de la biodisponibilidad *in vitro* de compuestos bioactivos de arándanos. *Ciencia Docencia y Tecnología*, 29(57):285-295. <https://doi.org/10.33255/2957/320>
- Željko Mihaljev, Jakšić, S., Nadežda Prica, & Milica Živkov Baloš. (2015). Comparison of the Kjeldahl method, Duma's method and NIR method for total nitrogen determination in meat and meat products. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 21(4): 365-370
https://www.researchgate.net/publication/316081340_Comparison_of_the_Kjeldahl_method_Dumas_method_and_NIR_method_for_total_nitrogen_determination_in_meat_and_meat_products
- Zhang, B., Zhang, Y., Li, H., Deng, Z., & Tsao, R. (2020). A review on insoluble-bound phenolics in plant-based food matrix and their contribution to human health with future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 347–362. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.029>
- Zhang, H., Wen, H., Chen, J., Peng, Z., Shi, M., Chen, M., Yuan, Z., Liu, Y., Zhang, H., & Xu, J. (2019). Volatile Compounds in Fruit Peels as Novel Biomarkers for the Identification of Four Citrus Species. *Molecules*, 24(24), 4550. <https://doi.org/10.3390/molecules24244550>
- Zoulias, E. I., Piknis, S., & Oreopoulou, V. (2000). Effect of sugar replacement by polyols and acesulfame-K on properties of low-fat cookies. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(14), 2049–2056. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200011\)80:14%3C2049::aid-jsfa735%3E3.0.co;2-q](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200011)80:14%3C2049::aid-jsfa735%3E3.0.co;2-q)

XIV. ANEXOS

Anexo 1. Boleta de evaluación sensorial con escala hedónica.

Nombre: _____ Edad: _____ Fecha:

Indicaciones: A continuación, encontrará frente a usted diferentes galletas. Por favor indique el nivel de agrado en cuanto a los atributos de acuerdo con la siguiente escala:



Me desagradó mucho	Me desagradó	Indiferente	Me agradó	Me agradó mucho
1	2	3	4	5

¿Cuánto te agrada o desagrada las siguientes características en la galleta?

Galleta	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
F0					
F10					
F15					
F25					