



---

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA  
APLICADA Y TECNOLOGÍA AVANZADA

UNIDAD QUERÉTARO

POSGRADO EN TECNOLOGÍA AVANZADA

**Disminución del contenido de taninos en un  
subproducto de mango (*Mangífera indica L.*)  
aplicando extrusión**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
**MAESTRO EN TECNOLOGÍA AVANZADA**

PRESENTA

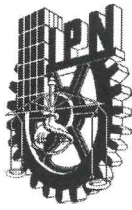
**L.B.T Alexa Ivanna González Orozco**

Directores de Tesis:

Dr. Eduardo Morales Sánchez  
Dra. Marcela Gaytán Martínez

Querétaro, Qro. Abril 2021





# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

## ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

Ciudad de México, a 8 de marzo del 2021

El Colegio de Profesores de Posgrado de **CICATA Unidad Querétaro** en su Sesión **ordinaria** No. **210305** celebrada el día **5** del mes **marzo** de **2021**, conoció la solicitud presentada por el alumno:

<b>Apellido Paterno:</b>	<b>González</b>	<b>Apellido Materno:</b>	<b>Orozco</b>	<b>Nombre (s):</b>	<b>Alexa Ivanna</b>
--------------------------	-----------------	--------------------------	---------------	--------------------	---------------------

Número de registro: 

A	1	9	0	7	6	3
---	---	---	---	---	---	---

del Programa Académico de Posgrado: 

Maestría en Tecnología Avanzada
---------------------------------

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Disminución del contenido de taninos en un subproducto de mango ( <i>Mangifera indica</i> L.) aplicando extrusión.
--

Objetivo general del trabajo de tesis:

Determinar las condiciones de extrusión para disminuir el contenido de taninos en un subproducto de mango.
--

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: 

Dr. Eduardo Morales Sánchez
-----------------------------

Director: 

Dra. Marcela Gaytán Martínez
------------------------------

No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

CICATA-Unidad Querétaro
-------------------------

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director de Tesis

2° Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
Dr. Eduardo Morales Sánchez

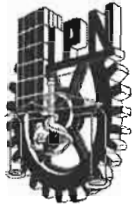
\_\_\_\_\_  
Dra. Marcela Gaytán Martínez

Aspirante

Presidente del Colegio

\_\_\_\_\_  
Alexa Ivanna González Orozco

\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Bautista Hurtado Ramos



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14  
REP 2017

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de  siendo las  horas del día  del mes de  del  se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de:  para examinar la tesis titulada:

Apellido Paterno:	González	Apellido Materno:	Orozco	Nombre (s):	Alexa Ivanna
-------------------	----------	-------------------	--------	-------------	--------------

Número de registro:

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 14 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI**   **NO SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

#### JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:

De acuerdo con el análisis realizado por la herramienta Turnitin se concluye que las palabras o frases que tienen mayor similitud es en el capítulo de materiales y métodos. Esto es entendible debido a que es una tesis en alimentos y las técnicas y métodos son comunes a la mayoría de las tesis, reportes y artículos del área de alimentos. Se considera que el 14% de similitud es un porcentaje mínimo por lo que no existe plagio.

**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

que cumple con los requisitos de no plagio y por ser un documento que cumple con los estándares de calidad tanto de forma como de fondo de una tesis de grado de maestría.

#### COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Director de Tesis  
Dr. Eduardo Morales Sánchez

Dr. Gonzalo Velázquez De La Cruz

Dra. María De la Luz Reyes Vega

Dr. Eva González Jasso

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
TECNOLOGÍA AVANZADA  
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES DE POSGRADO  
DIRECCIÓN

2° Director de Tesis  
Dra. Marcela Gaytán Martínez



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de México, D.F. el día 10 del mes de Marzo del año 2021, el (la) que suscribe Alexa Ivanna González Orozco alumno(a) del Programa de Maestría en Tecnología Avanzada, con número de registro A190763, adscrito(a) al CICATA-IPN unidad Querétaro, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) Dr. Eduardo Morales Sánchez y Dra. Marcela Gaytán Martínez y cede los derechos del trabajo titulado “Disminución del contenido de taninos en un subproducto de mango (*Mangifera indica L.*) aplicando extrusión”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones ivanna.112924@gmail.com, emoraless@ipn.mx y marcelagaytanm@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

L.B.T Alexa Ivanna González Orozco



## Dedicatorias

*A mis padres quienes son mi más grande apoyo, guía y  
amor en esta vida*

*A mi abuelita ☩ donde quiera que te encuentres sé que  
estás a mi lado*

*A mi hermano ☩ ejemplo de lucha sé que estarías  
orgulloso de mi*



## Agradecimientos

Al Dr. Eduardo Morales Sánchez y la Dra. Marcela Gaytán por permitirme ser parte del equipo, la orientación y el crecimiento durante el proyecto.

A la Dra. Eva González Jasso, al Dr. Gonzalo Velázquez de la Cruz y la Dra. María de la Luz Reyes Vega por su guía y conocimientos a lo largo del proyecto para mi formación como profesionista.

Al Instituto Politécnico Nacional y a la Unidad De Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Querétaro (CICATA-QRO) por ser el sitio de aprendizaje, investigación y formación durante mi estancia en la maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto.

A mis compañeros del laboratorio de fisicoquímica que estuvieron conmigo en los momentos complicados, pero también en los momentos felices en esta etapa.



*“No disfrutes de la meta, disfruta del camino”*





# Índice general

## Contenido

Índice general.....	5
Índice de Figuras.....	8
Índice de Tablas.....	9
Resumen.....	10
Abstract.....	11
1. Introducción.....	12
2. Antecedentes.....	14
2.1. Residuos agroindustriales.....	14
2.1.1. Problemática de los residuos agroindustriales.....	14
2.1.2. Valor de los residuos agroindustriales.....	15
2.1.3. Alternativa de aprovechamiento.....	16
2.1.4. Definición de subproducto.....	17
2.2. Mango.....	17
2.2.1. Origen del mango.....	17
2.2.2. Características fisicoquímicas del mango.....	18
2.2.3. Producción de mango en el mundo.....	20
2.2.4. Producción de mango a nivel nacional.....	21
2.2.5. Postcosecha y almacenamiento.....	22
2.2.6. Industrialización del mango.....	24
2.3. Subproductos de la agroindustria del mango.....	24
2.3.1. Bagazo.....	24
2.3.2. Hueso.....	25
2.3.3. Cáscara.....	26
2.5. Polifenoles.....	30
2.5.1. Polifenoles asociados con carbohidratos.....	31
2.5.2. Polifenoles extraíbles y no extraíbles.....	32
2.5.3. Taninos.....	32
2.5.3.1. Taninos hidrolizables.....	35
2.5.3.2. Taninos condensados.....	36





2.6. Extrusión .....	37
2.6.1. Extrusor de tornillo .....	38
2.6.2. Efecto de la extrusión en las propiedades físicas y químicas en los alimentos .....	39
2.6.3. Extruidos a partir de subproductos .....	41
3. Justificación .....	42
4. Hipótesis .....	43
5. Objetivo general .....	43
6. Objetivos específicos .....	43
7. Metodología .....	44
7.1. Materiales y equipo .....	44
7.1.1. Materiales .....	44
7.1.2. Equipo .....	44
7.2. Esquema general del proyecto .....	45
7.3. Materia prima .....	46
7.3.1. Elección del fruto .....	46
7.3.2. Obtención de cáscara .....	46
7.3.3. Deshidratado y pulverizado .....	46
7.4. Extrusión .....	47
7.4.1. Preparación de muestra para el extrusor .....	47
7.4.2. Procesamiento de la cáscara de mango usando extrusión .....	47
7.5. Caracterización nutracéutica .....	48
7.5.1. Extracto metanólico .....	48
7.5.2. Cuantificación de fenoles totales .....	48
7.5.3. Cuantificación de flavonoides .....	49
7.5.4. Cuantificación de taninos condensados .....	49
7.5.5. Capacidad antioxidante método DPPH .....	50
7.5.6. Capacidad antioxidante método ABTS .....	50
7.6. Caracterización fisicoquímica .....	51
7.6.1. Color de la cáscara de mango .....	51
7.6.2. Determinación del contenido de humedad .....	51
7.6.3. Determinación del contenido de proteína .....	52
Donde: .....	53
mL ácido= volumen de ácido utilizado en la titulación .....	53



N ácido= normalidad del ácido utilizado en la titulación .....	53
7.6.4. Determinación del contenido de grasa .....	53
7.6.5. Determinación del contenido de cenizas .....	54
7.6.6. Determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble .....	54
7.6.7. Determinación de carbohidratos .....	55
7.7. Evaluación sensorial .....	55
7.7.1. Prueba de preferencia .....	56
7.7.2. Prueba nivel de agrado.....	56
7.8. Análisis estadístico.....	57
8. Resultados y discusión.....	57
8.1. Rendimiento de los subproductos de mango .....	57
8.2. Caracterización compuestos fenólicos .....	58
8.3. Caracterización fisicoquímica.....	66
8.3.1. Composición proximal en la cáscara de mango antes y después de extrudir 66	
8.3.2. Determinación de color .....	69
8.4. Evaluación sensorial .....	70
9. Conclusiones.....	71
10. Bibliografía.....	71
Anexos .....	87
11.1. Anexo 1 .....	87
11.2. Anexo 2.....	88
<b>1.</b> .....	89
11.3. Anexo 3.....	89



## Índice de Figuras

Figura. 1 Composición de carbohidratos en cáscara de mango .....	13
Figura. 2 Componentes del mango .....	18
Figura. 3. Mango Ataulfo .....	22
Figura. 4 Interacción fibra dietética y compuestos fenólicos .....	31
Figura. 5. Síntesis de taninos hidrolizados .....	33
Figura. 6. Síntesis de taninos condensados.....	33
Figura. 7 Monómeros de taninos hidrolizados.....	36
Figura. 8 Monómeros de taninos condensados.....	37
Figura. 9 Extrusor y sus partes.....	38
Figura. 10 Efecto de la humedad y temperatura en el contenido de fenoles totales en cáscara de mango extrudida .....	60
Figura. 11 Efecto de la humedad y temperatura en el contenido de flavonoides en cáscara de mango extrudida .....	61
Figura. 12 Efecto de la humedad y temperatura en el contenido de taninos condensados en cáscara de mango extrudida .....	63
Figura. 13 Efecto de la humedad y temperatura en la capacidad antioxidante por el método ABTS en cáscara de mango extrudida .....	65
Figura. 14 Efecto de la humedad y temperatura en la capacidad antioxidante por el método DPPH en cáscara de mango extrudida .....	66



## Índice de Tablas

Tabla 1. Contenido nutricional en 100g de pulpa de mango .....	19
Tabla 2. Estados productores de mango en México .....	21
Tabla 3. Taninos hidrolizables en cáscara de mango .....	28
Tabla 4. Contenido de fibra dietética en 100g de cáscara de mango.....	29
Tabla 5. Contenido de taninos en los alimentos.....	34
Tabla 6. Efecto de la extrusión en los factores anti nutricionales.....	39
Tabla 7. Efecto de la extrusión en los subproductos .....	42
Tabla 8. Diseño experimental.....	48
Tabla 9. Formulación de bebidas de cáscara de mango.....	55
Tabla 10. Escala hedónica de 9 puntos .....	56
Tabla 11. Contenido de polifenoles en cáscara de mango antes y después de extrudir .....	58
Tabla 12. Contenido de capacidad antioxidante en cáscara de mango antes y después de extrudir.....	64
Tabla 13. Composición fisicoquímica en cáscara de mango antes y después de extrudir .....	68
Tabla 14. Medición de color en cáscara de mango antes y después de extrudir ..	70



## Resumen

La agroindustria del mango genera subproductos (cáscara, bagazo y hueso), los cuales contienen diversos compuestos bioactivos que pueden ser aprovechados. Entre los subproductos del mango la cáscara representa del 7 al 25 % del peso total de la fruta. La fibra dietética y los compuestos fenólicos son los principales componentes que destacan de este subproducto. Una clase de compuestos fenólicos presentes en la cáscara de mango son los taninos, conocidos por causar sensación de amargor y astringencia, estos compuestos han limitado la incorporación de cáscara de mango en los alimentos. Los taninos son compuestos termosensibles por lo que la extrusión puede ser una opción para disminuir su contenido y aprovechar la cáscara. La extrusión es un proceso donde el alimento es sometido a temperatura alta en un periodo corto de tiempo. El objetivo del proyecto fue evaluar el efecto de la extrusión sobre el contenido de taninos presentes en la cáscara de mango. Las variables analizadas fueron: humedad (40 y 60 %) y temperatura (90 y 110 °C) de proceso. Se evaluó el contenido de fenoles totales, flavonoides, taninos condensados y capacidad antioxidante. Los resultados mostraron que las condiciones de proceso de 60 % H y 110 °C permitieron tener la menor concentración de taninos (15.8 mg Eq. (+)-catequina / g muestra).

Palabras clave: mango, subproducto, taninos, extrusión



## Abstract

Mango industrialization generates by-products (peel, bagasse and pit), which contain various bioactive compounds that can be used. Among the mango by-products, the peel represents 7 to 25 % of the total weight of the fruit, its components include dietary fiber and phenolic compounds. A class of phenolic compounds present in mango peel are tannins, known to cause the sensation of bitterness and astringency, these compounds have limited the incorporation of mango peel in foods. It has been reported that tannins can be degraded by thermo-mechanical processes such as the extrusion process. Extrusion is a process where food is subjected to high temperature in a short time. In the present project, the mango peel was extruded to reduce tannins. The variables analyzed were moisture (40 and 60 %) and process temperatures (90 and 110 ° C). The response variables analyzed were condensed tannin content, total phenol content, flavonoid content and antioxidant capacity. The results showed that process conditions 60 % H and 110 ° C allowed to have the lowest concentration of tannins (15.8 mg Eq. Catechin (+) / g sample).

Keywords: mango, peel, by product, extrusion, tannin.

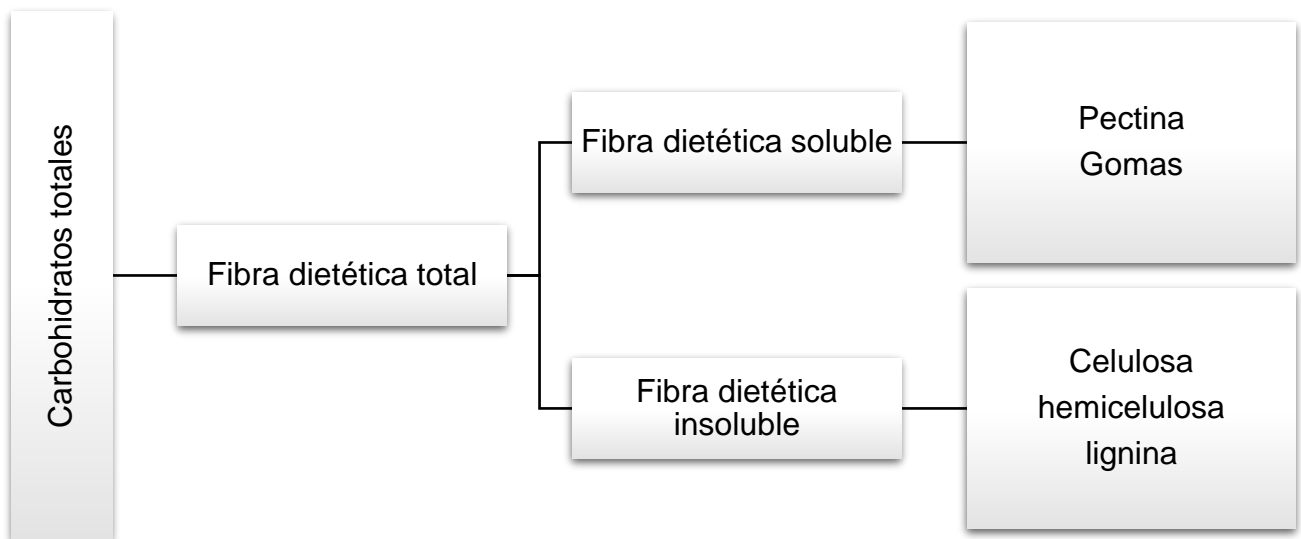


## 1. Introducción

La agroindustria se define como la actividad que integra a la producción primaria (agrícola, pecuaria, pesquera o forestal), los procesos de transformación industrial y la comercialización, mercadotecnia y financiamiento asociados a la producción de alimentos (Cury et al., 2017). Sin embargo, la transformación de los productos primarios genera residuos de materia orgánica conocidos como subproductos. La transformación de frutas es una de las agroindustrias que genera mayor cantidad de subproductos los cuales son ricos en macro y micronutrientes además de compuestos que poseen propiedades benéficas al organismo produciendo un alto valor agregado. El destino principal de los subproductos es como suplemento para animales y composta para cultivos (Corredor & Pérez, 2018).

El mango es una fruta tropical de gran importancia en México. Durante su transformación se utiliza la pulpa (50 % del peso del mango) y el resto de los componentes del fruto se consideran subproductos. Los subproductos de la agroindustria del mango son: hueso (12 a 15 %), bagazo (15 a 20 %) y cáscara (7 a 25 %) (Jahurul et al., 2015). La cáscara es el primer subproducto generado en la industrialización del mango y se compone principalmente de carbohidratos entre los cuales la fibra dietética es mayoritaria (Jahurul et al., 2015). La fibra dietética se clasifica como fibra dietética soluble conocida como de lenta absorción que participa en la regulación de glucosa en sangre y la fibra dietética insoluble que promueve la regulación intestinal (Mudgil & Barak, 2019).

En la Figura 1 se muestra la composición de carbohidratos en cáscara de mango.



**Figura. 1 Composición de carbohidratos en cáscara de mango**

Fuente: adaptada de Wall-Medrano et al., 2020

En la cáscara de mango el contenido de fibra dietética se encuentra en un 20 a 60 % dependiendo la variedad y la presencia de fibra dietética insoluble es predominante sobre la fibra soluble (Ajila et al., 2008; Blancas-Benitez et al., 2015; Hincapié et al., 2014; Noor et al., 2015; Wall-Medrano et al., 2020). Entre los compuestos fenólicos que se encuentran unidos a la fibra dietética de la cáscara de mango se encuentran los taninos (Gómez-Caravaca et al., 2016; Quirós-Sauceda et al., 2014) que otorgan amargor a las cáscaras de los frutos (Smeriglio et al., 2017); por esta razón, los productos elaborados con cáscara de mango se caracterizan por un sabor amargo, y de poca aceptabilidad limitando el aprovechamiento de los carbohidratos saludables presentes (Ajila et al., 2008; Ashoush & Gadallah, 2011; Baltazar, 2017; Madalageri et al.2017). Los taninos son compuestos termosensibles y han sido estudiados mediante el proceso de extrusión en leguminosas, semillas y cereales (Dlamini et al., 2009; Kumar et al., 2018; Mukhopadhyay & Bandyopadhyay, 2003; Nomusa Rhoda, 2007; Rathod &





Annapure, 2016). Por lo todo lo anterior el presente proyecto tiene como objetivo establecer las condiciones de extrusión para disminuir el contenido de taninos en cáscara de mango.

## **2. Antecedentes**

### **2.1. Residuos agroindustriales**

Durante el procesamiento de alimentos se generan residuos, que comprenden diferentes componentes no utilizados de la materia prima en el producto final. Existen diferencias entre los residuos generados a nivel doméstico y los residuos agroindustriales un ejemplo es la naranja que sólo genera la cáscara y el jugo cuando es procesado en casa mientras que en una industria procesadora genera hasta diez residuos (Okino Delgado & Fleuri, 2016). Los residuos son generados durante todas las etapas de la cadena productiva y comprenden raíces, tallos, hojas, huesos, semillas, bagazos y cáscaras (Sagar et al., 2018).

#### **2.1.1. Problemática de los residuos agroindustriales**

En el mundo se producen 155 billones de toneladas de residuos (Cury et al., 2017). De estos residuos los pertenecientes a frutas y verduras son generados por agroindustrias de pequeña a mediana escala (Banerjee et al., 2017). La cantidad de residuos generada en la agroindustria depende del nivel de desarrollo del país, lugar de cultivo y la etapa de proceso por ejemplo durante la cosecha cerca del 50 % del cultivo es descartado (Jiménez-Moreno et al., 2020)

Los residuos agroindustriales se consideran de lenta degradación y al no tener una disposición o aprovechamiento adecuado producen contaminación de suelos, cuerpos de agua, contribuyen a la proliferación de plagas y generan gases de efecto invernadero afectando la calidad del aire (Corredor & Pérez, 2018).



### **2.1.2. Valor de los residuos agroindustriales**

Los residuos agroindustriales contienen compuestos bioactivos que pueden ser extraídos dando un valor agregado. El uso de los residuos industriales en diversas industrias, los convierte en un recurso reusable con un impacto positivo en el sector ambiental y económico (Jiménez-Moreno et al., 2020).

Los compuestos bioactivos obtenidos de los residuos agroindustriales comprenden a los metabolitos primarios y secundarios de las plantas. La literatura reporta mayor concentración de compuestos bioactivos en los residuos que en la pulpa obteniendo mayor beneficio al ser consumidos debido a su contenido (Okino Delgado & Fleuri, 2016). De un solo residuo pueden obtenerse diversos compuestos bioactivos por ejemplo de las cáscaras de mango se pueden obtener los polifenoles, fibra dietética, vitaminas y minerales (Banerjee et al., 2017).

En la industria alimentaria los compuestos bioactivos de los residuos agroindustriales aportan valor nutricional a un alimento, incluso se consideran como ingredientes nutracéuticos por los beneficios que aportan al organismo (Faustino et al., 2019).

La fibra dietética de los residuos agroindustriales posee características fisicoquímicas buscadas en la industria alimentaria por ejemplo la capacidad de retención de agua, formación de geles y aumento de viscosidad (Quirós-Sauceda et al., 2014). La fibra dietética y las pectinas pueden utilizarse como agentes texturizadores (Faustino et al., 2019)

Los residuos agroindustriales pueden actuar como conservadores inhibiendo el crecimiento microbiano de los patógenos más comunes en los alimentos como *E. coli*, *S. aureus* y *L. monocytogenes* debido a su contenido de compuestos fenólicos. Igualmente, los compuestos fenólicos son los antioxidantes naturales más conocidos y su uso en la industria alimentaria extiende la vida de anaquel y conserva la calidad del producto (Faustino et al., 2019).



Los pigmentos presentes en los residuos agroindustriales pueden utilizarse para reemplazar los colorantes sintéticos. El color verde se obtiene de la clorofila, el color morado de las antocianinas, los colores amarillo, naranja y rojo de los carotenoides y betalainas teniendo una amplia gama de colorantes disponibles (Faustino et al., 2019).

### **2.1.3. Alternativa de aprovechamiento**

Un nuevo enfoque en la valorización de la agroindustria proviene del potencial uso de los residuos del procesamiento de frutas y verduras (Cury et al., 2017)

El compostaje o abono para tierra es un método efectivo, de calidad y bajo costo donde se aprovecha totalmente los nutrientes presentes en los residuos. Otro método muy empleado es utilizar los residuos como alimento para animales de granja (Corredor & Pérez, 2018).

Componentes como la fibra dietética o flavonoides se plantean en la generación de alimentos funcionales en forma de suplementos buscando obtener productos mejorados. Un ejemplo de amplia investigación es el huevo (Corredor & Pérez, 2018).

Los residuos del procesamiento de frutas son de utilidad en la producción de biocombustibles, donde se utilizan como sustrato en los procesos de fermentación de azúcares mediante hidrólisis enzimática. El concepto de biocombustible indica una fuente energética, entre los productos a obtener se destaca el bioetanol, biogás y biodiesel (Corredor & Pérez, 2018; Ravindran & Jaiswal, 2016).

Una reciente vía de aprovechamiento es la biorefinería. El objetivo es convertir los polímeros a moléculas simples facilitando su aprovechamiento mediante técnicas de extracción, hidrólisis, incineración, fermentación y digestión anaerobia (Banerjee et al., 2017; Ravindran & Jaiswal, 2016).

El estudio y desarrollo de diversas técnicas en la recuperación de los compuestos bioactivos de los residuos agroindustriales sigue en crecimiento. Entre ellas están





la extracción asistida por ultrasonido, microondas, pulsos eléctricos y fluidos supercríticos (Ran et al., 2019).

#### **2.1.4. Definición de subproducto**

La elaboración de productos de interés añadiendo compuestos bioactivos cambió la perspectiva de los residuos agroalimentarios. Con un nuevo enfoque se generó un nuevo concepto agroindustrial: subproducto. (Saval, 2012) , define al subproducto como “derivado de un procesamiento industrial, producto secundario que tiene un valor agregado por las características de composición que lo hacen comercializable”.

### **2.2. Mango**

#### **2.2.1. Origen del mango**

El árbol del mango tiene su origen en Asia, en la parte del sureste y el archipiélago del Himalaya. En países como India, Pakistán y Filipinas es considerado el fruto nacional. Los primeros en distribuir el mango hacia el continente americano fueron los portugueses llevando el fruto hacia África y posteriormente a Brasil. Los españoles por medio de tráfico en la costa mexicana y las filipinas introdujeron el fruto en las nuevas colonias del continente entre los siglos 16 y 17 (Krieger et al., 2017). La primera variedad conocida en México fue mango Manila, adquirida en el estado de Veracruz (Barreto & Para, 2016).

El árbol del mango pertenece a la familia *Anacardiaceae* del género *Mangifera* y puede alcanzar una altura de hasta 40m con copas amplias y ovaladas (Lauricella et al.,2017).Las hojas del árbol son de color violeta rojizo en estado de maduración, una vez madurado el árbol las hojas se vuelven color verde oscuro (CONASPROMANGO, 2012). El árbol crece en un clima tropical cálido y seco en suelos con pH de 6 a 8, a temperatura de 26 a 32 °C y en precipitaciones de 1000 a 1500 mm (SAGARPA, 2017).



### 2.2.2. Características fisicoquímicas del mango

Al fruto se le conoce como drupa carnosa. De forma ovalada y alargada, el peso varía entre 150 g y 750 g con dimensiones en longitud de 5 a 10 cm y 4 a 10 cm de diámetro (Lauricella et al., 2017). Los componentes anatómicos del fruto ilustrados en la Figura 2 son: el exocarpio comúnmente llamado piel de textura suave, coloración verdosa en fruto inmaduro y amarilla en fruto maduro. El mesocarpio contiene a la pulpa el componente comestible de sabor dulce, textura firme y coloración amarilla. El endocarpio se integra de la semilla con un núcleo que puede ser mono embrionario o poliembriónico (Okino Delgado & Fleuri, 2016). La literatura reporta un cuarto componente anatómico, de coloración amarilla compuesto de fibra procedente de la pulpa se le conoce como bagazo (Sudha et al., 2015).



**Figura. 2 Componentes del mango**

Fuente: Adaptada de Tesfaye, 2017

La pulpa de mango se compone en un 83.5 % de agua y es una fuente importante de nutrientes (Tabla 1). Entre los macronutrientes que lo componen los carbohidratos son predominantes. La pulpa de mango maduro contiene 15 % de azúcares principalmente glucosa, fructosa y sacarosa (Maldonado-Celis et al., 2019). Además de micronutrientes como vitamina A (retinol), complejo B (niacina, pirodoxina, riboflavina, tiamina, ácido pantoteico), vitamina C (ácido ascórbico),



vitamina K y vitamina E (tocoferol) y minerales como potasio, magnesio, fósforo y calcio (Lauricella et al., 2017; Rodríguez, 2015). En menor cantidad contiene ácidos grasos saturados, mono saturados y poliinsaturados (Burton-Freeman et al., 2017)

**Tabla 1. Contenido nutricional en 100 g de pulpa de mango**

Componente	Cantidad
Macronutrientes	
Carbohidratos	13 – 15 g
Fibra dietética	1.7 g
Grasa	0.20 - 0.40 g
Proteína	0.50 - 0.82 g
Micronutrientes	
Vitamina A	25 – 32 µg
Vitamina B1	28 – 30 µg
Vitamina B2	38 – 50 µg
Vitamina B3	400 – 669 µg
Vitamina B5	160 µg
Vitamina B6	80 - 120 µg
Vitamina C	36 - 44 mg
Vitamina E	0.90 - 1.1 mg
Vitamina K	4.20 µg
Potasio	150 - 170 mg
Fósforo	14 – 22 mg
Calcio	11 – 20 mg
Magnesio	10 mg

Fuente: Adaptada de Lauricella et al.,2017; Rodriguez,2015

Las características organolépticas de la pulpa de mango dependen de los ácidos orgánicos, principalmente ácido cítrico y málico aunque también se han identificado ácido oxálico, succínico, glucurónico, tartárico y galacturónico (Maldonado-Celis et al., 2019)



Dentro de los componentes que hacen atractiva la pulpa de mango se encuentran diferentes familias de compuestos fenólicos: ácidos fenólicos (ácido gálico, ferúlico, clorogénico y protocateúico), flavonoles, xantonas y galotaninos antioxidantes naturales abundantes en la fruta (Burton-Freeman et al., 2017).

Los característicos colores en el fruto provienen de los pigmentos presentes. La clorofila otorga coloración verde en un mango inmaduro, durante la maduración ese color cambia a amarillo-rojizo por los carotenoides (Maldonado-Celis et al., 2019).

Las diversidad de fitoquímicos que se encuentran en el mango le hacen ser una fruta benéfica al consumo, ya participa en el control de glucosa y lípidos, circulación sanguínea, promueve la salud intestinal y tiene un alto potencial antioxidante (Burton-Freeman et al., 2017). Estas propiedades lo hacen un alimento de suma apreciación a la salud y de aplicación industrial.

### **2.2.3. Producción de mango en el mundo**

El mango se cultiva principalmente en el continente asiático con un 72.9 %. Seguido de África con una producción del 15.4 % y el continente americano con el 11.5 % de producción a nivel mundial. Oceanía aporta únicamente el 0.1 % de la producción total (FAO, 2018). La variedad Tommy atkins es el cultivar de mango con mayor importancia a nivel comercial (Burton-Freeman et al., 2017).

India es el primer productor a nivel mundial con 21,822,000 millones de toneladas. China es el segundo productor a nivel mundial con una producción de 4,845,442 millones de toneladas. De acuerdo con la FAO, México se encuentra en el 6° lugar de los 10 países productores del fruto con 2,178,927 millones de toneladas producidas en 2018.

Se estima que el consumo per cápita mundial de mango incremente hasta 82 % en 2029 (Wall-Medrano et al., 2020).



#### 2.2.4. Producción de mango a nivel nacional

La comercialización del mango tiene como destino 41 países, durante el año 2017 se exportaron 410,000 toneladas siendo Estados Unidos y Canadá los principales compradores de mango mexicano. Las exportaciones del fruto representan 375 millones de dólares en el comercio de frutas (SAGARPA, 2018)

En México, la superficie de área sembrada de mango es de 210,685 millones de hectáreas (FAO,2018). El volumen de cosecha aumentó un 6 % anual desde el año de 2012. Los 3 principales estados productores de mango son Guerrero, Nayarit y Sinaloa seguidos de Chiapas, Michoacán, Oaxaca, Jalisco, Veracruz, Colima y Campeche (Tabla 2). El mango contribuye con un 8.8 % en la participación nacional de cosecha y tiene un consumo anual per cápita del 12.4 kg (SAGARPA, 2018).

**Tabla 2. Estados productores de mango en México**

Estado	Volumen (Toneladas)
Guerrero	375,328
Nayarit	369,488
Sinaloa	323,754
Chiapas	264,827
Michoacán	152,661
Oaxaca	148,401
Jalisco	106,912
Veracruz	92,658
Colima	57,010
Campeche	30,259

Fuente: SAGARPA, 2018





El mango se produce durante los 12 meses del año, aunque la producción principal se obtiene entre los meses de abril y agosto. En este periodo se obtienen 8 de cada 10 mangos anuales (SAGARPA, 2018). Durante estos meses en México se producen las variedades Ataulfo, Manila, Tommy atkins y Haden. Otras variedades producidas son Kent y Keitt en los meses de julio a septiembre y la variedad Criolla en los meses de febrero a junio.

El mango ha adquirido el nombre de “rey de las frutas tropicales”. En México la variedad Ataulfo se produce en Chiapas y pertenece a los 13 productos agrícolas con denominación de origen desde el año 2003 (Figura 3) (SAGARPA, 2017).



**Figura. 3. Mango Ataulfo**

Fuente: Board, 2009

### **2.2.5. Postcosecha y almacenamiento**

El mango pertenece a climas cálidos por lo que su vida de anaquel es corta. Es necesario cortar el fruto cuando aún se encuentra en los primeros estadios de maduración para optimizar la vida de anaquel (Jahurul et al., 2015). Cuando el fruto se encuentra en el proceso de maduración la producción de etileno genera parte de los cambios físicos y bioquímicos (Ntsoane et al., 2019) y las características de consumo se obtienen entre los 6 y 10 días después de cosecha (Estrada Mesa et al., 2015). Se estima una pérdida del 25-40 % durante la fase de postcosecha (Wall-Medrano et al., 2020).



La madurez es el atributo determinante para su aceptación, determinado por características visuales seguido de características fisicoquímicas (Ntsoane et al., 2019). Para algunas variedades de mango los límites de aceptación están establecidos en el protocolo de manejo y maduración de mango (Board, 2009).

El mango es un fruto susceptible a infecciones por lo que las técnicas de pre y postcosecha permitirán un mejor control. Las principales infecciones son antracnosis producida por *Colletotrichum gloeosporioides*, coloraciones oscuras por *Alternaria alternata* y pudriciones causadas por *Lasiodiplodia theobromae*, *Dothiorella dominicana* o *Botryosphaeria*. El fungicida más utilizado para controlar las infecciones en mango es el prochloraz aunque se han desarrollado otras técnicas como los tratamientos térmicos o atmósferas controladas (Ntsoane et al., 2019).

La práctica más común para conservación de frutas es el almacenamiento en cámaras frigorífica. Sin embargo, cuando la temperatura es menor a 12 °C en el mango se generan lesiones por frío produciendo cambios en el color, pérdida de maduración, reducción en el aroma, sabor y cambios de textura entre otros (Sivankalyani et al., 2016). Para extender la vida de anaquel del fruto se somete a tratamientos térmicos en agua o aire caliente entre 43 a 46 °C por un periodo de 65 a 90 minutos. El tratamiento térmico es altamente efectivo al mejorar la protección contra microorganismos y retrasar el decaimiento durante la maduración. También se han implementado dispositivos para mantener la temperatura entre 0 a 18 °C donde el fruto no tenga lesiones ni madure con rapidez (Ntsoane et al., 2019).

Una alternativa de control postcosecha es el almacenamiento por atmósferas controladas. Los valores de oxígeno varían de 1.5 a 2 % y 8 % de dióxido de carbono sin embargo, la literatura reporta en distintas variedades de mango valores del 2 al 10 % de oxígeno y 3 a 25 % de dióxido de carbono en temperaturas de 5 a 15 °C durante 14 a 45 días obteniendo resultados que



indican buena calidad en el producto, firmeza y reducción de la maduración (Ntsoane et al., 2019).

Los recubrimientos comestibles son un método natural que se propone para extender la vida de anaquel del mango. Se basa en una película transparente alrededor de la fruta, entre las ventajas que presenta es la disminución del proceso de maduración y no ocasiona cambios en los componentes nutricionales. El recubrimiento a base de quitosano es el más efectivo y otros recubrimientos similares son la cera de carnauba y celulosa (Ntsoane et al., 2019).

### **2.2.6. Industrialización del mango**

El fruto del mango es considerado como fruta exótica y tiene preferencia por parte de los consumidores, exportación e importación sobre la guayaba y el mangostán (Altendorf, 2017). La pulpa de mango ha sido utilizada para la elaboración de jugos y néctares, productos fríos, dulces, postres, conservas y encurtidos. El estado de madurez determinará el destino de elaboración; por ejemplo, el mango inmaduro es preferido para salsas, encurtidos y bebidas mientras que el mango maduro produce jugos, purés y pulpa congelada (Burton-Freeman et al., 2017).

## **2.3. Subproductos de la agroindustria del mango**

La industrialización del mango genera tres subproductos principales: bagazo, hueso y cáscara. Estos subproductos son generados en la fase de intercambio comercial y venta al por menor en la cadena de suministro de la fruta (Wall-Medrano et al., 2020).

Los subproductos del mango representan del 30 al 50 % del peso de la fruta durante el procesamiento (Banerjee et al., 2018).

### **2.3.1. Bagazo**

El bagazo de mango es generado durante el proceso de filtración a partir del despulpado de la fruta en la producción de jugo (Sudha et al., 2015). Representa





del 15 al 20 % del total del fruto y su composición principalmente es agua entre 22 y 60 % y de 34 a 83 % de carbohidratos. La fibra dietaria es el principal carbohidrato que compone al bagazo de mango conteniendo entre 27 a 83 % por lo que se ha incorporado en productos de confitería aportando menos calorías y con efecto prebiótico (Flores, 2018; Hernández, 2015; Herrera-Cazares et al., 2017).

El bagazo de mango es una fuente importante de antioxidantes principalmente manguiferina, ácido gálico y quercetina (Herrera-Cazares et al., 2017). El contenido de compuestos fenólicos totales es de 1786 mg Eq. ácido gálico/g muestra y 2758 µg Eq. de rutina/g muestra de flavonoides. Posee entre 90 y 99 % de inhibición de radicales libres presentando una alta capacidad antioxidante (Hernández, 2015).

### **2.3.2. Hueso**

El hueso representa entre el 12 y 15 % del peso total de la fruta. Se conforma de un cáscara gruesa y dura denominada exocarpio la cual encierra un núcleo propiamente la semilla que da lugar al fruto (Torres Leon et al., 2016).

La semilla de mango tiene un valor proteico de 6 a 7.7 %, contiene todos los aminoácidos esenciales y en algunas variedades de mango el contenido de los aminoácidos es superior al requerimiento establecido por la FAO (Torres Leon et al., 2016)

Los lípidos en la semilla de mango son los principales nutrientes. El contenido varía de 8.5 a 13.16 % (Torres Leon et al., 2016). De los lípidos, hasta el 1.7 % pueden ser ácidos grasos y los principales son ácido palmítico, ácido estereático, ácido oléico, ácido linoleico (Maldonado-Celis et al., 2019) y no contiene grasas trans (Torres Leon et al., 2016). La presencia de triglicéridos como el 1,3-distearoyl-2-oleoyl-glycerol en la semilla proponen a este subproducto como potencial sustituto de la manteca de cocoa (Maldonado-Celis et al., 2019).



Entre los parámetros de calidad de una grasa se encuentran el índice de yodo referido a la estabilidad de oxidación, índice de saponificación asociado al contenido de ácidos grasos e índice de peróxidos relativo a la rapidez de oxidación de lípidos (Gutiérrez et al., 2015) La literatura reporta que la grasa de la semilla de mango se encuentra dentro de los límites establecidos por el Codex alimentarius considerándose buena fuente de grasa en índice de yodo: 22.94 a 40g I<sub>2</sub>/ 100 g , índice de peróxido: 0.76 a 7.5 mEq. O<sub>2</sub>/kg grasa e índice de saponificación: 116 a 233 mg KOH/ g grasa (Gutiérrez et al., 2015; Hernández López et al., 2016)

Asimismo se ha reportado que el almidón presente en la semilla de mango posee características fisicoquímicas en la morfología de los gránulos de almidón, temperatura de gelatinización y capacidad de retención de agua similares al almidón de maíz siendo una propuesta con alto valor industrial (Gutiérrez et al., 2015).

En la composición de la semilla de mango destaca el contenido de minerales: potasio, fósforo y magnesio que superan entre 1.5 y 4 veces la recomendación diaria de 10 g/día (Torres Leon et al., 2016).

En la semilla de mango se han identificado 5 familias de compuestos fenólicos: galatos y galotaninos, flavonoides, ácido elágico y derivados, xantonas y benzofenonas (Torres Leon et al., 2016). Se ha reportado que los diferentes compuestos fenólicos le atribuyen propiedades antimicrobianas y antifúngicas contra *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Candida albicans* y *Bacillus subtilis* (Mutua et al., 2017).

### **2.3.3. Cáscara**

La cáscara de mango representa del 10 al 25 % del peso de la fruta (Tefaye, 2017) y equivale del 40 al 60 % de los residuos totales durante el procesamiento de mango (Banerjee et al., 2018).



Entre los compuestos bioactivos más importantes en la cáscara de mango están los polifenoles que actúan como protectores en condiciones de estrés en la parte exterior del fruto (López-Cobo et al., 2017). El contenido de compuestos fenólicos totales en cáscara de mango depende de la variedad, el valor más bajo reportado fue en la variedad india langra de 20 mg Eq. ácido gálico/100 g muestra (Afifa et al., 2014) mientras que el valor más alto obtenido fue reportado en la variedad mexicana Ataulfo de 6813 mg Eq. ácido gálico/100 g muestra (Garcia-Magaña et al., 2013). La literatura reporta 68 compuestos fenólicos en forma libre y 10 compuestos en forma ligada (Gómez-Caravaca et al., 2016; López-Cobo et al., 2017; Pierson et al., 2014). Entre ellos principalmente ácidos fenólicos (gálico, protocatéquico, ferúlico, siríngico y 2-hidroxicinámico) (Crisantema, 2018), xantonas (manguiferina), flavonoides (epicatequina, quercetina, isoquercetina) y galatos (metilgalato, etilgalato) (Lizárraga et al., 2018). De la última clase se han identificado galotaninos entre 1 y 13 unidades de ácido gálico glucosilados indicados en la Tabla 3 (Berardini et al., 2004; Luo et al., 2014; Müller-Maatsch et al., 2016; Sáyago-Ayerdi et al., 2013), isómeros de la galloyl glucosa y di glucosa (Gómez-Caravaca et al., 2016; López-Cobo et al., 2017). La literatura reporta el contenido de taninos hidrolizables entre 5.2 y 509 mg Eq. ácido gálico/g muestra y taninos condensados entre 3.7 a 92 mg/ g) en la cáscara de mango (Garcia-Magaña et al., 2013; Rojas et al., 2015).

La cáscara de mango se compone entre 71 y 93 % de carbohidratos (Ajila et al., 2008; El-Faham et al., 2017; Hincapié et al., 2014; Quintana-Obregón et al., 2019; Serna & Torres, 2014; Torres-León et al., 2018) entre los cuales la fibra dietética es el carbohidrato principal. La comisión Europea 2006 considera un alimento alto en fibra si contiene entre 3 y 6 % de fibra dietética total (Wall-Medrano et al., 2020).



**Tabla 3. Taninos hidrolizables en cáscara de mango**

Compuesto
Mono-galloylglucósido
Digalloyl-glucosido
Tetra-O-galloylglucósido
Penta-O-galloylglucósido
Hexa-O-galloylglucósido
Hepta-O-galloylglucósido
Octa-O-galloylglucósido
Nona-O-galloylglucósido
Deca-O-galloylglucósido
Undeca-O-galloylglucósido
Dodeca-O-galloylglucósido
Trideca-O-galloylglucósido

Fuente: adaptada de Berardini et al., 2004; Sáyago et al., 2013; Luo et al., 2014; Müller-Maatsch et al., 2016

El contenido de fibra dietética presente en cáscara de mango se indica en la Tabla 4 el cual varía de 8.8 hasta 60.83 g cumpliendo con el requerimiento nutricional antes mencionado. La fibra dietética total (FDT) se compone de fibra soluble (FB) e insoluble (FI). La fibra insoluble en la cáscara de mango se forma de celulosa, hemicelulosa y lignina mientras que las pectinas y gomas conforman la fibra soluble; la proporción entre fibras es 1.7:1 (Wall-Medrano et al., 2020). En la fibra dietética se encuentran azúcares como ramnosa, sacarosa, glucosa, xilosa y fructosa (García-Magaña et al., 2013; Wall-Medrano et al., 2020).



**Tabla 4. Contenido de fibra dietética en 100g de cáscara de mango**

Fibra dietética Total	Fibra dietética Soluble	Fibra dietética Insoluble	Referencia
8.8	3.3	5.5	(Wall-Medrano et al., 2020)
19.48 – 28.02	4.01 – 5.73	15.47 – 22.29	(Madalageri et al., 2017)
41.34	18.56	22.78	(Blancas-Benitez et al., 2015)
54.2	20	34.2	(S. A. A. Noor et al., 2015)
19.96 - 22.18	3.53 – 4.32	16.43 – 18. 17	(Serna & Torres, 2014)
60.83	4.56	56.27	(Hincapié et al., 2014)
51.2	19.2	32	(Ajila et al., 2008)

En diversas investigaciones, principalmente en el área de panificación, se ha buscado incorporar cáscara de mango como aditivo nutracéutico. Ajila et al., 2008 reportan la utilización de cáscara de mango en galletas de 2.5 y 20 %, obteniendo un incremento en la fibra dietética total del 6.5 % que tenía el control al 20.7 %. De la misma forma, los compuestos fenólicos también se incrementaron de 540 hasta 4500 µg Eq. ácido gálico/g. No obstante, la evaluación sensorial indicó que la concentración del 20 % presentó un sabor amargo detectado por los consumidores teniendo la menor aceptación del producto. Entre otros cambios la luminosidad en el color disminuyó de 64.87 a 52.9 (Ajila et al., 2008). Estos resultados concuerdan por lo descrito por Ashoush & Gadallah, 2011 quienes también incorporaron cáscara de mango en la realización de galletas.

La cáscara de mango ha sido incorporada en galletas como antioxidante natural al tener un 90 % de capacidad antioxidante en comparación con el antioxidante sintético butilhidroxianisol que sólo tiene 65 %. No obstante el análisis sensorial indico que las galletas con antioxidantes sintéticos tuvieron mejor aceptación ya que cuando el producto contenía 2 y 3 % de cáscara de mango la coloración se volvió oscura, con sabor amargo y textura de sobre horneado (El-Faham et al., 2017).

Además de galletas se incorporó cáscara de mango en un pastel que contenía 5 al 30 %, los resultados indicaron un aumento en la fibra dietética de 2.82 a 26.46 % y





disminución en el contenido de grasa de 11.11 a 7.46 %. A pesar de ello cuando el pastel contenía 20 % de cáscara de mango la aceptación fue menor debido al color oscuro de la miga y el olor poco agradable para los consumidores (Aziah et al., 2011). Igualmente este cambio en las propiedades sensoriales y poca aceptación se reportó en dulces con el mismo porcentaje de cáscara de mango (Madalageri et al., 2017).

La cáscara de mango ha sido utilizada en modelos sólidos, pero también en modelo líquidos para la obtención de productos altos en fibra. Tal es el caso de una bebida en polvo que presenta propiedades de un alimento funcional con un contenido inicial de 5 al 12.5 % de cáscara de mango. No obstante, fue necesaria la reducción de cáscara de mango entre 4 y 8 % y la adición de infusión de canela constante al 79.5 % para mejorar el sabor de la bebida, ya que a mayor contenido de cáscara de mango el análisis sensorial indicaba desagrado de los consumidores debido a la astringencia y amargor que es atribuida al contenido de taninos (Baltazar, n.d.).

## 2.5. Polifenoles

Los polifenoles son producto del metabolismo secundario del carbono en las plantas. En el grupo de los polifenoles existen varios subgrupos: ácidos fenólicos, estilbenos, ligninas y flavonoides. El grupo de los flavonoides es el que contiene mayor número de subclasificaciones (Zhang & Tsao, 2016).

La estructura base de un fenol se forma de la unión de un grupo hidroxilo a un anillo aromático donde la unión de varios anillos dará lugar al polifenol. La estructura de los polifenoles los convierte en compuestos inhibidores de especies reactivas de oxígeno atribuyéndole como principal característica de antioxidante, además antiinflamatorio y reductores de estrés oxidativo. El consumo de polifenoles en la dieta proviene de frutas, verduras, té, especias y granos (Tiznado et al., 2013; Zhang & Tsao, 2016); los beneficios de los polifenoles se obtienen al consumir 1 g al día (Zhang & Tsao, 2016). La biodisponibilidad de los compuestos fenólicos dependerá de la matriz alimenticia y la interacción con otros



componentes como lípidos, proteínas y carbohidratos al momento de la digestión (Jakobek, 2015). Algunos complejos se encuentran de forma natural en los alimentos por ejemplo las frutas contienen el complejo carbohidrato-compuestos fenólicos (Quirós-Sauceda et al., 2014).

### 2.5.1. Polifenoles asociados con carbohidratos

La fibra dietética se encuentra unida a los compuestos fenólicos, que al no ser susceptibles a digestión enzimática pueden llegar al colon con la posibilidad de obtener beneficios de ambos compuestos bioactivos (Jakobek, 2015). La unión entre compuestos fenólicos y fibra dietética ocurre mediante interacciones electrostáticas, enlaces covalentes como la unión éster además de enlaces puentes de hidrógeno como se muestra en la Figura 4. En frutas el 2.5 % de los polisacáridos se encuentra formando este complejo. En los subproductos de las mismas también se encuentra ésta unión y algunos de los más estudiados pertenecen al fruto de mango, guayaba y uva (Quirós-Sauceda et al., 2014).

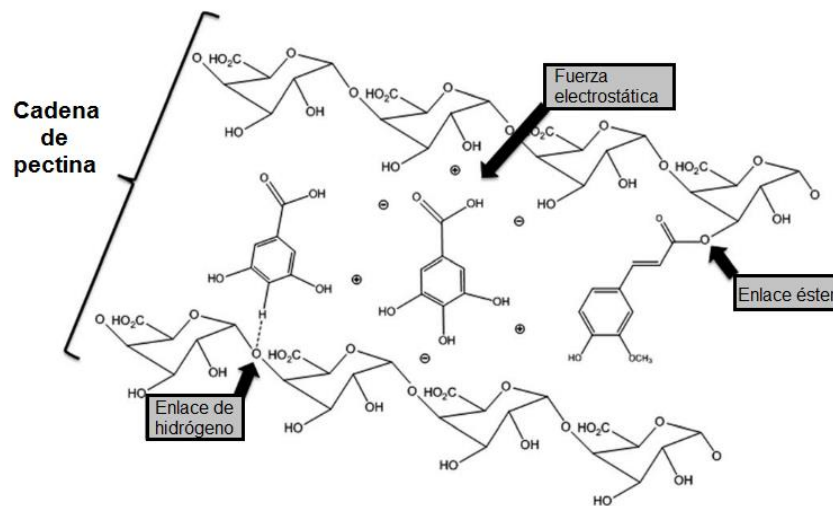


Figura. 4 Interacción fibra dietética y compuestos fenólicos

Fuente: Quirós Saucedá et al., 2014



### **2.5.2. Polifenoles extraíbles y no extraíbles**

El estudio de los polifenoles se ha centrado en la fracción obtenida en el extracto acuoso orgánico siendo los polifenoles extraíbles (EPP); sin embargo, el remanente de este extracto contiene la fracción de polifenoles no extraíbles (NEPP). Los estudios realizados en los NEEP demuestran que son mayormente disponibles en el reino vegetal que los EPP además de ser igualmente aplicable a diferentes industrias, así como la aportación de beneficios a la salud. En las frutas el contenido de EPP varía de un 25 a 35 % mientras que los NEEP contribuye de un 12 hasta un 74 % (Pérez-Jiménez & Saura-Calixto, 2018).

El grupo de los NEEP incluye algunos ácidos fenólicos, subclases de flavonoides y taninos (hidrolizables y condensados (Pérez-Jiménez et al., 2014). A diferencia de los EPP que en general se consideran biodisponibles, los NEEP no son liberados por las condiciones gastrointestinales del organismo al ingerirse, sin embargo, pueden despolimerizarse por dos mecanismos: fermentación colónica a través del microbiota intestinal o mediante enzimas como las esterases. De la ingestión diaria de polifenoles, los NEEP contribuyen en un 50 % proveniente principalmente de las frutas (Pérez-Jiménez et al., 2013).

Cada subgrupo que pertenece a los NEEP se une por un enlace específico a la matriz alimentaria. Para el caso de los taninos la unión es mediante puentes de hidrógeno, los ácidos fenólicos se unen mediante enlaces y las interacciones hidrofóbicas ocurre en ambos subgrupos (Pérez-Jiménez et al., 2013).

### **2.5.3. Taninos**

Los taninos son un grupo de metabolitos secundarios de estructura polifenólica de alto peso molecular entre 500 a 3000 KDa. Se conocen cuatro grupos: taninos condensados, taninos hidrolizables, florotaninos y taninos complejos. Los dos primeros grupos son los más conocidos y, de acuerdo con su origen, se clasifican de origen flavonoide o no flavonoide (Smeriglio et al., 2017). La Figura 5 y la





Los taninos se encuentran en diversos alimentos y bebidas como las pieles de los frutos, vino, nueces, leguminosas, cacao y cereales. La Tabla 5 muestra las cantidades presentes de taninos en alimentos.

**Tabla 5. Contenido de taninos en los alimentos**

Alimento	Taninos mg/100 g		
	Proantocianidinas	Elagitaninos	Galotaninos
Uvas	2180-6050	-	-
Mazana	46-278	-	-
Mango	-	-	30-160
Frambuesas	-	160-326	-
Nuez pecana	238-695	-	-
Almendras	126-645	-	-
Frijoles	5-830	-	-
Sorgo	413-5333	-	-

Fuente: adaptada de Smeriglio et al., 2017

A los taninos se les conoce principalmente por ser los polifenoles responsables del sabor de astringencia. El fenómeno de astringencia tiene lugar cuando los taninos se unen a las proteínas salivales creando precipitados insolubles que generan fricción en la boca y se reduce la formación de saliva causando resequead en la boca (Ma et al., 2014). Las proteínas de afinidad a los taninos son ricas en prolina (contienen entre 25 y 42 %) y pueden encontrarse glicosiladas o acídicas. Algunas otras proteínas salivales con las que interaccionan son las cistatinas, histatinas, estaterinas y en recientes estudios el péptido P-B (Brandão et al., 2017). El valor de pH es un factor determinante, ya que en condiciones ácidas se promueve la formación del complejo tanino-proteína mientras que un pH básico disminuye la formación de puentes de hidrógeno debido a la ionización de los grupos hidroxilo dificultando la formación del complejo (Olivas-Aguirre et al., 2015).

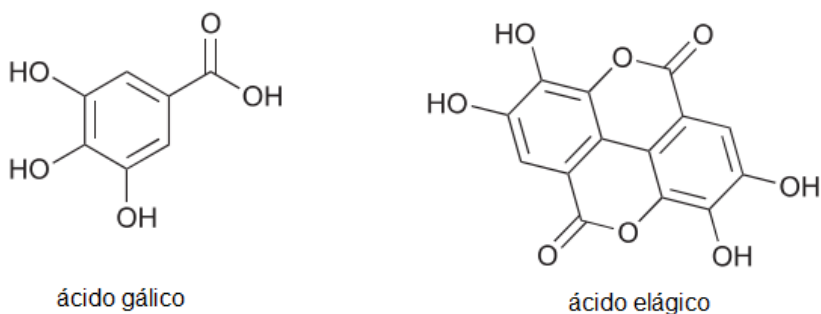


Otro fenómeno que propician los taninos es la sensación de amargor. Pertenecen a los ligandos que activan la familia de proteínas TAS2Rs, y los seres humanos poseen 25 receptores pertenecientes a la familia TAR2RS. Los receptores que activan la señalización del amargor por los diferentes taninos son TAS2R4, TAS2R5, TAS2R7, TAS2R39, TAS2R43 Y TAS2R40 (Soares et al., 2013, 2018). Cada receptor requiere especificaciones de la molécula de unión por ejemplo la presencia de grupos catecol, galoilaciones y glucosilaciones que dan lugar a interacciones hidrofóbicas o a la formación de puentes de hidrógeno entre otros (Ma et al., 2014; Soares et al., 2018). Se ha reportado la especificidad en taninos de origen natural en el receptor TAS2R5 para taninos condensados y el receptor TAS2R7 para taninos hidrolizados (Soares et al., 2018).

El mecanismo de los receptores es la transducción de señales intracelulares detectadas a través de nervios en el cerebro reconocidas en lengua como amargor. Entre las señales generadas la más importante es la liberación de calcio al citoplasma, sin ésta el cerebro no detecta la sensación generada. Algunos de los taninos reportados con esta propiedad son la epicatequina, pentagalailglucósido y malvidin-3-glucósido (Soares et al., 2013).

### **2.5.3.1. Taninos hidrolizables**

Los taninos hidrolizables de origen no flavonoide proviene de dos moléculas precursoras: ácido gálico y ácido elágico (Figura 7); dichas estructuras producen galotaninos y elagitaninos a partir de una reacción de esterificación respectivamente. El tanino pentagalail glucosa (PGG) de cinco unidades es el tanino hidrolizable más estudiado. Se ha reportado que posee diversos mecanismos benéficos a la salud: neuroprotector, antidiabético, neuroprotector, hepatoprotector, nefroprotector, inmunomodulador, anticancerígeno, antiinflamatorio, antialérgico y antioxidante (Ryszard & Janiak, 2019; Suntar et al., 2020). La cuantificación se realiza por análisis colorimétricos: el ensayo de rodanina cuantifica galotaninos y el ensayo de Wilson-Hagerman cuantifica elagitaninos (Sieniawska & Baj, 2017)

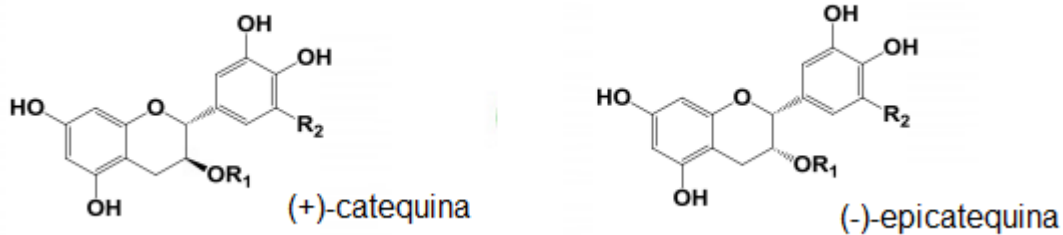


**Figura. 7 Monómeros de taninos hidrolizados**

Fuente: adaptada de Pierson et al., 2014

### 2.5.3.2. Taninos condensados

Los taninos condensados de origen flavonoide provienen de la molécula precursora de (+)-catequina y su estereoisómero (-)-epicatequina (Figura 8). La polimerización con otras moléculas de catequina forma el tanino. La estructura de los taninos condensados tiene diferentes patrones de hidroxilación dando lugar a varios subgrupos: properlagodinas, procianidinas, prodelfinidinas, promelacacilidinas, proluteolinidinas y prop-apigenidinas (Sieniawska & Baj, 2017). Las proantocidinas también se dividen de acuerdo con la unión que presentan en los carbonos: la clase A tiene unión C4 -> C8 o C4 -> C6 mientras que la clase B tiene unión C2 -> C7. Los taninos condensados se han reportado con diversos mecanismos benéficos: antioxidante, anticancerígeno, antimicrobiano, cardioprotector, antidiabético, antidiabético y antiobesogénico (Smeriglio et al., 2017). El método de cuantificación es el método de la vainillina-HCl o butanol-HCl. Cuando el tanino forma complejo con proteínas se cuantifica mediante el ensayo de precipitación (Sieniawska & Baj, 2017).



**Figura. 8 Monómeros de taninos condensados**

Fuente: adaptada de Zhang & Tsao, 2016

## 2.6. Extrusión

El proceso de extrusión es un conjunto de operaciones combinadas de transporte, mezcla, cocimiento y corte (Cervantes-Ramírez et al., 2020). El principio se basa en forzar un material a fluir a lo largo del extrusor y pasar a través de un dado que forma el producto conocido como extruido (Alam et al., 2016; Offiah et al., 2018). Es conocido por sus siglas en inglés “HTST” High Temperature Short Time, altas temperaturas en corto tiempo. Se considera un proceso de bajo costo y eficiencia energética al ser más de una operación unitaria por lo tanto el rendimiento de producción es alto. Debido al uso de temperaturas entre 100 y 200 °C los productos extruidos no contienen microorganismos siendo inocuos (Alam et al., 2016; Nikmaram et al., 2017).

El proceso de extrusión puede ser frío o caliente dependiendo el método de operación (Dalbhagat et al. 2019). Los extrusores se clasifican en 3 tipos: extrusores de pistón, extrusores de rodillo y extrusores de tornillo simple o doble, los últimos son los más utilizados (Alam et al., 2016). La Figura 9 ilustra un extrusor de alimentos de tornillo simple y sus componentes.

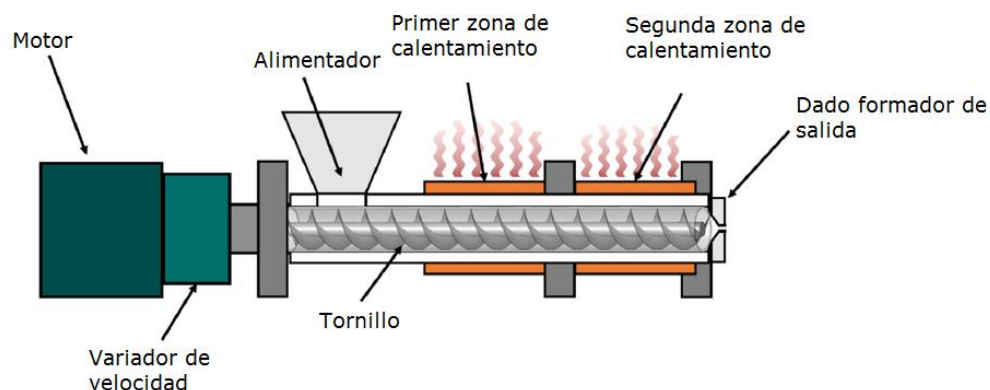
Los productos alimenticios elaborados mediante el proceso de extrusión proceden de diferentes matrices por ejemplo cereales, pseudocereales, leguminosas, nueces, tubérculos, frutas y verduras así como en subproductos de las mismas matrices (Offiah et al., 2018). Los principales productos obtenidos por extrusión





son los cereales instantáneos, pasta, galletas crotones, botanas y dulces (Dalbhagat et al., 2019; Nikmaram et al., 2017).

Las características organolépticas que determinan la calidad del extruido dependen de la composición fisicoquímica de la matriz y las condiciones de extrusión como la velocidad del tornillo, presión y temperatura del cilindro metálico, fuerza de cizallamiento y presión del cabezal (Alam et al., 2016; Offiah et al., 2018).



**Figura. 9 Extrusor y sus partes**

Fuente Cervantes-Ramírez et al., 2020

### **2.6.1. Extrusor de tornillo**

Un extrusor de tornillo simple se compone de las siguientes partes: la tolva de alimentación en la parte superior, un sólo tornillo para extrusores de tornillo simple o dos tornillos para extrusores de tornillo doble con ranuras axiales o helicoidales en la superficie interna rodeado de un cilindro metálico con resistencias eléctricas denominado camisa calefactora. En la parte exterior del cilindro se encuentra el dado o cabezal que comprime en la forma deseada el material (Dalbhagat et al., 2019).

Los extrusores de tornillo doble presenta ventajas sobre los extrusores de tornillo simple. Pueden trabajar con porcentajes menores de humedad, permite un mejor



control de temperatura y tiempo, además de que los materiales tienen un mejor mezclado (Dalbhagat et al., 2019).

### 2.6.2. Efecto de la extrusión en las propiedades físicas y químicas en los alimentos

Durante el proceso de extrusión se producen cambios físicos, químicos y nutricionales en las materias primas procesadas. La Tabla 6 describe algunos ejemplos de cambios fisicoquímicos durante la extrusión de diferentes matrices.

**Tabla 6. Cambios en la composición fisicoquímica en extruidos**

Matriz	Condiciones de extrusión	Cambio	Referencia
Salvado de sorgo	60-90 °C temperatura 30 % humedad 112 rpm	Incremento de capacidad antioxidante y ácidos fenólicos libres	(Buitimea-Cantúa et al., 2018)
Granos de maíz, soya desgrasada, cáscara de mango y arroz oscuro	80-120 °C temperatura 12 % humedad 100-140 rpm	Incremento en el contenido de proteína. Disminución del índice de expansión y cambio en la proporción de fibra soluble:insoluble	(Korkerd et al., 2016)
Fibra de maíz y granos de maíz	90-120 °C temperatura 30 % humedad 150 rpm	Incremento de índice de solubilidad de agua, disminución en los parámetros de color, índice de expansión y densidad aparente.	(Wang & Ryu, 2013)
Almidón de maíz y bagazo de uva	140-160 °C temperatura 21 % humedad 150-200 rpm	Incremento de flavonoides y capacidad antioxidante despolimerización en procianidinas	(Altan et al., 2009)

Fuente: adaptada de William et al., 2020



El proceso de extrusión inactiva enzimas como las lipooxigenasas, reduce la oxidación lipídica e incrementa el índice de digestibilidad proteica. Las proteínas tienen un reordenamiento estructural que resulta en nuevas texturas alternas a la carne por ejemplo las proteínas vegetales texturizadas (Offiah et al., 2018).

El almidón sometido a extrusión produce la reacción de dextrinización en el almidón promoviendo el índice de absorción de agua e índice solubilidad de agua, propiedades requeridas para alimentos instantáneos tales como sopas o papillas para bebés. La gelatinización, despolimerización y aumento en la digestibilidad del almidón ocurren debido a la ruptura de puentes de hidrógeno durante la extrusión lo cual conlleva cambios reológicos en las propiedades de pasta cambiando su perfil de viscosidad (Patil & Kaur, 2018). La extrusión de almidón en presencia de ácidos grasos forma complejos amilosa-lípidos cambiando las propiedades de pasta, índice de absorción de agua, solubilidad, retrogradación y capacidad de hinchamiento (Cervantes-Ramírez et al., 2020).

Las temperaturas de extrusión comúnmente utilizadas son entre 100 y 200 °C por lo que se esperan una disminución en el contenido de compuestos fenólicos ya que son degradados a partir de 80 °C (Altan et al., 2009; Sharma et al., 2012). Sin embargo, el efecto de cizallamiento causa cambios estructurales rompiendo la pared celular liberando ácidos fenólicos unidos a la misma promoviendo un aumento en los compuestos fenólicos libres (Chávez, et al., 2017; Konrade & Klava, 2017; Leyva-Corral et al., 2016; Salazar Lopez et al., 2016).

Durante la extrusión puede llevarse a cabo la reacción de Maillard dando lugar a la formación de melanoidinas promoviendo un incremento en la capacidad antioxidante (Félix-Medina et al., 2020).

La reacción de Maillard, caramelización y degradación de pigmentos que ocurren durante el proceso de extrusión cambian el color de la matriz, usualmente se observa disminución en los parámetros de luminosidad, tendencia al color amarillo y rojo (Dalbhagat et al., 2019).



Los factores anti nutricionales entre ellos saponinas, oxalatos, taninos y fitatos son de naturaleza termolábil por lo que su contenido disminuye mediante el proceso termo mecánico de extrusión (Nikmaram et al., 2017), al mismo tiempo se promueve la absorción de minerales que son inhibidos por estos factores (William et al., 2020).

Aunque la fibra dietética total no se ve afectada durante la extrusión, la bibliografía indica que una porción de fibra dietética insoluble puede ser modificada a fibra soluble incrementando su contenido. Un aumento en la fibra dietética soluble puede aumentar la capacidad de retención de agua debido a los componentes presentes como pectinas (Offiah et al., 2018).

Las vitaminas son nutrientes sensibles al calor y temperatura por lo que tienden a disminuir durante la extrusión especialmente la vitamina C y el complejo B. La vitamina A y E se consideran más estables al ser liposolubles (Offiah et al., 2018; William et al., 2020).

### **2.6.3. Extruidos a partir de subproductos**

El consumo de alimentos saludables genera demanda en la producción de alimentos con un mayor valor nutricional ya que los actuales procesados no cumplen con este requerimiento (Jozinović et al., 2017; Patil & Kaur, 2018). El almidón de maíz es la materia prima base utilizada para la elaboración de extruidos, sin embargo, otras materias primas como nueces, derivados de carne, leguminosas, subproductos de frutas y verduras tienen reciente uso en el proceso (Offiah et al., 2018).

Los subproductos de frutas y verduras tienen un interés particular al tener diversos compuestos bioactivos que enriquecen los alimentos: proteínas, vitaminas, minerales, ácidos grasos, fibra dietética, antioxidantes, colorantes y almidones entre otros. La incorporación de subproductos de la agroindustria produce extruidos expandidos, con texturas, colores, y aromas atractivos para consumirse (Offiah et al., 2018), además las propiedades técnico funcionales son



mejoradas debido a la composición y diversidad de los compuestos presentes (S. Patil & Kaur, 2018).

Entre los subproductos más estudiados por el proceso de extrusión se encuentran bagazos (manzana, naranja, uva, piña, zanahoria), cáscaras (tomates, mango, calabaza), semillas (tomate, aguacate, uva) y hojas (coliflor) (Alam et al., 2016; Jozinović et al., 2017; Offiah et al., 2018). La Tabla 7 enlista ejemplos de extruidos elaborados con subproductos de frutas y verduras mediante extrusión.

**Tabla 7. Desarrollo de productos a partir de residuos agroindustriales**

Subproducto	Producto final	Referencia
Semilla y bagazo de tomate	Botanas expandidas	(Devi et al., 2016)
Bagazo de piña	Botanas expandidas	(Kothakota et al., 2013)
Bagazo de zanahoria	Extruidos instantáneos	(Kumar et al., 2010)
Cáscara de naranja, semilla de uva y orujo de tomate	Botanas expandidas	(Yağci & Göğüş, 2009)
Hojas de coliflor	Cereal instantáneo	(Stojceska et al., 2008)
Cáscara de naranja	Galletas	(Larrea et al., 2005)
Semilla de aguacate	Extruidos instantáneos	(Olaeta et al., 2007)

Fuente: adaptada de Offiah et al., 2018; William et al., 2020

### 3. Justificación

Los subproductos de la agroindustria representan un problema de contaminación, su utilización principal es para composta y alimentación animal. Sin embargo, por los componentes presentes en estos materiales pueden utilizarse en la industria alimentaria y aportar beneficios al organismo teniendo un valor agregado.

Entre los subproductos de la agroindustria del mango, la cáscara se compone de carbohidratos destacando su contenido de fibra dietética. El componente de fibra



dietética cumple con el requerimiento para considerarse alto en fibra de acuerdo a lo establecido con la comisión Europea 2006. Por lo tanto la fibra dietética de cáscara de mango ha sido estudiada en productos como galletas, muffins, botanas y bebidas.

El aprovechamiento del subproducto se encuentra limitado por el contenido de taninos presentes, una clase de compuestos fenólicos que causan amargor y astringencia. Los taninos son compuestos termolábiles a partir de los 80 °C por lo que han sido estudiados a través del proceso de extrusión en matrices alimenticias entre ellas cereales y leguminosas disminuyendo su contenido. Los cambios en la matriz dependen de las condiciones de proceso: humedad del material, temperatura de proceso y velocidad del tornillo.

El presente proyecto propone la disminución del contenido de taninos en cáscara de mango a través del proceso de extrusión.

#### **4. Hipótesis**

- El proceso de extrusión disminuirá el contenido de taninos mejorando el sabor en la cáscara de mango

#### **5. Objetivo general**

Determinar las condiciones de extrusión para disminuir el contenido de taninos en un subproducto de mango.

#### **6. Objetivos específicos**

- Establecer las condiciones en el extrusor que tengan efecto significativo sobre el contenido de taninos en la cáscara de mango.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y nutracéuticas de la cáscara de mango antes y después de la extrusión.



## 7. Metodología

### 7.1. Materiales y equipo

#### 7.1.1. Materiales

- Charolas de aluminio
- Cajas Petri
- Sílica gel activada
- Bolsas de plástico resellables
- Vasos de precipitado 500 mL
- Espátula de aluminio
- Tubos eppendorf ámbar 2mL
- Agua destilada
- Microplaca
- Vial para HPLC
- Puntas para micropipeta
- Crisoles
- Tubos Kjeldhal
- Bureta
- Papel whattman #4
- Matraces de filtración
- Matraces bola
- Embudos de filtración
- Recirculador
- Refrigerante

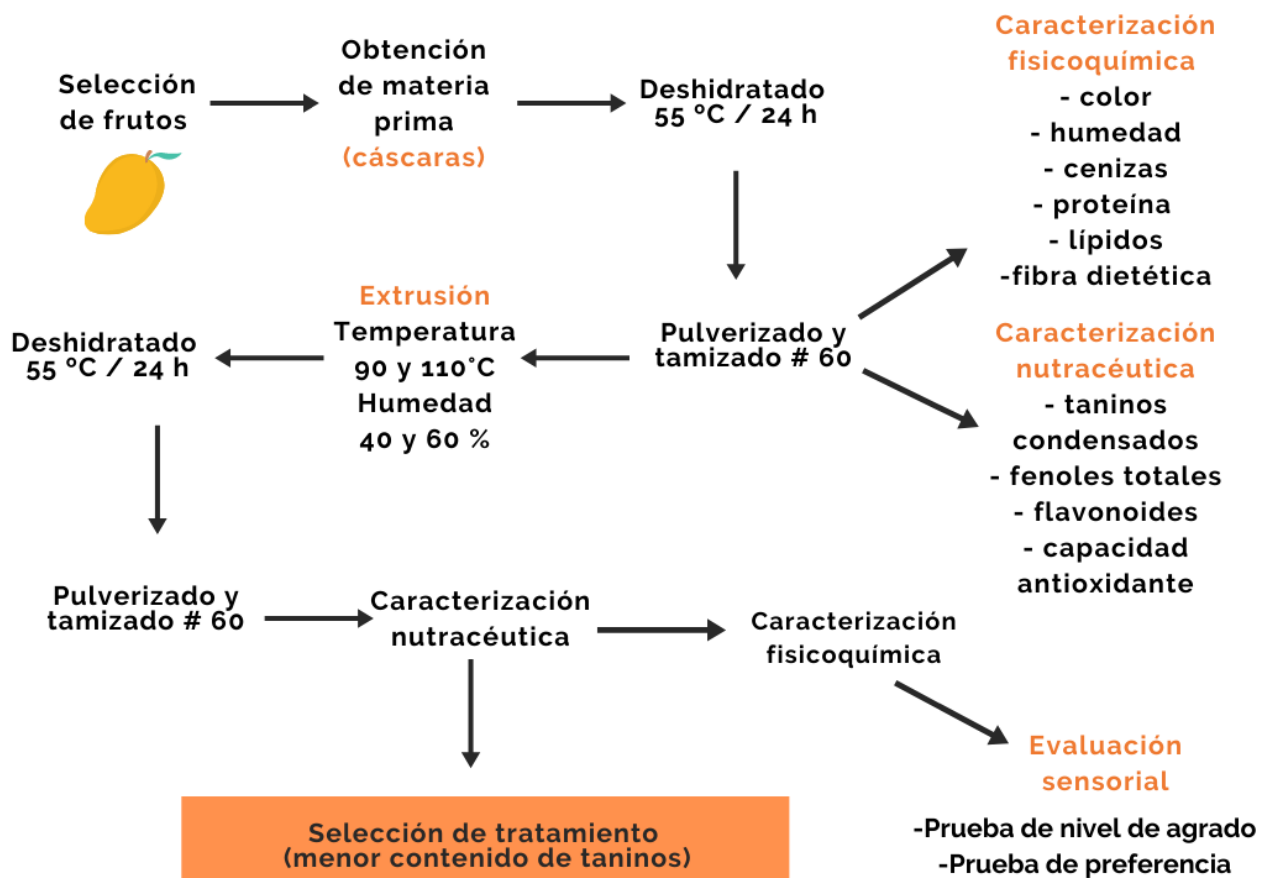
#### 7.1.2. Equipo

- Extrusor (CICATA-QRO)
- Deshidratador Excalibur® 2900 ECB 9 bandejas
- Colorímetro precise color reader HP200/ portable color diferente meader
- Horno de secado Binder FD-53UL0589453
- Digestor Gerhardt
- Destilador Gerhardt
- Mufla
- Extractor Soxhlet
- Balanza analítica Denver instrument TP2-14
- Báscula Cobacop BCG



- Congelador horizontal Torrey CHTC9-C
- Desecador Nalgene
- Molino de café Krups®
- Centrífuga Eppendorf 5804-R
- Agitador Orbital Thermo Scientific SHKE2000
- Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.1)
- Tamiz #60
- Micropipeta 20-100 µL
- Micropipeta 100-1000 µL

## 7.2. Esquema general del proyecto







## **7.3. Materia prima**

### **7.3.1. Elección del fruto**

Los mangos variedad Ataulfo utilizados como materia prima se obtuvieron del mercado local de abastos ubicado en la ciudad de Querétaro durante los meses de marzo a julio del 2019. Los frutos se seleccionaron con base en la madurez grado 3 y 4 (Board, 2009), con un color y textura uniforme y sin daños físicos aparentes. Posteriormente se lavaron con jabón, agua corriente y se sometieron a desinfección en una solución de hipoclorito de sodio (Cloralex®) durante 10 minutos. Se dejaron escurrir para eliminar el exceso de agua y continuar a la separación de los componentes del fruto.

### **7.3.2. Obtención de cáscara**

Los mangos se procesaron usando un pelador para frutas, con el fruto en forma vertical para obtener la cáscara con el largo correspondiente a cada pieza y el ancho de 4 cm correspondiente al tamaño del pelador, las cáscaras fueron pesadas y por cada 5 kg de mango se obtuvo 1 kg de cáscara fresca teniéndose un rendimiento del 20 % a partir del fruto completo. Las cáscaras fueron sometidas a un remojo en exceso de agua y refrigeradas durante 24 h para eliminar los azúcares presentes.

### **7.3.3. Deshidratado y pulverizado**

Se eliminó el agua de remojo y las cáscaras fueron deshidratadas a 55 °C durante 24 h en un deshidratador Excalibur 2900 ECB de 9 bandejas. La muestra obtenida fue triturada con un rodillo de madera y pulverizada en un molino de café marca Krups®. Finalmente, las muestras fueron almacenadas en bolsas resellables y llevadas a congelación en un congelador horizontal Torrey CHTC9-C a 4 °C.



## 7.4. Extrusión

### 7.4.1. Preparación de muestra para el extrusor

Se pesaron 100 g de cáscara de mango pulverizada en una báscula Cobacop BCG. Se adicionaron los gramos de agua para ajustar al 40 y 60 % de humedad siguiendo la fórmula propuesta por (Mamani, 2015).

$$Q = \frac{M_i(W_f - W_i)}{100 - W_f}$$

Donde:

Q= g de agua requeridos

Mi= peso de la muestra g

Wf = humedad final

Wi= humedad inicial

Las muestras fueron homogeneizadas y reposaron durante 20 minutos antes de someterse al proceso de extrusión.

### 7.4.2. Procesamiento de la cáscara de mango usando extrusión

Para evaluar el efecto de la extrusión sobre la disminución de taninos se usó un diseño factorial de  $2^2$  (Tabla 8). Se pesaron 70 g de muestra ajustados a la humedad requerida, se ingresaron en un extrusor de tornillo simple L/D 19, compresión 1:1 (gramos de alimentación es igual a gramos de salida), el dado tiene una forma circular de 2.2 mm de diámetro desarrollado en CICATA-IPN-QRO (patente MX /a/2007/016262); el tiempo de extrusión por cada muestra fue aproximado de 25 min y todas las muestras se corrieron a una velocidad de extrusión de 15 rpm.

**Tabla 8. Diseño experimental**

Factor	Nivel del factor	
Humedad (%)	40	60
Temperatura (°C)	90	110

Las muestras extruidas fueron deshidratadas a 55 °C durante 24 h en un deshidratador Excalibur® 2900 de 9 bandejas, la muestra obtenida fue pulverizada en un molino de café marca Krups®. Posteriormente se tamizó en una malla #60 para obtener un tamaño de partícula homogéneo equivalente a 250 micras.

## **7.5. Caracterización nutracéutica**

### **7.5.1. Extracto metanólico**

Para la realización de pruebas nutracéuticas siguiendo el método propuesto por (Cardador-Martínez et al., 2002) ,se prepararon extractos metanólicos de todos los tratamientos extruidos diluyendo 0.1 g de cada muestra en 1 mL de metanol en viales HPLC cubierto de la luz en agitación durante 24 h, 130 rpm en agitador orbital Thermo Scientific SHKE2000; terminado este proceso con la micropipeta 100-1000 µL se transfirió el sobrenadante a tubos Eppendorf ámbar de 2 ml y se llevó a centrifugación en centrífuga refrigerada Eppendorf 5804-R a 3000 rpm durante 10 min.

### **7.5.2. Cuantificación de fenoles totales**

La determinación de fenoles totales se realizó por el método propuesto por Herrera-Cazares et al., (2017). Se tomaron 50 µL del extracto metanólico de cada uno de los tratamientos, se adicionaron 250 µL de agua destilada, 125 µL de la solución Folin-Cicoltecau 1:1 con agua destilada, los tubos Eppendorf se sonicaron por 5 minutos y se adicionaron 625 µL de la solución de carbonato de sodio al 7 % (7 g en 100 mL de agua grado HPLC ) cubiertos de la luz y se dejaron



en incubación; finalmente se tomaron 250  $\mu\text{L}$  de cada tubo y la microplaca se llevó a lectura en un equipo de espectrofotometría Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1) a una absorbancia de 760 nm. La curva de calibración se elaboró con base en el ácido gálico y los fenoles totales se expresaron como mg Eq. de ácido gálico/g de muestra.

### **7.5.3. Cuantificación de flavonoides**

La determinación de flavonoides se realizó por el método propuesto por Herrera-Cazares et al., (2017). Se tomaron 50  $\mu\text{L}$  del extracto metanólico de cada uno de los tratamientos, se adicionaron 20  $\mu\text{L}$  de la solución de 2-aminodifenilborato (10mg del reactivo 2-aminodifenilborato en 990  $\mu\text{L}$  de metanol) y 180  $\mu\text{L}$  de metanol. La microplaca se llevó a lectura en un equipo de espectrofotometría Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1) a una absorbancia de 404 nm. La curva de calibración se elaboró con base en rutina y los flavonoides se expresaron como mg Eq. de rutina/g de muestra.

### **7.5.4. Cuantificación de taninos condensados**

La determinación de taninos se realizó con el método de la vainilla propuesto por Herrera-Cazares et al., 2017. Se tomaron 50  $\mu\text{L}$  del sobrenadante del extracto metanólico de cada tratamiento, se adicionaron 200  $\mu\text{L}$  de la solución de vainillina 0.5 % (vainillina 1 % en metanol y HCl 8 % en metanol en una relación 1:1) de 50 en 50  $\mu\text{L}$  para dar tiempo a la reacción. El blanco se preparó utilizando 50  $\mu\text{L}$  de metanol y 200  $\mu\text{L}$  de HCl al 4 %. La microplaca se llevó a lectura en un equipo de espectrofotometría Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.1) a una absorbancia de 492 nm. La curva de calibración se elaboró con base en (+) catequina equivalente y los taninos condensados se expresaron como mg Eq. de (+)-catequina/g de muestra.

La reducción en el contenido de taninos se determinó mediante la fórmula propuesta por (Imran et al., 2012):



$$\% \text{ reducción de taninos} = 1 - \frac{\text{contenido de taninos después de extrusión}}{\text{contenido de taninos extracto crudo}} \times 100$$

#### **7.5.5. Capacidad antioxidante método DPPH**

La capacidad antioxidante se determinó siguiendo el método propuesto por Herrera-Cazares et al., (2017). Se añadieron 200  $\mu\text{L}$  de radical DPPH preparado (0.0015 g DPPH en 20.5 mL de metanol aforado a 25 mL con agua HPLC) a 20  $\mu\text{L}$  del extracto metanólico de cada uno de los tratamientos. El blanco se preparó con 220  $\mu\text{L}$  de metanol y un control de 20  $\mu\text{L}$  metanol con 200  $\mu\text{L}$  del radical. Se realizó una cinética tomando lectura en el minuto 6,10,30,60 y 90. La microplaca se llevó a lectura en un equipo de espectrofotometría Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1) a una absorbancia de 592 nm. La capacidad antioxidante se expresó como mmol eq. de Trolox/ g muestra.

#### **7.5.6. Capacidad antioxidante método ABTS**

La capacidad antioxidante se determinó siguiendo el método propuesto por Herrera-Cazares et al., (2017). Se activó el radical preparado ABTS (0.192 g de ABTS aforado a 5mL en agua grado HPLC) 12 h antes de la medición, adicionando 88  $\mu\text{L}$  de la solución de persulfato de sodio (0.1892 g de persulfato de sodio en 5 mL de agua grado HPLC). Se tomaron 20  $\mu\text{L}$  del extracto metanólico de cada uno de los tratamientos, se adicionaron 230  $\mu\text{L}$  del radical ABTS ajustado a una absorbancia de 0.9 (500  $\mu\text{L}$  de radical activado en 20 mL de etanol). El blanco se preparó adicionando 20  $\mu\text{L}$  de metanol y 230  $\mu\text{L}$  de etanol, y un control de 20  $\mu\text{L}$  de metanol con 230  $\mu\text{L}$  de radical ajustado. La microplaca se llevó a lectura en un equipo de espectrofotometría Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1) a una absorbancia de 734 nm. La curva de calibración se elaboró con base en la solución Trolox y la capacidad antioxidante se expresó como mmol Eq. de Trolox/ g muestra.



## 7.6. Caracterización fisicoquímica

A partir de los resultados obtenidos en el apartado 7.5.4 se seleccionó el tratamiento con el menor contenido de taninos para la caracterización fisicoquímica.

### 7.6.1. Color de la cáscara de mango

Para la medición de color se cubrió en su totalidad una caja Petri con muestra tamizada la superficie a medir y la lectura se realizó utilizando un colorímetro Precise color reader HP-200/portable color different meter realizando mediciones en los 4 puntos cardinales y en el centro de la caja. El colorímetro se calibró previamente a la lectura con los respectivos filtros blanco y negro.

### 7.6.2. Determinación del contenido de humedad

El contenido humedad se determinó por el método AOAC 925.23 (2002). Se pesaron 2 g de muestra tamizada en charolas de aluminio colocadas previamente a peso constante. Posteriormente se colocaron en estufa (Binder FD-53UL08589543) a 110 °C durante 24 h. El contenido de humedad se determinó por diferencia de pesos usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(P2 - (P3 - P1))}{P2} \times 100$$

Dónde

%H = contenido de humedad

P1 = peso de charola a peso constante

P2 = peso de la muestra húmeda

P3 = peso de la muestra seca + charola



se ajustó el contenido de humedad adicionando los gramos de agua requeridos para el siguiente proceso mediante la fórmula de Mamani, (2015).

$$Q = \frac{M_i(W_f - W_i)}{100 - W_f}$$

Dónde

Q= g de agua necesarios para ajustar humedad

Mi= peso de la muestra (g)

Wf= humedad requerida

Wi= humedad inicial

### **7.6.3. Determinación del contenido de proteína**

El contenido de proteína se determinó por el método Kjeldhal AOAC 925.15 (2002) que consiste en una digestión ácida que transforma el nitrógeno en sulfato de amonio. Se pesaron 0.5 g de muestra tamizada y se colocaron en un tubo Kjeldah, se agregaron 3.5 g de sulfato de sodio, 0.4 g de sulfato de cobre y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Cada muestra se realizó con una repetición y un blanco con repetición. Los tubos fueron colocados en un digestor Gerhardt en tiempo aproximado de 2h variando temperatura y tiempo (20 min a 180 °C, 15 min a 240 °C, 15 min a 300 °C y 20 min a 385 °C) y se retiraron cuando el color se observó en verde claro con tendencia en translúcido para su posterior enfriamiento. Los tubos se colocaron en un destilador Gerhardt a los cuales se adicionó hidróxido de sodio al 40 % y 100 ml de agua destilada, el destilado se recibió en un matraz Erlenmeyer de 250 ml que contenía 25 ml de ácido bórico al 4 %, 10 ml de verde de bromocresol y 7 ml de rojo de metilo. El destilado se tituló con ácido clorhídrico al 0.08 M y los resultados fueron expresados en % de nitrógeno y % de proteína calculados con las siguientes fórmulas:



$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{ml ácido})(N \text{ ácido})(0.014)}{g \text{ muestra}}$$

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ nitrógeno} \times \text{factor de conversión}$$

Donde:

mL ácido= volumen de ácido utilizado en la titulación

N ácido= normalidad del ácido utilizado en la titulación

#### **7.6.4. Determinación del contenido de grasa**

La determinación de grasa se realizó por el método Soxhlet 920.39 AOAC (2002) el cual se basa en una extracción de compuestos solubles con éter de petróleo. Los cartuchos de celulosa, algodón y matraces se llevaron a peso constante. Se colocaron 10 g de muestra tamizada en un cartucho que fue cubierto con algodón y colocado en el extractor Soxhlet, en la parte inferior se ajustó el matraz y se unió al refrigerante. Se añadieron aproximadamente 120 ml de éter de petróleo por la parte superior del refrigerante que se mantuvo a una temperatura de 3.8 °C y el matraz se calentó hasta obtener un destilado con frecuencia de 2 a 3 gotas por segundo en un tiempo de 4 a 6 h. Terminada la extracción se evaporó el éter del matraz y se secó en estufa a 100 °C hasta peso constante, se dejaron enfriar en desecador y se pesaron los matraces. Los resultados se obtuvieron por diferencia de pesos y se expresaron en % de grasa calculado en la siguiente fórmula:

$$\% \text{ grasa} = \frac{Pf - Po}{M}$$

Donde:

Pf = peso final del matraz con grasa

Po = peso inicial del matraz sin grasa

M = Peso de la muestra





### **7.6.5. Determinación del contenido de cenizas**

El contenido de cenizas se determinó por el método 945.46 AOAC (2002) el cual se basa en el contenido de residuos inorgánicos después de una oxidación. Los crisoles se llevaron a peso constante durante 3 h a 100 °C y fueron colocados en desecador para su enfriamiento y posteriormente se pesaron. Se colocaron 3 g de muestra tamizada en los crisoles y se calcinaron en mufla a 550 °C durante 5 h, posteriormente fueron enfriados en desecador y pesados. El contenido de cenizas se expresó en % de cenizas y se calculó por diferencia de pesos con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de cenizas} = (P1 - P2) * 100$$

Donde:

P1 = peso constante del crisol + peso de la muestra

P2 = peso constante del crisol + cenizas

### **7.6.6. Determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble**

El contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble se determinó por el método 991.42 AOAC (2002) el cual consiste en una digestión enzimática. Se pesó 1 g de muestra desengrasada, en un matraz Erlenmeyer de 250 mL se adicionaron 50 mL de buffer de fosfatos 0.08 M y 100 µl de α-amilasa termoestable Sigma AA3306, después se ajustó el pH a 6 con hidróxido de sodio 0.275 N. Los matraces fueron cubiertos por aluminio y se llevaron a incubación con agitación por 30 min a 94 °C, una vez atemperados el pH fue ajustado a 7.5 con hidróxido de sodio 0.275 N. Se agregaron 100 µl de proteasa y se incubó en agitación 30 min a 60 °C, una vez atemperados se ajustó el pH con 10 ml de HCl 0.325 N. Por último, se agregaron 300 µl de amiloglucosidasa y se incubó en agitación durante 30 min a 60 °C.

Para la determinación de fibra dietética insoluble la muestra de la última incubación fue atemperada y filtrada en papel Whatman #4. Se realizaron dos



lavados con 15 ml de agua destilada a 60 °C y 15 ml de etanol al 80 °C, el papel filtrado se secó en estufa durante 24 h a 60 °C y se pesó. La diferencia de pesos corresponde a la fibra dietética insoluble.

Al filtrado residual obtenido anteriormente se le adicionó el mismo volumen de etanol al 80 °C y se reposó en refrigeración por 24 h. Posteriormente se filtró en papel Whatman #4 el cual fue pesado previamente, se procedió a realizar 2 lavados con 15 ml de etanol al 80 % y 2 lavados con 15 ml de acetona. El papel filtro se secó en estufa durante 24 h a 60 °C y finalmente se pesó, la diferencia de pesos corresponde a la fibra soluble.

#### **7.6.7. Determinación de carbohidratos**

Los carbohidratos totales se determinaron por diferencia a partir de los componentes de proteína, grasa, cenizas y humedad.

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - (\% \text{ proteína} + \% \text{ grasa} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ humedad})$$

#### **7.7. Evaluación sensorial**

A partir de los resultados obtenidos en el apartado 7.5.4 se seleccionó el tratamiento para realizar la evaluación sensorial de bebidas preparadas con la cáscara de mango. Para la preparación de las bebidas tanto las instalaciones como los utensilios y equipos fueron limpiados con agua, jabón y sanitizados con alcohol al 70 %; así mismo se usaron cubrebocas, cofia, guantes y bata de laboratorio. Las bebidas fueron preparadas como se indica en la Tabla 9, en botellas de agua purificada de 500 ml y servidas en vasos de 10 ml.

Las bebidas fueron evaluadas por 20 panelistas no entrenados; de manera independiente se acudió a la casa de cada panelista con las medidas sanitarias requeridas. A cada panelista se le dió a leer la carta de consentimiento informado antes de realizar la evaluación (Anexo 1).

**Tabla 9. Preparaciones de bebidas de cáscara de mango**

Bebida	Cáscara de	H <sub>2</sub> O (mL)
--------	------------	-----------------------





mango (g)		
sin extrauir	74	426
extrudida	73.4	426.3

### 7.7.1. Prueba de preferencia

A cada panelista se le proporcionó una muestra de 10 ml por cada fórmula los cuales fueron codificados aleatoriamente con 3 dígitos. Se indicó que de izquierda a derecha probaran las muestras e indicaran el nivel de preferencia donde 1 es el de mayor preferencia y 2 el de menor preferencia (Anexo2). Entre cada muestra los panelistas enjuagaron su boca con agua purificada embotellada y se realizó una segunda evaluación con diferencia de 30 minutos.

### 7.7.2. Prueba nivel de agrado

A cada panelista se le proporcionó una muestra de 10 mL de cada fórmula las cuales fueron codificadas aleatoriamente con 3 dígitos. La prueba de nivel de agrado se realizó mediante la escala hedónica de 9 puntos indicada en la Tabla 10 donde el puntaje máximo (9) indica “me gusta muchísimo” y el puntaje mínimo (1) “me disgusta muchísimo”. Se les indicó a los panelistas enjuagar la boca con agua purificada al inicio y entre muestras (Anexo 3).

**Tabla 10. Escala hedónica de 9 puntos**

Escala	Puntuación
Me gusta muchísimo	9
Me gusta mucho	8
Me gusta	7
Me gusta ligeramente	6
Ni me gusta ni me disgusta	5
Me disgusta ligeramente	4
Me disgusta	3
Me disgusta mucho	2
Me disgusta muchísimo	1



## **7.8. Análisis estadístico**

Los resultados de la medición del color y la caracterización nutracéutica se analizaron en el software Minitab 18®, se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) para determinar cuáles de los factores fueron significativos, posteriormente se sometieron a la prueba de Dunnet para determinar diferencia con la muestra sin tratamiento y finalmente se analizaron por la prueba de Tukey para determinar diferencias entre tratamientos. El nivel de confianza establecido fue al 95 % ( $p < 0.05$ ) y los datos se expresaron como la media  $\pm$  desviación estándar.

Los resultados de los análisis sensoriales se analizaron mediante un análisis de varianza modificado para datos no paramétricos, prueba de Kruskal-Wallis para determinar si existió diferencia significativa, por lo menos de una de las muestras respecto a las otras y una prueba de Wilcoxon para determinar diferencias entre cada par de muestras.

## **8. Resultados y discusión**

### **8.1. Rendimiento de los subproductos de mango**

Por cada 5 kg de fruto completo se obtuvo 1 kg de cáscara fresca que representa un 20 % del fruto. Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Jahurul et al 2015) quienes obtuvieron un rendimiento de 7 al 24 % en cáscara de mango.

Posteriormente la cáscara fresca de mango se sometió a un proceso de deshidratación del cual se obtuvieron 300 g de cáscara deshidratada lo cual representa el 30 % por kilogramo de cáscara fresca.



## 8.2. Caracterización compuestos fenólicos

La Tabla 11 muestra los resultados del contenido de compuestos fenólicos totales antes y después de extrudir en diferentes condiciones. El factor de humedad, temperatura y la interacción entre los factores de humedad y temperatura tuvieron un efecto significativo y con un ajuste de la variabilidad de  $R^2 = 0.76$ . El contenido de fenoles totales obtenidos después de extrudir estuvo entre 6.1 y 10.3 mg Eq. ácido gálico/g muestra. Ninguno de los tratamientos fue estadísticamente igual a la muestra sin tratamiento, ya que todos presentaron un mayor contenido de compuestos fenólicos. El resultado en las condiciones de extrusión 60 %H y 90 °C fue estadísticamente diferente entre tratamientos ya que presentó el mayor contenido de fenoles. En la Figura 10 se observa que el incremento en la humedad favorece el contenido de compuestos fenólicos totales indicado en el cambio de coloración de azul a amarillo correspondiente a las condiciones de 60 %H y 90 °C. Durante la extrusión la pared celular tiene cambios estructurales liberando los compuestos fenólicos conjugados con macromoléculas usualmente carbohidratos. Al cuantificarse se observa un incremento en el contenido de fenoles totales (Salazar Lopez et al., 2016; Shahidi & Yeo, 2016). En cáscara de mango Ataulfo se han reportado 13 ácidos fenoles en la fracción ligada entre ellos ácido elágico, ácido gálico, ácido *trans* y *cis*-p cumárico (Gómez-Caravaca et al., 2016; López-Cobo et al., 2017).

**Tabla 11. Contenido de polifenoles en cáscara de mango antes y después de extrudir**

Grupo	Condiciones de extrusión		Fenoles totales <sup>2</sup>	Flavonoides <sup>3</sup>	Taninos condensados <sup>4</sup>
	Humedad (%)	Temperatura (°C)			
SE <sup>1</sup>	SE <sup>1</sup>	SE <sup>1</sup>	1.8±0.03 <sup>A</sup>	25.8±1.0 <sup>A</sup>	23.3±1.0 <sup>A</sup>

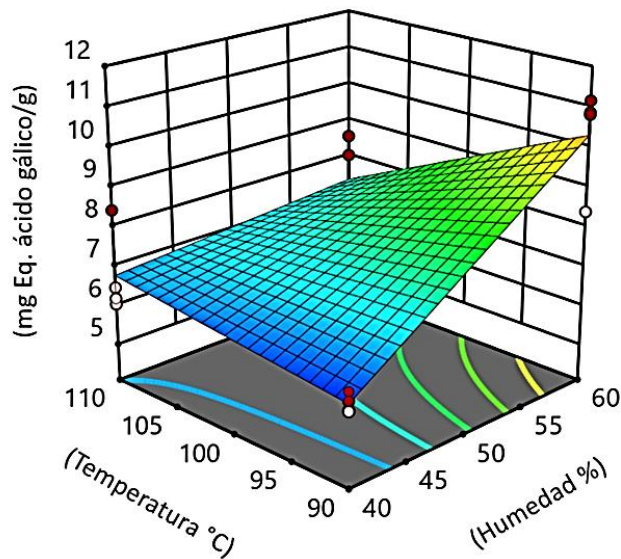


1	40	90	6.1±0.2 <sup>b</sup>	25.5±1.0 <sup>Aa</sup>	22.3±1.2 <sup>Aa</sup>
2	40	110	6.8±1.1 <sup>b</sup>	21.2±0.6 <sup>b</sup>	18.6±0.5 <sup>b</sup>
3	60	90	10.3±1.3 <sup>a</sup>	20.7±0.9 <sup>b</sup>	16.7±0.5 <sup>c</sup>
4	60	110	7.4±1.2 <sup>b</sup>	21.2±1.6 <sup>b</sup>	15.8±0.4 <sup>c</sup>

Los datos son expresados como la media ± desviación estándar; media con letra mayúscula A estadísticamente igual a la muestra sin tratamiento (ST); letras minúsculas muestra diferencias entre los tratamientos en una misma columna. <sup>1</sup>Sin extruir; <sup>2</sup>mg Eq. ácido gálico/g; <sup>3</sup>mg Eq. rutina/ g muestra; <sup>4</sup>mg Eq. catequina(+)/g muestra

Nayak et al., (2011) reportan extruidos con papa morada al 35, 50 y 65 % condiciones que contribuyeron con un aumento en el contenido de fenoles totales de 1.3 a 4.3 mg Eq. ácido gálico/g muestra, donde los ácidos fenólicos libres aumentaron de 0.9 a 3.9 mg Eq. ácido gálico/g muestra y los compuestos ligados disminuyeron de 415 a 175 mg Eq. ácido gálico/g muestra. Por otra parte, Salazar-López et al., (2016) reportan un incremento en el contenido de compuestos fenólicos totales de 2.02 a 3.07 mg Eq. ácido gálico/g muestra debido a la liberación de ácidos fenólicos ligados a la fracción de fibra insoluble en salvado de sorgo.

En el presente trabajo el contenido de compuestos fenólicos totales en cáscara de mango extrudida de 6.1 a 10.3 mg Eq. ácido gálico/g muestra es menor al reportado de 29.4 a 42.7 mg Eq. ácido gálico/g muestra por Goda et al., (2019) en la diferencia puede atribuirse a que los autores utilizaron sémola de maíz la cual también es una fuente de compuestos fenólicos.

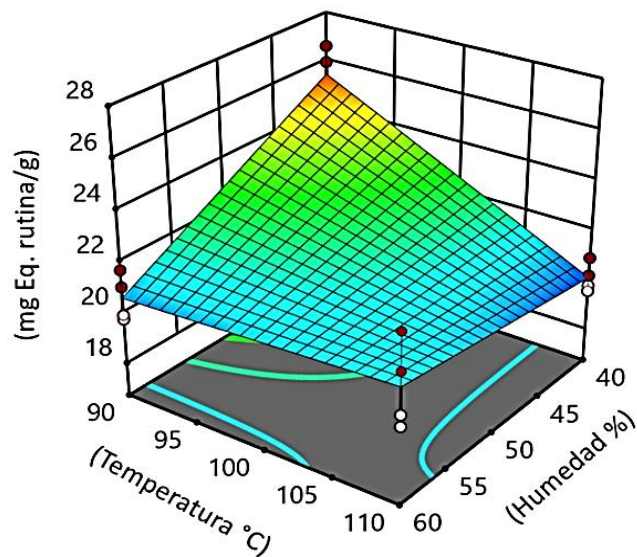


**Figura. 10 Efecto de la humedad y temperatura sobre contenido de fenoles totales en cáscara de mango extrudida**

La Tabla 11 muestra los resultados del contenido de flavonoides en cáscara de mango antes y después de extrudir en diferentes condiciones. El factor de humedad, temperatura y la interacción de los factores de humedad y temperatura tuvieron un efecto significativo y con un ajuste de la variabilidad  $R^2 = 0.82$ . El contenido de flavonoides obtenidos después de extrudir estuvo entre 20.7 y 25.5 mg Eq. rutina/g muestra. El resultado obtenido en las condiciones de extrusión 40 %H, 90 °C fue estadísticamente igual a la muestra sin tratamiento y entre tratamientos fue estadísticamente diferente al presentar el mayor contenido de flavonoides. En la Figura 11 se observa que el contenido de flavonoides es mayor en la coloración amarillo-rojiza correspondiente a 40 %H y 90 °C correspondiente al nivel bajo de los factores evaluados. Los flavonoides se encuentran en forma ligada en las matrices alimenticias y durante la extrusión la ruptura en la matriz celular libera los flavonoides facilitando su extracción (Patil et al., 2016; Shahidi & Yeo, 2016). Tiznado et al., (2013) reportaron un cambio en la proporción de flavonoides en garbanzo extrudido ya que, los flavonoides ligados que inicialmente contenían de 0.34 a 0.75 mg Eq. catequina/g muestra disminuyeron a valores de



0.31 a 0.69 mg Eq. catequina/g muestra mientras que los flavonoides libres inicialmente contenían de 0.12 a 0.25 mg Eq. catequina/g muestras incrementaron a valores entre 0.18 y 0.35 mg Eq. catequina/g muestra. El contenido final de flavonoides incrementó desde 4 hasta 8 %. Entre los flavonoides que se han reportado en la cáscara de mango están la catequina, epicatequina, proantocianidinas, astragalina, isoquercertina, quercertina (Asif et al., 2016) y glucósidos de quercetina. El contenido de flavonoides en la cáscara de mango extruida de 20.7 a 25.5 mg Eq. rutina/g fue mayor al contenido reportado de 6.2 mg Eq. rutina/g en papa morada extruida (Nayak et al., 2011).



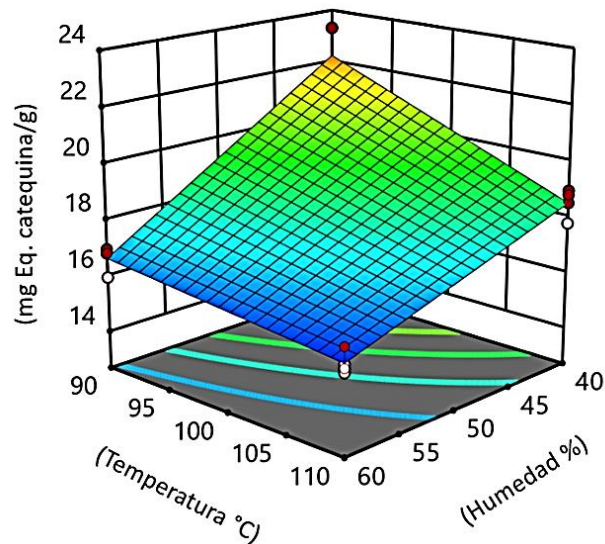
**Figura. 11 Efecto de la humedad y temperatura sobre el contenido de flavonoides en cáscara de mango extruida**

La Tabla 11 contiene los resultados del contenido de taninos condensados en la cáscara de mango antes y después de extrudir en diferentes condiciones. El factor de humedad, temperatura y la interacción de los factores de humedad y temperatura tuvieron un efecto significativo y con un ajuste de la variabilidad  $R^2=0.93$ . El contenido de taninos condensados obtenidos después de extrudir fue de 15.8 a 22.3 mg Eq. (+) catequina/g muestra; la disminución con respecto a la muestra sin tratamiento representa del 20.2 al 32.2 %. El resultado en las





condiciones de extrusión 40 %H, 90 °C fue estadísticamente igual a la muestra sin tratamiento. Entre tratamientos los resultados en las condiciones 60 %H,90 °C y 60 %H,110 °C fueron estadísticamente iguales entre sí y presentaron los valores menores en taninos condensados. El incremento de temperatura y humedad favorecen la disminución del contenido de taninos en cáscara de mango extrudida, esto se observa en la Figura 12 donde el color azul establece las condiciones 60 % H y 110 °C correspondiente al menor contenido de taninos. El comportamiento en el extrusor para la disminución del contenido de taninos fue similar a lo reportado por Llopart, (2011). El autor reporta una disminución en el contenido de taninos en sorgo entre tratamientos de 69 % cuando la humedad de alimentación aumentó de 14 a 19 % y la temperatura incrementó de 164 a 200 °C. Rathod & Annapure (2016) reportaron una disminución de taninos hasta de 98 % en lentejas usando humedad del 22 % y una temperatura de 180 °C. (Mukhopadhyay & Bandyopadhyay, 2003; marzopadhyay et al., 2007) reportan una reducción en semilla de linaza y ajonjolí del contenido de taninos hasta 61.25 % en las condiciones de extrusión de 40 % humedad y 80 °C, indicando un comportamiento diferente en el extrusor entre matrices alimentarias, ya que las condiciones de T1 en este trabajo son similares, pero presentan el mayor contenido de taninos. La disminución en el contenido de taninos se atribuye a degradación térmica durante el proceso de extrusión o la formación de complejos insolubles con carbohidratos reduciendo al mismo tiempo su extracción al tener un mayor grado de polimerización (Adarkwah-Yiadom & Duodu, 2017; Alonso et al., 2000; A. T. V. Kumar et al., 2018; Llopart, 2011; Rathod & Annapure, 2016). Khanal et al., (2009) detectaron una disminución en el contenido de taninos en subproductos de mora azul sugiriendo que el efecto combinado de presión, temperatura y cizallamiento rompe la matriz que contiene a los taninos de alto peso molecular (>8 unidades catequina) degradándolos en oligómeros y monómeros. Un comportamiento similar ha sido reportado en sorgo (Adarkwah-yiadom & Duodu, 2017; Dlamini et al., 2009) y subproductos de uva (Khanal et al., 2009)



**Figura. 12 Efecto de la humedad y temperatura sobre el contenido de taninos condensados en cáscara de mango extrudida**

La Tabla 12 corresponde a los resultados obtenidos en la determinación de capacidad antioxidante por los métodos ABTS Y DPPH en la cáscara de mango antes y después de extrudir en diferentes condiciones. Por el método ABTS el factor de temperatura y la interacción de los factores de humedad y temperatura tuvieron un efecto significativo y con un ajuste de variabilidad  $R^2= 0.78$ . La capacidad antioxidante fue entre 43.2 y 57.2 mmol Eq. Trolox/g muestra. Los resultados en las condiciones de extrusión 40 %H,110 °C y 60 %H, 110 °C son estadísticamente igual a la muestra sin tratamiento. Entre tratamientos los resultados en las condiciones de extrusión 40 %H,90 °C son estadísticamente diferentes de los demás tratamientos al tener menor capacidad antioxidante. En la Figura 13 se observa que la capacidad antioxidante incrementa en la coloración amarilla indicado en las condiciones de 40 %H y 110 °C mientras que el color verde claro presenta el menor contenido indicado en las condiciones de 40 %H y 90 °C, por lo tanto, el aumento de temperatura entre tratamientos favorece la capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante en la cáscara de mango sin extruir y extrudida en este trabajo es superior a la reportada en cáscara de mango de la variedad Tommy Atkins de 0.16 a 0.19 mmol Eq. Trolox/g (Sogi et al., 2013)



tratada por diferentes métodos de secado y es inferior a lo reportado de 931 mmol Eq. Trolox/g en cáscara de mango de la variedad Ataulfo.

**Tabla 12. Contenido de capacidad antioxidante en cáscara de mango antes y después de extrudir**

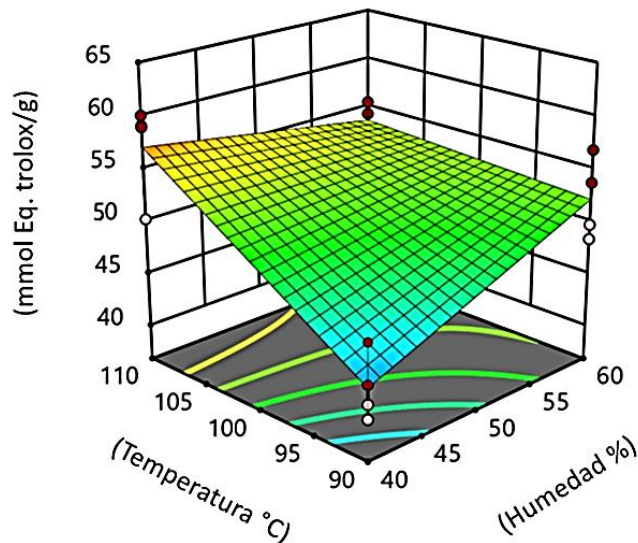
Grupo	Condiciones de extrusión		ABTS <sup>2</sup>	DPPH <sup>2</sup>
	Humedad (%)	Temperatura (°C)		
SE <sup>1</sup>	SE <sup>1</sup>	SE <sup>1</sup>	59.0±12.1 <sup>A</sup>	63.4±3.1 <sup>A</sup>
1	40	90	43.2±2.9 <sup>b</sup>	44.9±1.6 <sup>c</sup>
2	40	110	57.2±4.5 <sup>Aa</sup>	64.8±5.6 <sup>Aa</sup>
3	60	90	52.2±3.8 <sup>a</sup>	49.3±0.6 <sup>bc</sup>
4	60	110	53.6±1.6 <sup>Aa</sup>	55.7± 1.5 <sup>b</sup>

Los datos son expresados como la media ± desviación estándar; media con letra mayúscula A estadísticamente igual a la muestra sin tratamiento; letras minúsculas muestra diferencias estadísticas entre los tratamientos en una misma columna. <sup>1</sup>Sin extruir ;<sup>2</sup> mmol Eq. Trolox/ g muestra.

Por el método de DPPH, el factor de temperatura y la interacción de los factores de humedad y temperatura tuvieron un efecto significativo y con un ajuste de variabilidad  $R^2= 0.89$ . La capacidad antioxidante estuvo entre 44.9 y 64.8 mmol Eq. Trolox/g muestra. Los resultados en las condiciones de extrusión 40 %H, 110 °C fue estadísticamente igual a la muestra sin tratamiento y estadísticamente diferente entre tratamientos ya que presentó la máxima capacidad antioxidante. En la Figura 14 se observa que la capacidad antioxidante aumenta en la coloración amarillo-rojiza correspondiente a las condiciones 40 %H y 110 °C y disminuye en el color azul, correspondiente a las condiciones de 40 %H y 90 °C. Esto concuerda con el resultado por el método de ABTS donde el aumento de temperatura favorece a la capacidad antioxidante. La capacidad antioxidante en la cáscara de mango sin extruir y extrudida en este trabajo es superior a lo reportado en cáscara



de mango de la variedad Tommy Atkins de 0.17 a 0.21 mmol Eq. Trolox/g (Sogi et al., 2013) tratada por diferentes métodos de secado y es inferior a lo reportado de 1232 mmol Eq. Trolox/g en cáscara de mango de la variedad Ataulfo (Bertha et al., 2019).

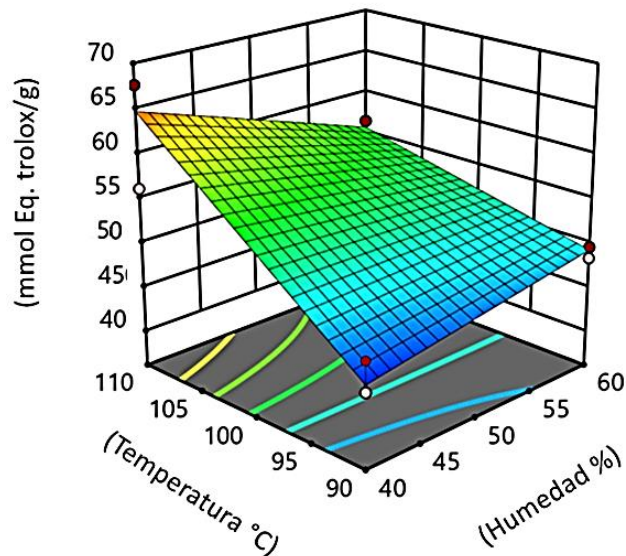


**Figura. 13 Efecto de la humedad y temperatura sobre la capacidad antioxidante por el método ABTS en cáscara de mango extrudida**

Se ha reportado que el radical ABTS+ comparado con otros métodos es un mejor determinante de antioxidantes en frutas (Floegel et al., 2011) en este caso a subproductos. El método por ABTS+ se utiliza para confirmar los resultados obtenidos por el método DPPH debido a la estequiometría que ambos presentan ante el compuesto Trolox (Liang & Kitts, 2014). La disminución en la capacidad antioxidante se debe a la degradación de compuestos de alto peso molecular que por su estructura contribuían a ella (Dlamini et al., 2009). Los procesos térmicos cambian la relación entre los compuestos fenólicos en la matriz (Konrade & Klava, 2017), usualmente se reporta la mejora de la capacidad antioxidante en matrices extruidas con respecto a la matriz cruda sin embargo algunos estudios realizados en sorgo y cebada indican que la destrucción de los compuestos fenólicos está



relacionado con la disminución de la capacidad antioxidante (Altan et al., 2009; Dlamini et al., 2007). La unión entre compuestos por ejemplo flavonoides y



proteínas enmascara el valor real de la capacidad antioxidante (Altan et al., 2009).

**Figura. 14 Efecto de la humedad y temperatura sobre la capacidad antioxidante por el método DPPH en cáscara de mango extrudida**

### 8.3. Caracterización fisicoquímica

#### 8.3.1. Composición proximal en la cáscara de mango antes y después de extrudir

A partir de la caracterización nutracéutica se seleccionó el tratamiento en las condiciones de extrusión 60 %H y 110 °C que presentó el resultado de 15.8 mg Eq. (+) catequina/ g muestra siendo el de menor contenido de taninos con respecto a la muestra sin tratamiento. La caracterización proximal se realizó al tratamiento seleccionado indicado como cáscara con extrusión y a la muestra sin tratamiento indicada como cáscara sin extrusión en la Tabla 13.



El contenido de humedad después de la extrusión aumentó de 4.9 a 5.1 g/100 g, al ser menor al 10 % de humedad se considera un producto sin condiciones para crecimiento microbiano (Rodríguez-Miranda et al., 2011).

El contenido de cenizas obtenido en la cáscara sin extrusión fue de 3.4 y 3.3 g/100 g con extrusión. Concuerta con lo reportado entre 2.12 a 4.33 g/100 g por Quintana-Obregón et al., (2019), Rojas et al., (2015) y Torres-León et al., (2018) en cáscara de mango Ataulfo. El contenido de cenizas no presentó cambios después de la extrusión. El contenido de cenizas es un indicativo de los minerales presentes en la matriz (Obadina et al., 2013). Se ha reportado que la cáscara de mango contiene zinc, cobre, magnesio, hierro, fósforo, calcio y potasio (Faham et al., 2017; Madalageri et al., 2017).

El contenido de grasa obtenido en la cáscara de mango sin extrusión fue de 3.9 g/100 g, mayor a lo reportado entre 1.78 y 2.12 g/100 g por Quintana-Obregón et al., (2019), Rojas et al., (2015) y Torres-León et al., (2018) en cáscara de mango Ataulfo. El contenido de grasa disminuyó de 3.9 a 3.1 g/100 g en la cáscara de mango extrudida. Esta pérdida sucede cuando el extruido sale del dado en la etapa final de la extrusión (Ondo & Ryu, 2013).

El contenido de proteína en la cáscara de mango sin extrusión fue de 4.5 g/100 g lo cual concuerda con lo reportado entre 3.04 y 5.05 g/100g por Rojas et al., (2015) y Torres-León et al., (2018). Después de la extrusión el contenido de proteína no presentó cambios al tener 4.6 g/100 g.

El contenido de carbohidratos totales en la cáscara de mango sin extrusión fue de 88.3 g/100 g y concuerda con lo reportado de 81.78 a 88.87 por Rojas et al., (2015) y Torres-León et al., (2018) en cáscara de mango variedad Ataulfo. La cáscara de mango extrudida aumentó de 88.3 a 89.1 g/100 g.

El contenido de fibra dietética total obtenido en la cáscara de mango sin extrudir fue de 42.7 g/100 g similar con lo reportado de 41.34 g/100 g por Blancas-Benitez et al., (2015) en cáscara de mango variedad Ataulfo. La cáscara de mango con



extrusión incrementó a 43.1 g/100 g. En los componentes de fibra soluble e insoluble hubo un cambio en la proporción de la cáscara sin extruir y la cáscara con extrusión. La fibra dietética soluble aumentó en la cáscara extrudida de 17.2 a 18.5 g/ 100 g mientras que la fibra insoluble disminuyó de 25.5 a 24.6 g/ 100 g. La temperatura de extrusión es un factor determinante en la composición de la fibra dietética, ya que rompe los enlaces glucosídicos transformando un polisacárido en oligosacáridos (Huang & Ma, 2016); además, la velocidad de tornillo causa rompimiento en la pared celular (Espinoza-Moreno et al., 2016; Sarawong et al., 2014). Huang & Ma, (2016) reportan en bagazo de naranja un aumento de fibra dietética soluble de 17.31 a 30.29 g/100 g y una disminución de la fibra dietética insoluble de 46.52 a 33.57 g/100 g después de extrusión, mientras que el contenido de monosacáridos como glucosa, arabinosa y galactosa incrementó en la fracción soluble y disminuyeron en la fracción insoluble.

**Tabla 13. Composición proximal de la cáscara de mango antes y después de extrudir**

Componente	Cáscara sin extrusión <sup>1,2,3</sup>	Cáscara con extrusión <sup>1,2,3</sup>
Humedad	4.9	5.1
Cenizas	3.4	3.3
Grasa	3.9	3.1
Proteína	4.5	4.6
Carbohidratos totales	88.3	89.0
Fibra dietética total	42.7	43.1
Fibra dietética soluble	17.1	18.6
Fibra dietética insoluble	25.5	24.5

<sup>1</sup>g/100g; <sup>2</sup>base seca excepto contenido de humedad; <sup>3</sup>único valor



### 8.3.2. Determinación de color

En la Tabla 14 se presentan los resultados de la medición de color en la cáscara de mango antes y después de extrudir. El color es un atributo de calidad que determina la aceptación del producto (Ondo & Ryu, 2013; William et al., 2020).

El parámetro de luminosidad después de la extrusión fue disminuido con respecto a la cáscara sin extrusión. De los parámetros que componen el color,  $L^*$  es el más afectado durante el proceso de extrusión (William et al., 2020). El cambio se debe a pardeamiento no enzimático como la degradación de pigmentos y a que la muestra no está desgrasada ya que los pigmentos son removidos en solventes orgánicos (Zhang et al., 2020). Otra causa es la degradación de vitaminas termosensibles como la vitamina C (Mendoza-Corvis et al., 2016). El valor de 71 se encuentra dentro de lo reportado en extruidos de cáscara de mango con valores entre 70.8 y 790.2 (Goda et al., 2019) y superior a lo reportado en extruidos con pulpa de mango entre 29.9 y 54.5 (Salgado et al., 2017).

El parámetro  $a^*$  incrementó después de la extrusión. El valor obtenido es positivo, por lo tanto se tiene una tendencia al color rojo. El incremento en  $a^*$  es indicativo de degradación de pigmentos termosensibles (Altan et al., 2009). El valor de 8.6 se encuentra dentro de lo reportado en extruidos con pulpa de mango con valores de 6.21 y 15.02 (Salgado et al., 2017) y superior a lo reportado de 1.3 y 2.5 en extruidos de cáscara de mango (Goda et al., 2019)

El parámetro  $b^*$  disminuyó después de la extrusión. Este valor fue positivo por lo tanto se tiene una tendencia al color amarillo. El color amarillo en las frutas está dado por zeaxantinas,  $\beta$ -carotenos, luteína y  $\beta$ -criptoxantinas (Solovchenko et al., 2019). En la cáscara de mango se han reportado isómeros de estos compuestos (De Ancos et al., 2018). El valor obtenido de 36.8 es superior a lo reportado en extruidos de cáscara de mango entre 29.4 y 36.1 (Goda et al., 2019).

El parámetro C o cromaticidad no indicó diferencia después de la extrusión. Por lo tanto no cambia el color con el procesamiento del subproducto de mango. Éste





parámetro indica la intensidad de color, depende de los parámetros de matiz y luminosidad (Noor et al., 2012).

**Tabla 14. Medición de color en cáscara de mango antes y después de extrudir**

Componente de color	Cáscara sin extrusión	Cáscara con extrusión
L*	77.8±0.5	71±1.0
a*	6.5±1.0	8.6±0.4
b*	37.4±1.2	36.8±1.1
C	38.0±0.4	37.7±1.2
H	80.2±0.4	77.0±0.4

El parámetro de matiz o ángulo Hue disminuyó después de la extrusión. A pesar de ello el resultado se encuentra cercano a los 90 °C lo cual indica que el extruido es de color amarillo y al no tener un cambio en el ángulo no se tiene cambio de color (Abdul et al., 2012; Arenas & Delgado, 2012).

#### **8.4. Evaluación sensorial**

Por motivo de la pandemia COVID-19 durante el año 2020 la evaluación sensorial y su respectivo análisis estadístico no fue posible realizarse. Los productos que se proponen para las pruebas son bebidas a base de polvo de cáscara de mango sin extruir como control y el polvo de cáscara de mango extruido seleccionado a partir de la caracterización nutracéutica (condiciones de extrusión 60 % H y 110 °C). Las bebidas preparadas serían de 500 ml (74 g polvo de cáscara de mango y 426 ml de agua).

Para la evaluación sensorial son requeridos 20 a 30 panelistas no entrenados sin exclusión de sexo. A cada panelista se le proporcionará un vaso con 10 ml de



cada bebida, un paquete de galletas tipo habanera® y un vaso de 25 ml con agua purificada. Además de los respectivos formatos de evaluación, los anexos 1,2 y 3 muestran los formatos que se utilizarían para el análisis sensorial.

En cuanto a los resultados, se espera que los participantes indiquen mayor preferencia a la bebida preparada con el polvo de cáscara de mango extruido con respecto al polvo de cáscara de mango sin extruir en la prueba de preferencia y me gusta ligeramente a un me gusta muchísimo en la prueba de nivel de agrado al menos en los parámetros de resabio y agrado general a la bebida preparada con el polvo de cáscara de mango extruido con respecto al polvo de cáscara de mango sin extruir.

## 9. Conclusiones

- El proceso de extrusión disminuye el contenido de taninos condensados en el subproducto de mango.
- El proceso de extrusión permite el aprovechamiento del subproducto de mango en su totalidad.
- El subproducto de mango extruido tiene potencial como ingrediente funcional por sus características nutracéuticas y el alto contenido de fibra dietética.
- Es necesario realizar una prueba de preferencia para determinar si la reducción de taninos tiene impacto a nivel sensorial.

## 10. Bibliografía

Abdul Aziz, N. A., Wong, L. M., Bhat, R., & Cheng, L. H. (2012). Evaluation of processed green and ripe mango peel and pulp flours (*Mangifera indica* var. Chokanan) in terms of chemical composition, antioxidant compounds and functional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(3), 557–563. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4606>

Adarkwah-Yiadom, M., & Duodu, K. G. (2017). Effect of extrusion cooking and simulated in vitro gastrointestinal digestion on condensed tannins and radical scavenging activity of type II and type III whole grain sorghum. *International*





*Journal of Food Science & Technology*, 1–13.  
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13510>

- Afifa, K., Kamrumzzaman, M., Mahfuza, I., Afzal, H., Arzina, H., & Roksana, H. (2014). A comparison with antioxidant and functional properties among five mango (*Mangifera indica* L.) Varieties in Bangladesh. *International Food Research Journal*, 21(4), 1501–1506.
- 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>
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2016). Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445–473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
- Alonso, R., Aguirre, A., & Marzo, F. (2000). Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry*, 68(2), 159–165. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00169-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00169-7)
- Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2009). Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics and  $\beta$ -glucan content of extrudates developed from barley-fruit and vegetable by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(6), 1263–1271. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.01956.x>
- Altendorf, S. (2017). *Perspectivas mundiales de las principales frutas tropicales*. 1–15.  
[http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM\\_MARKETS\\_MONITORING/Tropical\\_Fruits/Documents/Tropical\\_Fruits\\_Spanish2017.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Tropical_Fruits/Documents/Tropical_Fruits_Spanish2017.pdf)
- Arenas, Á., & Delgado, C. (2012). Estudio de la variación de color en láminas de mango (*Mangifera indica* L.) variedad Hilacha, en tres estadios, durante el secado a diferentes condiciones. *Ciencias Básicas Y Tecnológicas*, 21(1), 69–75. <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739447006.pdf>
- Arora, A., Banerjee, J., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., & Patti, A. F. (2018). Process design and techno-economic analysis of an integrated mango processing waste biorefinery. *Industrial Crops and Products*, 116(January), 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.061>
- Ashoush, I. ., & Gadallah, M. G. . (2011). Utilization of Mango Peels and Seed Kernels Powders as Sources of Phytochemicals in Biscuit. *World Journal of Dairy & Sciences*, 6(1), 35–42.



- Asif, A., Farooq, U., Akram, K., Hayat, Z., Shafi, A., Sarfraz, F., Sidhu, M. A. I., Rehman, H. U., & Aftab, S. (2016). Therapeutic potentials of bioactive compounds from mango fruit wastes. *Trends in Food Science and Technology*, 53, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.05.004>
- Baltazar, M. (n.d.). *Caracterización Físicoquímica, evaluación sensorial y perfil antioxidante de una bebida a base de pulpa y cáscara de mango (Mangifera indica L. c.v. "Ataulfo") [Tesis de maestría]*. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.
- Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F., & Arora, A. (2017). Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food Chemistry*, 225, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.093>
- Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F., & Arora, A. (2018). A hydrocolloid based biorefinery approach to the valorisation of mango peel waste. *Food Hydrocolloids*, 77, 142–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.029>
- Barreto Huampa, E. (2016). *Efecto de la temperatura y tiempo de escaldado sobre el contenido de vitamina C, carotenoides y capacidad antioxidante en pulpa de mango (Mangifera indica L.) variedad Haden [Tesis de pregrado]* [Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <http://repositorio.unamad.edu.pe/handle/UNAMAD/325>
- Berardini, N., Carle, R., & Schieber, A. (2004). Characterization of gallotannins and benzophenone derivatives from mango ( *Mangifera indica* L. cv. ' Tommy Atkins ' ) peels , pulp and kernels by high-performance liquid chromatography / electrospray ionization mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 18, 2208–2216. <https://doi.org/10.1002/rcm.1611>
- Bertha, C. T., Alberto, S. B. J., Tovar, J., Sáyago-Ayerdi, S. G., & Zamora-Gasga, V. M. (2019). In vitro gastrointestinal digestion of mango by-product snacks: Potential absorption of polyphenols and antioxidant capacity. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(11), 3091–3098. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14224>
- Blancas-Benitez, F. J., de Jesús Avena-Bustillos, R., Montalvo-González, E., Sáyago-Ayerdi, S. G., & H. McHugh, T. (2015). Addition of dried 'Ataulfo' mango (*Mangifera indica* L) by-products as a source of dietary fiber and polyphenols in starch molded mango snacks. *Journal of Food Science and Technology*, 52(11), 7393–7400. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1855-7>
- Board, N. M. (2009). *Mango Handling and Ripening Protocol*. [www.mango.org](http://www.mango.org)
- Brandão, E., Silva, M. S., García-Estévez, I., Williams, P., Mateus, N., Doco, T., de



- Freitas, V., & Soares, S. (2017). The role of wine polysaccharides on salivary protein-tannin interaction: A molecular approach. *Carbohydrate Polymers*, 177(July), 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.075>
- Buitimea-Cantúa, N. E., Torres-Chávez, P. I., Ramírez-Wong, B., Ledesma-Osuna, A. I., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Guerrero, D. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2018). Ferulic, p-coumaric, diferulic and triferulic acids contents of corn tortillas prepared with extruded corn flour and enriched with sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) bran. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1633–1640. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9778-4>
- Burton-Freeman, B. M., Sandhu, A., & Edirisinghe, I. (2017). Mangos and their bioactive components: adding variety to the fruit plate for health. *Food and Function*, 8, 3010–3032. <https://doi.org/10.1039/c7fo00190h>
- Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(24), 6975–6980. <https://doi.org/10.1021/jf020296n>
- Cervantes-Ramírez, J. E., Cabrera-Ramírez, A. H., Morales-Sánchez, E., Rodríguez-García, M. E., Reyes-Vega, M. de la L., Ramírez-Jiménez, A. K., Contreras-Jiménez, B. L., & Gaytán-Martínez, M. (2020). Amylose-lipid complex formation from extruded maize starch mixed with fatty acids. *Carbohydrate Polymers*, 246(May). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116555>
- Chávez, D. W. H., Ascheri, J. L. R., Carvalho, C. W. P., Godoy, R. L. O., & Pacheco, S. (2017). Sorghum and roasted coffee blends as a novel extruded product: Bioactive compounds and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, 29, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.12.012>
- CONASPROMANGO. (2012). *Plan Rector Nacional de Sistema: Producto Mango* (Vol. 01, Issue 313).
- Corredor, Y. A. V., & Pérez, L. I. P. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.18359/RFCB.3108>
- Crisantema, L. V. C. E. H. G. (2018). Polifenoles de la cáscara de mango para la acuicultura. *Comunicaciones Libres*, 69(1), 1–6.
- Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R., & Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(S), 10. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.nS.2017.530>



- Dalbhat, C. G., Mahato, D. K., & Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 226–240. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>
- De Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Zacarías, L., Rodrigo, M. J., Sáyago Ayerdí, S., Blancas Benítez, F. J., Domínguez Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2018). Effects of two different drying methods (freeze-drying and hot air-drying) on the phenolic and carotenoid profile of 'Ataulfo' mango by-products. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 2145–2157. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9830-4>
- Devi, B. ., Kuriakose, S. ., Khrishan, A. V. ., Choudhary, P., & Rwason, A. (2016). Utilization of By-product from Tomato Processing Industry for the Development of New Product. *Journal of Food Processing & Technology*, 7(8), 1–8. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000608>
- Dlamini, N. R., Dykes, L., Rooney, L. W., Waniska, R. D., & Taylor, J. R. N. (2009). Condensed Tannins in Traditional Wet-Cooked and Modern Extrusion-Cooked Sorghum Porridges. *Cereal Chem*, 86(2), 1–4.
- Dlamini, N. R., Taylor, J. R. N., & Rooney, L. W. (2007). The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of African sorghum-based foods. *Food Chemistry*, 105, 1412–1419. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.017>
- El-Faham, S. ., Mohsen, M. . A., Sharaf, A. ., & Ahmed, A. Z. (2017). Utilization of mango peels as a source of polyphenolic antioxidants. *Current Research Web*, 05(04), 529–542.
- Espinoza-Moreno, R. J., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., López-Valenzuela, J. A., Paredes-López, O., & Gutiérrez-Dorado, R. (2016). Healthy Ready-to-Eat Expanded Snack with High Nutritional and Antioxidant Value Produced from Whole Amaranth Transgenic Maize and Black Common Bean. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(2), 218–224. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0551-8>
- Estrada Mesa, E. M., Padilla Reyes, F., & Márquez Cardozo, C. J. (2015). Effect of protective coatings on the quality of mango (*Mangifera indica* L.) in postharvest. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.*, 8(1), 181–188.
- Faustino, M., Veiga, M., Sousa, P., Costa, E. M., Silva, S., & Pintado, M. (2019). Agro-food byproducts as a new source of natural food additives. *Molecules*, 24(6), 1–23. <https://doi.org/10.3390/molecules24061056>
- Félix-Medina, J. V., Montes-Ávila, J., Reyes-Moreno, C., Perales-Sánchez, J. X. K., Gómez-Favela, M. A., Aguilar-Palazuelos, E., & Gutiérrez-Dorado, R. (2020). Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value



- produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *Lwt*, 124, 109172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109172>
- Floegel, A., Kim, D. O., Chung, S. J., Koo, S. I., & Chun, O. K. (2011). Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(7), 1043–1048. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.01.008>
- Flores, D. (2018). *Obtención de un producto de confitería a base de bagazo de mango Ataulfo (Mangifera indica L.) y evaluación de su efecto prebiótico in vitro [Tesis de maestría]* [Universidad Autónoma de Querétaro]. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1091>
- García-Magaña, M. ., García, H., Bello-Pérez, L., Sáyago-Ayerdi, S. G., & Mata-Montes, O. (2013). Functional Properties and Dietary Fiber Characterization of Mango Processing By-products (Mangifera indica L., cv Ataulfo and Tommy Atkins). *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(3), 254–258. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0364-y>
- Goda, S. A., Galal, G. A., & El-shourbagy, G. A. (2019). Fortification of extruded snacks using some fruit peels. *Food, Dairy and Home Economic Research*, 46(5), 1539–1551.
- Gómez-Caravaca, A. M., López-Cobo, A., Verardo, V., Segura-Carretero, A., & Fernández-Gutiérrez, A. (2016). HPLC-DAD-q-TOF-MS as a powerful platform for the determination of phenolic and other polar compounds in the edible part of mango and its by-products (peel, seed, and seed husk). *Electrophoresis*, 37(7–8), 1072–1084. <https://doi.org/10.1002/elps.201500439>
- Gutiérrez, C., Rivera, Y., Gómez, R., Bastidas, V., & Izaguirre, C. (2015). Extracción y caracterización de grasa y almidón de la almendra de mango variedad Alphonso (Mangifera indica L). *Fac Farm.*, 57(2)(January 2015), 33–42. <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/42003/1/art4.pdf>
- Hernández, F. (2015). *Elaboración y evaluación de un dulce enriquecido con fibra dietética presente en bagazo de mango [Tesis de maestría]* [Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Querétaro]]. <https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/21495>
- Hernández López, M. del P., Sandoval Aldana, A. P., & Valencia Montoya, J. A. (2016). CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA GRASA DE SEMILLA DE VEINTE CULTIVARES DE MANGO (Mangifera indica L.) EN COLOMBIA. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38(1), 10–21. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-297/14>
- Herrera-Cazares, L. A., Hernández-Navarro, F., Ramírez-Jiménez, A. K., Campos-Vega, R., Reyes-Vega, M. D. L. L., Loarca-Piña, G., Morales-Sánchez, E.,



- Wall-Medrano, A., & Gaytán-Martínez, M. (2017). Mango-bagasse functional-confectionery: Vehicle for enhancing bioaccessibility and permeability of phenolic compounds. *Food and Function*, 8(11), 3906–3916. <https://doi.org/10.1039/c7fo00873b>
- Hincapié, G. A., Vázquez, D. C., Galicia, V. S., & Hincapié, C. A. (2014). Propiedades técnico-funcionales de la fibra dietaria de cáscaras de mango variedad hilacha (*Manguiífera indica* L.): efecto del secado por convención. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 153–160.
- Huang, Y. L., & Ma, Y. S. (2016). The effect of extrusion processing on the physiochemical properties of extruded orange pomace. *Food Chemistry*, 192, 363–369. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.039>
- Imran, M., Anjum, F. M., Butt, M. S., & Sheikh, M. A. (2012). Influence of Extrusion Processing on Tannin Reduction and Oil Loss in Flaxseed (*Linum Usitatissimum* L.) Meal. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 622–629. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12012>
- Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F. Y., Nyam, K. L., Norulaini, N. A. N., Sahena, F., & Mohd Omar, A. K. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: A review. *Food Chemistry*, 183, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.046>
- 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>
- Jiménez-Moreno, N., Esparza, I., Bimbela, F., Gandía, L. M., & Ancín-Azpilicueta, C. (2020). Valorization of selected fruit and vegetable wastes as bioactive compounds: Opportunities and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(20), 2061–2108. <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1694819>
- Jozinović, A., Đurđica Ačkar, Jurislav Babić, Borislav Miličević, Stela Jokić, & Drago Šubarić. (2017). The application of some food industry by-products in the production of extruded products. *Engineering Power*, 12(1), 1–16.
- Khanal, R. ., Howard, I. ., Brownmiller, C. ., & Prior, R. . (2009). Procyanidin Content of Grape Seed and Pomace, and Total Anthocyanin Content of Grape Pomace as Affected by Extrusion Processing. *Food Science and Technology Research*, 74(6), 174–182. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01221.x>
- Konrade, D., & Klava, D. (2017). Total Content of Phenolics and Antioxidant Activity in Crispbreads with Plant By-product addition. *Rural Sustainability Research*, 38(333), 24–31. <https://doi.org/10.1515/plua-2017-0009>





- Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D., & Rungsardthong, V. (2016). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 561–570. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2039-1>
- Kothakota, A., Navdeep, J., & Thimmaiah, B. (2013). A study on evaluation and characterization of extruded product by using various by-products. *African Journal of Food Science*, 7(12), 485–497. <https://doi.org/10.5897/ajfs2013.1065>
- Krieger, H. M., & Soria, Eugenio Guzmán, María Teresa de la Garza Carranza, J. P. G. F. (2017). ANÁLISIS ECONOMÉTRICO DE LAS VENTAS DE PULPA DE MANGO DE FROZEN PULPS DE MÉXICO SA DE CV. *Pistas Educativas*, 38(124), 195–207.
- Kumar, A. T. V., Mani, I., Pramod, A., Samuel, D. V. K., Jha, S. K., Sahoo, P. K., Sinha, J. P., & Kar, A. (2018). Effect of extrusion technique on antinutritional factors of sorghum-soya blends. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 88(3), 420–428.
- Kumar, N., Sarkar, B. C., & Sharma, H. K. (2010). Development and characterization of extruded product using carrot pomace and rice flour. *International Journal of Food Engineering*, 6(3), 703–717. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1824>
- Larrea, M. A., Chang, Y. K., & Martinez-Bustos, F. (2005). Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 38(3), 213–220. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.05.014>
- Lauricella, M., Emanuele, S., Calvaruso, G., Giuliano, M., & D'Anneo, A. (2017). Multifaceted health benefits of *Mangifera indica* L. (Mango): The inestimable value of orchards recently planted in sicilian rural areas. *Nutrients*, 9(5). <https://doi.org/10.3390/nu9050525>
- Leyva-Corral, J., Quintero-Ramos, A., Camacho-Dávila, A., Ruiz-Anchondo, T. D. J., & Mel, C. O. (2016). compound stability and antioxidant capacity of apple pomace in an extruded cereal. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 228–236. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.073>
- Liang, N., & Kitts, D. D. (2014). Antioxidant property of coffee components: Assessment of methods that define mechanism of action. *Molecules*, 19(11), 19180–19208. <https://doi.org/10.3390/molecules191119180>
- Lizárraga-Velázquez, C. E., Hernández, C., González-Aguilar, G. A., & Heredia, J. B. (2018). Effect of hydrophilic and lipophilic antioxidants from mango peel (*Mangifera indica* L. cv. Ataulfo) on lipid peroxidation in fish oil. *CyTA - Journal*



of *Food*, 16(1), 1095–1101. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1513425>

- Llopart, E. (2011). *Efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de productos extrudidos de sorgo integral de bajo contenido de taninos* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional del Litoral.
- López-Cobo, A., Verardo, V., Diaz-de-Cerio, E., Segura-Carretero, A., Fernández-Gutiérrez, A., & Gómez-Caravaca, A. M. (2017). Use of HPLC- and GC-QTOF to determine hydrophilic and lipophilic phenols in mango fruit (*Mangifera indica* L.) and its by-products. *Food Research International*, 100, 423–434. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.02.008>
- Luo, F., Fu, Y., Xiang, Y., Yan, S., Hu, G., Huang, X., Huang, G., Sun, C., Li, X., & Chen, K. (2014). Identification and quantification of gallotannins in mango (*Mangifera indica* L.) kernel and peel and their antiproliferative activities. *Journal of Functional Foods*, 8(1), 282–291. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.03.030>
- Ma, W., Guo, A., Zhang, Y., Wang, H., Liu, Y., & Li, H. (2014). A review on astringency and bitterness perception of tannins in wine. *Trends in Food Science and Technology*, 40(1), 6–19. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.08.001>
- Madalageri, D., Bharati, P., & Kage, U. (2017). Physicochemical properties, nutritional and antinutritional composition of pulp and peel of three mango varieties. *International Journal of Educational Science and Research*, 7(3), 81–94.
- Maldonado-Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., Restrepo, B., & Guerrero Ospina, J. C. (2019). Chemical Composition of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit: Nutritional and Phytochemical Compounds. *Frontiers in Plant Science*, 10(October), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073>
- Mamani, I. (2015). Modeling of Thermal Properties of Persian Walnut Kernel as a Function of Moisture Content and Temperature Using Response Surface Methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2762–2772. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12527>
- Mendoza-Corvis, F. A., Arteaga M., M., & Pérez S., O. (2016). Comportamiento de la vitamina c en un producto a base de lactosuero y pulpa de mango variedad magdalena river (*Mangifera indica* L.) durante el secado por aspersión. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(2), 159–166. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182016000200008>
- Mudgil, D., & Barak, S. (2019). Classification, technological properties, and sustainable sources. In *Dietary Fiber: Properties, Recovery, and Applications*.



Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816495-2.00002-2>

Mukhopadhyay, N., & Bandyopadhyay, S. (2003). Extrusion cooking technology employed to reduce the anti-nutritional factor tannin in sesame ( *Sesamum indicum* ) meal. *Journal of Food Engineering*, 56, 201–202.

Mukhopadhyay, N., Sarkar, S., & Bandyopadhyay, S. (2007). Effect of extrusion cooking on anti-nutritional factor tannin in linseed ( *Linum usitatissimum* ) meal. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 58(December), 588–594. <https://doi.org/10.1080/09637480701343952>

Müller-Maatsch, J., Bechtold, L., Schweiggert, R. M., & Carle, R. (2016). Co-pigmentation of pelargonidin derivatives in strawberry and red radish model solutions by the addition of phenolic fractions from mango peels. *Food Chemistry*, 213, 625–634. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.097>

Mutua, J. K., Imathiu, S., & Owino, W. (2017). Evaluation of the proximate composition, antioxidant potential, and antimicrobial activity of mango seed kernel extracts. *Food Science and Nutrition*, 5(2), 349–357. <https://doi.org/10.1002/fsn3.399>

Nayak, B., Liu, R. H., Berrios, J. D. J., Tang, J., & Derito, C. (2011). Bioactivity of Antioxidants in Extruded Products Prepared from Purple Potato and Dry Pea Flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 8233–8243. <https://doi.org/10.1021/jf200732p>

Nikmaram, N., Leong, S. Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F. J., Greiner, R., Oey, I., & Roohinejad, S. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control*, 79, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.027>

Nomusa Rhoda, Ngw. (2007). The effect of sorghum type and processing on the antioxidant properties of sorghum (*Sorghum bicolor* (L). Moench) based foods. In *Food Chemistry* (Vol. 105, Issue May).

Noor Aziah, A. ., Lee Min, W., & Rajeev, B. (2011). Nutritional and sensory quality evaluation of sponge cake prepared by incorporation of high dietary fiber containing mango ( *Mangifera indica* var . Chokanan ) pulp and peel flours. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 7486(May), 559–567. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.562883>

Noor, I., Mohktar, H., Khan, R., & Mishra, P. (2012). Understanding Color Models : A Review. *ARPN Journal of Science and Technology*, 2(3), 265–275.

Noor, S. A. A., Siti, N. M., & Mahmud, N. J. (2015). Chemical Composition, Antioxidant Activity and Functional Properties of Mango (*mangifera indica* L.)





- var. Perlis Sunshine) peel flor (MPG). *Applied Mechanics and Materials*, 754–755, 1065–1070. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.754-755.1065>
- Ntsoane, M. L., Zude-Sasse, M., Mahajan, P., & Sivakumar, D. (2019). Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives. *Scientia Horticulturae*, 249, 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.033>
- Obadina, A. O., Oyewole, O. B., & Williams, O. E. (2013). Improvement in the traditional processing method and nutritional quality of traditional extruded cassava-based snack ( modified Ajogun ). *Food Science and Nutrition*, 350–356. <https://doi.org/10.1002/fsn3.43>
- Offiah, V., Kontogiorgos, V., & Falade, K. O. (2018). Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007>
- Okino Delgado, C. H., & Fleuri, L. F. (2016). Orange and mango by-products : Agro-industrial waste as source of bioactive compounds and botanical versus commercial description — A review. *Food Reviews International*, 32(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1041183>
- Olaeta, J. A., Schwartz, M., Undurraga, P., & Contreras, S. (2007). Use of Hass avocado (Persea Americana Mill.) Seed as a Processed Product. *Proceedings VI World Avocado Congress*, 978, 1–8. <http://www.avocadosource.com/WAC6/en/Extenso/4b-198.pdf>
- Olivas-Aguirre, F. J., Wall-medrano, A., González-aguilar, G. A., López-díaz, J. A., Álvarez-parrilla, E., & De, L. A. (2015). Taninos hidrolizables ; bioquímica , aspectos nutricionales y analíticos y efectos en la salud. *Nutricion Hospitalaria*, 31(1), 55–66. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.7699>
- Ondo, S. E., & Ryu, G. (2013). Physicochemical and Antioxidant Properties of Extruded Cornmeal with Natural Cocoa Powder. *Food Science & Biotechnology*, 22, 167–175. <https://doi.org/10.1007/s10068-013-0063-3>
- Patil, S., & Kaur, C. (2018). Review Current trends in Extrusion : Development of Functional Foods and Novel Ingredients. *Food Science and Technology Research*, 24(1), 23–34. <https://doi.org/10.3136/fstr.24.23>
- Patil, S. S., Varghese, E., Rudra, S. G., & Kaur, C. (2016). Effect of Extrusion Processing on Phenolics, Flavonoids and Antioxidant Activity of Millets. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 6(1), 177. <https://doi.org/10.5958/2277-9396.2016.00040.4>
- Pérez-Jiménez, J., Díaz-Rubio, M. E., & Saura-Calixto, F. (2013). Non-extractable



- polyphenols, a major dietary antioxidant: Occurrence, metabolic fate and health effects. *Nutrition Research Reviews*, 26(2), 118–129. <https://doi.org/10.1017/S0954422413000097>
- Pérez-Jiménez, J., Díaz-Rubio, M. E., & Saura-Calixto, F. (2014). Non-extractable polyphenols in plant foods: Nature, isolation, and analysis. In *Polyphenols in Plants: Isolation, Purification and Extract Preparation*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397934-6.00010-3>
- Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. (2018). Fruit peels as sources of non-extractable polyphenols or macromolecular antioxidants: Analysis and nutritional implications. *Food Research International*, 111(March), 148–152. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.05.023>
- Pierson, J. T., Monteith, G. R., Roberts-Thomson, S. J., Dietzgen, R. G., Gidley, M. J., & Shaw, P. N. (2014). Phytochemical extraction, characterisation and comparative distribution across four mango (*Mangifera indica* L.) fruit varieties. *Food Chemistry*, 149, 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.108>
- Quintana-Obregón, E., San Martín-Hernandez, C., Muy-Rangel, M., & Vargas-Ortiz, M. (2019). Valorization of mango (*Mangifera indica* L.) pericarp powders as an alternative for the generation of functional foods. *TIP Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 22, 1–5. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e2019.0.178>
- Quirós-Sauceda, A. E., Palafox-Carlos, H., Sáyago-Ayerdi, S. G., Ayala-Zavala, J. F., Bello-Perez, L. A., Álvarez-Parrilla, E., de la Rosa, L. A., González-Córdova, A. F., & González-Aguilar, G. A. (2014). Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestion. *Food Funct.*, 5(6), 1063–1072. <https://doi.org/10.1039/C4FO00073K>
- Ran, X. li, Zhang, M., Wang, Y., & Adhikari, B. (2019). Novel technologies applied for recovery and value addition of high value compounds from plant byproducts: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(3), 450–461. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1377149>
- Rathod, R. P., & Annapure, U. S. (2016). Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT - Food Science and Technology*, 66, 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.028>
- Ravindran, R., & Jaiswal, A. K. (2016). Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. *Trends in Biotechnology*, 34(1), 58–69. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.008>
- Rodríguez-miranda, J., Ruiz-lópez, I. I., Herman-lara, E., Martínez-sánchez, C. E.,



- & Delgado-Iicon, E. (2011). LWT - Food Science and Technology Development of extruded snacks using taro ( *Colocasia esculenta* ) and nixtamalized maize ( *Zea mays* ) flour blends. *LWT - Food Science and Technology*, 44(3), 673–680. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.06.036>
- Rodríguez, L. S. (2015). *Evaluación de las propiedades funcionales del mango durante el almacenamiento [Tesis de pregrado]* [Escuela Politécnica Superior de Orihuela]. [http://dspace.umh.es/bitstream/11000/1980/1/TFG Sánchez Rodríguez%2C Lucía.pdf](http://dspace.umh.es/bitstream/11000/1980/1/TFG_Sánchez_Rodríguez%2C_Lucía.pdf)
- Rojas, R., Contreras-Esquivel, J. C., Orozco-Esquivel, M. T., Muñ Oz, C., Aguirre-Joya, J. A., & Aguilar, C. N. (2015). Mango Peel as Source of Antioxidants and Pectin: Microwave Assisted Extraction. *Waste and Biomass Valorization*, 6, 1095–1102. <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9401-4>
- Ryszard, A., & Janiak, M. (2019). Hydrolysable tannins. In *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 337–343). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21771-X>
- 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>
- SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional. *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*, 1(1), 1–14.
- SAGARPA. (2018). Atlas Agroalimentario 2012-2018. *Sevicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)*. SAGARPA, 1, 222. <https://doi.org/10.1111/resp.12002>
- Salazar Lopez, N. J., Loarca-Piña, G., Campos-Vega, R., Gaytán Martínez, M., Morales Sánchez, E., Esquerra-Brauer, J. M., Gonzalez-Aguilar, G. A., & Robles Sánchez, M. (2016). The Extrusion Process as an Alternative for Improving the Biological Potential of Sorghum Bran: Phenolic Compounds and Antiradical and Anti-Inflammatory Capacity. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2016(September). <https://doi.org/10.1155/2016/8387975>
- Salgado, N., Giraldo, G. I., & Orrego, C. E. (2017). Influence of the extrusion operating conditions on the antioxidant, hardness and color properties of extruded mango. *LWT*, 86, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.07.049>
- Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., & Ng, P. K. W. (2014). Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties , resistant starch , phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *FOOD CHEMISTRY*, 143, 33–39.





<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.081>

- Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. *Revista de La Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería a.C*, 16(2), 33. [https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista\\_2012\\_V16\\_n2.pdf](https://smbb.mx/wp-content/uploads/2017/10/Revista_2012_V16_n2.pdf)
- Sáyago-Ayerdi, S. G., Moreno-Hernández, C. L., Montalvo-González, E., García-Magaña, M. L., Mata-Montes de Oca, M., Torres, J. L., & Pérez-Jiménez, J. (2013). Mexican “Ataulfo” mango (*Mangifera indica* L) as a source of hydrolyzable tannins. Analysis by MALDI-TOF/TOF MS. *Food Research International*, 51(1), 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.034>
- Serna, L., & Torres, C. (2014). Potencial agroindustrial de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) variedades Keitt y Tommy Atkins. *Acta Agronomica*, 64(2), 110–115. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n2.43579>
- Shahidi, F., & Yeo, J. D. (2016). Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules*, 21(9). <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
- Sharma, P., Gujral, H. S., & Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131(4), 1406–1413. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.009>
- Sieniawska, E., & Baj, T. (2017). Chapter 10 – Tannins. In *Pharmacognosy*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802104-0.00010-X>
- Sivankalyani, V., Feygenberg, O., Diskin, S., Wright, B., & Alkan, N. (2016). Increased anthocyanin and flavonoids in mango fruit peel are associated with cold and pathogen resistance. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.001>
- Smeriglio, A., Barreca, D., Bellocco, E., & Trombetta, D. (2017). Proanthocyanidins and hydrolysable tannins: occurrence, dietary intake and pharmacological effects. *British Journal of Pharmacology*, 174(11), 1244–1262. <https://doi.org/10.1111/bph.13630>
- Soares, S., Kohl, S., Thalmann, S., Mateus, N., Meyerhof, W., & De Freitas, V. (2013). Different phenolic compounds activate distinct human bitter taste receptors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(7), 1525–1533. <https://doi.org/10.1021/jf304198k>
- Soares, S., Santos-Silva, M., García-Estevez, I., Gobmann, P., Brás, N., Brandao, E., Mateus, N., De Freitas, V., Behrens, M., & Meyerhof, W. (2018). Human Bitter Taste Receptors Are Activated by Different Classes of Polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 8814–8823. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03569>



- Sogi, D. S., Siddiq, M., Greiby, I., & Dolan, K. D. (2013). Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of “Tommy Atkins” mango peel and kernel as affected by drying methods. *Food Chemistry*, 141(3), 2649–2655. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.053>
- Solovchenko, A., Yahia, E. M., & Chen, C. (2019). Pigments. In *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00011-7>
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & Ibanoglu, S. (2008). The recycling of brewer’s processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 469–479. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.016>
- Sudha, M. L., Indumathi, K., Sumanth, M. S., Rajarathnam, S., & Shashirekha, M. N. (2015). Mango pulp fibre waste: characterization and utilization as a bakery product ingredient. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(3), 382–388. <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9246-3>
- Suntar, I., Labanca, F., & Milella, L. (2020). Gallotannins in Food. *Handbook of Dietary Phytochemicals*, 1–28. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1745-3\\_26-1](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1745-3_26-1)
- Tesfaye, T. (2017). Valorisation of Mango Fruit By-products: Physicochemical Characterisation and Future Prospect. *Chemical and Process Engineering Research*, 50(May), 22–34. <https://www.researchgate.net/publication/317278903>
- Tiznado, J. A. G., Palazuelos, M. de J. H., Ramona Julieta Espinoza Moreno, Campos, M. C., Vargas, F. D., Dorado, R. G., Carrillo, J. M., & Moreno, C. R. (2013). Antioxidant and antimutagenic activities of optimized extruded desi chickpea (*cicer arietinum* L) flours. *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences*, 3(1), 38–47. <https://doi.org/10.6000/1927-5951.2013.03.01.5>
- Torres-León, C., Vicente, A. A., Flores-López, M. L., Rojas, R., Serna-Cock, L., Alvarez-Pérez, O. B., & Aguilar, C. N. (2018). Edible films and coatings based on mango (var. Ataulfo) by-products to improve gas transfer rate of peach. *Lwt*, 97, 624–631. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.057>
- Torres Leon, C., Rojas, R., Contreras-Esquivel, J. C., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R. E., & Obal Aguilar, C. N. (2016). Mango seed: Functional and nutritional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 55, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.06.009>
- Wall-Medrano, A., Olivas-Aguirre, F. J., Ayala-Zavala, J. F., Domínguez-Avila, J. A., Gonzalez-Aguilar, G. A., Herrera-Cazares, L. A., & Gaytan-Martinez, M. (2020). Health Benefits of Mango By-products. *Food Wastes and By-products*,







159–191. <https://doi.org/10.1002/9781119534167.ch6>

- Wang, Y. Y., & Ryu, G. H. (2013). Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn grits with corn fiber by CO<sub>2</sub> injection extrusion process. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.03.013>
- William, L., Pangzhen, Z., Danyang, Y., & Zhongxiang, F. (2020). Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 218–246. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>
- Yağci, S., & Göğüş, F. (2009). Development of extruded snack from food by-products: A response surface analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 32(4), 565–586. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00232.x>
- Zhang, G., Ni, C., Ding, Y., Zhou, H., Caizhi, O., Wang, Q., Wang, J., & Cheng, J. (2020). Effects of Low Moisture Extrusion on the Structural and Physicochemical Properties of Adlay (*Coix lacryma-jobi* L.) Starch-Based Polymers. *Process Biochemistry*, 96(May), 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.05.028>
- Zhang, H., & Tsao, R. (2016). Dietary polyphenols , oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Current Opinion in Food Science*, 8, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.02.002>



## Anexos

### 11.1. Anexo 1

#### Consentimiento informado

Instituto Politécnico Nacional  
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada  
Unidad Querétaro  
Maestría en Tecnología Avanzada  
Cerro blanco #141, Colinas del Cimatarío  
Email: [agonzalezo1103@alumno.ipn.mx](mailto:agonzalezo1103@alumno.ipn.mx) Cel. 4423721599

Por medio del presente documento **Consentimiento informado** se hace constar a su conocimiento y aceptación como participante en la sección de evaluación sensorial en el proyecto “**Disminución del contenido de taninos en un subproducto de mango (*Mangifera indica* L.) aplicando extrusión**” realizado en las instalaciones del CICATA-IPN-QRO.

Los requisitos para ser participe son los siguientes:

- Consumo habitual o gusto por el fruto del mango
- No presentar alergias hacia el fruto del mango
- No tener patologías o enfermedades que alteren los sentidos
- No ser fumador

**Los productos fueron realizados en condiciones inocuas y no presentan un riesgo a su salud.**

Se realizarán 2 pruebas que consisten en probar los productos proporcionados y evaluarlos de acuerdo con lo establecido en la boleta. En cada prueba se le proporcionará 2 productos en vasos muestra, una botella de agua purificada, una boleta con instrucciones y un bolígrafo.

Las pruebas realizadas son de carácter experimental y con fines de investigación.





## 11.2. Anexo 2



### Prueba de preferencia

- Bebida subproductos de mango



Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ edad: \_\_\_\_\_ sexo: \_\_\_\_\_

Instrucciones: pruebe cada una de la muestras que se encuentran frente a usted y **ordene** en las líneas en escala de 1 a 2 de mayor a menor preferencia. Comience por la más próxima hacia usted y enjuague su boca con agua al inicio y entre muestras para continuar.

1= mayor preferencia 😊

2= menor preferencia ☹️

Código de la muestra

Preferencia (no se permiten empates)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Describe el motivo de agrado en la bebida de mayor preferencia: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Describe el motivo de desagrado en la bebida de menor preferencia: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

¡ Gracias por participar!





### 11.3. Anexo 3



#### Prueba nivel de agrado

#### Bebidas subproductos de mango



Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ edad: \_\_\_\_ sexo:\_\_\_\_\_

Instrucciones: pruebe cada una de la muestras que se encuentran frente a usted, anote el código de la muestra e **indique con una X** su nivel de agrado. Comience por la muestra de la izquierda y enjuague su boca con agua al inicio y entre muestras para continuar.

Resabio en la bebida	543	987
Me gusta muchísimo		
Me gusta mucho		
Me gusta		
Me gusta ligeramente		
Ni me gusta ni me disgusta		
Me disgusta ligeramente		
Me disgusta		
Me disgusta mucho		
Me disgusta muchísimo		

Color en la bebida	543	987
Me gusta muchísimo		
Me gusta mucho		
Me gusta		
Me gusta ligeramente		
Ni me gusta ni me disgusta		
Me disgusta ligeramente		
Me disgusta		
Me disgusta mucho		
Me disgusta muchísimo		

Sabor a mango	543	987
Me gusta muchísimo		
Me gusta mucho		
Me gusta		
Me gusta ligeramente		
Ni me gusta ni me disgusta		
Me disgusta ligeramente		
Me disgusta		
Me disgusta mucho		
Me disgusta muchísimo		

Agrado general	543	987
Me gusta muchísimo		
Me gusta mucho		
Me gusta		
Me gusta ligeramente		
Ni me gusta ni me disgusta		
Me disgusta ligeramente		
Me disgusta		
Me disgusta mucho		
Me disgusta muchísimo		

¡Gracias por participar!

