



**Centro de Investigación en Alimentación y  
Desarrollo, A.C.**

**BIOACCESIBILIDAD *In vitro* DE COMPUESTOS  
BIOACTIVOS DE EXTRUDIDOS DE MAÍZ ADICIONADOS  
CON CÁSCARA DE MANGO Y PAPAYA**

---

Por:

**Alejandro Fontes Zepeda**

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN VEGETAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

**MAESTRÍA EN CIENCIAS**

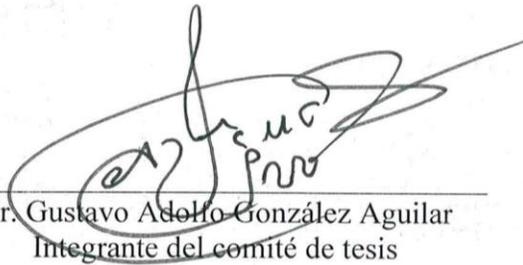
## APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Alejandro Fontes Zepeda, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias



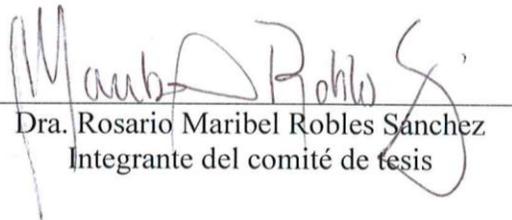
---

Dr. Jesús Abraham Domínguez Avila  
Director de Tesis



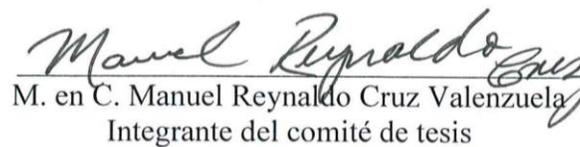
---

Dr. Gustavo Adolfo González Aguilar  
Integrante del comité de tesis



---

Dra. Rosario Maribel Robles Sanchez  
Integrante del comité de tesis



---

M. en C. Manuel Reynaldo Cruz Valenzuela  
Integrante del comité de tesis

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis "Bioaccesibilidad *In vitro* de Compuestos Bioactivos de Extruidos de Maíz Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya" es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Alejandro Fontes Zepeda, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director(a) de tesis.

CIAD

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN  
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.  
Coordinación de Programas Académicos



Dr. Pablo Wong González  
Director General

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de posgrado.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. por ofrecerme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría y permitirme alcanzar una meta más para mi formación personal y profesional.

Al proyecto NO563 “Un enfoque multidisciplinario de la farmacocinética de los polifenoles de mango Ataulfo: Interacciones moleculares, estudios preclínicos y clínicos”, CONACYT 2016-2019. Fronteras de la Ciencia. Clave 563.

A mi director de tesis, Dr. Abraham Domínguez Avila por haber tomado la decisión de compartir sus conocimientos. Además, por encaminarme por el camino correcto para lograr mis metas y lo que me proponga.

A mi comité de tesis integrado por el Dr. Gustavo González Aguilar, Dra. Rosario Maribel Robles Sánchez y el M.C. Manuel Reynaldo Cruz Valenzuela, por el apoyo brindado.

Al equipo de trabajo y personal del laboratorio de antioxidantes y alimentos funcionales, Q.B. Mónica Villegas Ochoa por el apoyo técnico.

Al equipo de trabajo y personal del laboratorio de tecnologías de cereales, Q.B. María del Carmen Granados por el apoyo técnico.

A todos mis compañeros del laboratorio de antioxidantes y alimentos funcionales, en especial a Diana Perlette, Rosario Cázares, Clarisa Zepeda y Nill Campos; gracias por los buenos momentos que compartimos y la amistad brindada.

## **DEDICATORIA**

*A Dios porque sin él nada de esto hubiera sido posible*

*A mis padres Alejandro y Zonia, por ser el pilar de mi vida, quienes han sido la guía y el camino para poder llegar a este punto de mi carrera. Porque gracias a su apoyo, dedicación y palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aun cuando todo se complicaba. Con mucho amor y admiración. Los amo.*

## CONTENIDO

<b>APROBACIÓN</b> .....	2
<b>DECLARACIÓN INSTITUCIONAL</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>DEDICATORIA</b> .....	5
<b>CONTENIDO</b> .....	6
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	¡Error! Marcador no definido.
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	10
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	15
2.1 Producción de Mango y Papaya y sus Subproductos .....	15
2.2 Compuestos Bioactivos del Mango y la Papaya y sus Efectos en la Salud.....	17
2.3 La Importancia del Maíz para la Elaboracion de Extrudidos .....	20
2.4 Propiedades Físicas de Extrudidos Adicionados con Subproductos de Origen Vegetal y Efectos sobre su Aceptabilidad Sensorial.....	21
2.5 Productos Extrudidos y Bioaccesibilidad <i>In Vitro</i> .....	23
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	25
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	26
4.1 Objetivo general .....	26
4.2 Objetivos específicos.....	26
<b>5. MATERIALES Y METODOS</b> .....	27
5.1 Materia Prima .....	27
5.2 Determinación de Humedad en Harina de Maíz y Cáscara de Mango y Papaya .....	27
5.3 Caracterización de Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante.....	28
5.3.1. Extracción de Compuestos Fenólicos .....	28
5.3.2. Determinación de Compuestos Fenólicos Totales.....	28
5.3.3. Determinación de la Capacidad Antioxidante por el Método de DPPH .....	29
5.3.4. Determinación de la Capacidad Antioxidante por el Método de TEAC .....	29
5.3.5. Determinación de la Capacidad Antioxidante por el Método de FRAP.....	30
5.3.6. Extracción y Determinación de Carotenoides .....	30
5.4 Extrusión .....	31
5.4.1. Elaboración de Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya .....	31
5.5 Análisis Microbiológico y Evaluación Sensorial .....	32
5.5 Caracterización de Propiedades Físicas de Extrudidos .....	34
5.5.1. Color .....	35
5.5.2. Textura.....	35

## CONTENIDO (continuación)

5.5.3. Porcentaje de Expansión.....	35
5.6. Bioaccesibilidad <i>in vitro</i> de Compuestos Bioactivos .....	36
5.6.1. Digestión <i>in vitro</i> de Extrudidos Adicionados.....	36
5.7. Diseño Experimental y Análisis de Datos .....	38
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>39</b>
6.1 Porcentaje de Humedad en las Materias Primas.....	39
6.2 Caracterización de Compuestos Bioactivos de las Materias Primas .....	40
6.3 Capacidad Antioxidante de Cáscara de Mango, Papaya y sus Combinaciones .....	42
6.4 Análisis Proximal de Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya.....	44
6.5 Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante de Extrudidos de Maíz Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya.....	45
6.6 Propiedades Físicas y Evaluación Sensorial de Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya.....	52
6.7 Absorción aparente <i>in vitro</i> de Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante en Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya .....	58
6.8 Absorción aparente <i>in vitro</i> de Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante de Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya Durante la Digestión <i>in vitro</i> .....	64
6.9 Análisis de Componentes Principales .....	71
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>75</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>9. REFERENCIAS .....</b>	<b>77</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Producción de frutas tropicales a nivel mundial.....	16
2	Porcentajes de subproductos generados por la industria de los alimentos mínimamente procesados.....	17
3	Boleta para la Evaluación Sensorial.....	34
4	Concentración de compuestos fenólicos en harina de maíz (HM), cáscara de mango (CM) y cáscara de papaya (CP).....	41
5	Concentración de carotenoides en harina de maíz (HM), cáscara de mango (CM), cáscara de papaya (CP).....	42
6	Capacidad antioxidante por los métodos DPPH (A), TEAC (B) y FRAP (C) en harina de maíz (Control), cáscara de mango (M15 %), cáscara de papaya (P15 %) y sus combinaciones en proporción 2:1 (M10 % P5 %), 1:1 (M7.5 % P7.5 %) y 1:2 (M5 % P10 %).....	43
7	Concentración de compuestos fenólicos en extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones.....	46
8	Concentración de carotenoides en extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones.....	48
9	Capacidad antioxidante por los métodos DPPH, TEAC y FRAP en extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones.....	50
10	Correlaciones de Pearson entre compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (DPPH, FRAP y TEAC) de extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.....	51
11	Espacio del color CIELab de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.....	54
12	Concentración de compuestos fenólicos de extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante la fase de digestión <i>in vitro</i> oral, gástrica e intestinal.....	59
13	Concentración de carotenoides en extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante la fase de digestión <i>in vitro</i> oral, gástrica e intestinal.....	60
14	Capacidad antioxidante por el método DPPH en extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante las fases de digestión <i>in vitro</i> oral, gástrica e intestinal.....	62

## LISTA DE FIGURAS (continuación)

15	Capacidad antioxidante por el método TEAC en extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante las fases de digestión <i>in vitro</i> oral, gástrica e intestinal.....	63
16	Capacidad antioxidante por el método FRAP en extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante las fases de digestión <i>in vitro</i> oral, gástrica e intestinal.....	64
17	Absorción aparente <i>in vitro</i> de compuestos fenólicos durante la fase gástrica (A) e intestinal (B), en extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones.....	66
18	Concentración de carotenoides durante la fase intestinal en extrudidos de maíz adicionados con 15% de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones.....	67
19	Capacidad antioxidante por el método DPPH durante la fase gástrica (A) e intestinal (B) de extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones.....	68
20	Capacidad antioxidante por el método TEAC durante la fase gástrica (A) e intestinal (B) de extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones.....	69
21	Capacidad antioxidante por el método FRAP durante la fase gástrica (A) e intestinal (B) de extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones.....	70
22	Gráfica de influencia entre las variables.....	74
23	Gráfica de puntuaciones en un espacio tridimensional.....	74

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Compuestos bioactivos en cáscara de mango y papaya.....	19
2	Estudios de extrudidos adicionados con subproductos de origen vegetal.....	22
3	Composición de extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.....	32
4	Composición de fluidos de simulación gástrica e intestinal.....	36
5	Porcentaje de humedad en materias primas.....	40
6	Análisis proximal de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.....	45
7	Valor real y esperado de compuestos bioactivos en extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.....	49
8	Parámetros de color CIELab de extrudidos de maíz adicionados con cáscara de mango y papaya.....	53
9	Propiedades físicas en extrudidos de maíz adicionados con cáscara de mango y papaya.....	56
10	Análisis sensorial de extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.....	57
11	Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación.....	73

## RESUMEN

Frutas como mango y papaya se procesan en la industria generando una gran cantidad de subproductos, tales como la cáscara, que diversos estudios han demostrado que contiene compuestos bioactivos que pueden conferir un beneficio a la salud. Una estrategia es utilizarla como aditivo en alimentos extrudidos tipo bocadillos, dando lugar a productos con valor agregado. En este estudio, se formularon extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango o papaya y sus combinaciones, a los cuales se les evaluó el potencial biológico (compuestos fenólicos, carotenoides y capacidad antioxidante), características fisicoquímicas (color, expansión y fracturabilidad), aceptabilidad general, bioaccesibilidad y absorción aparente de los compuestos bioactivos. La adición de cáscara de mango a extrudidos de maíz incrementó ( $p < 0.05$ ) su concentración de compuestos fenólicos ( $3.08 \pm 0.10$  mg EAG/g p.s.) y capacidad antioxidante evaluada por los métodos DPPH, TEAC y FRAP ( $17.01 \pm 0.12$ ,  $5.69 \pm 1.26$  y  $3.81 \pm 0.16$  ET/g p.s., respectivamente), mientras que redujo ( $p < 0.05$ ) los porcentajes de expansión (43.63 %) y fracturabilidad (7.12 N), en comparación al control. Por otro lado, la cáscara de papaya contribuyó a una mayor ( $p < 0.05$ ) concentración de carotenoides ( $17.46 \pm 0.74$   $\mu$ g E $\beta$ -C/g p.s.) e incrementó ( $p < 0.05$ ) los valores de a\* (8.3), b\* (20.12) y C\* (21.22), en comparación al control. El extrudido adicionado con 10 % y 5 % cáscara de mango y papaya, respectivamente, mostró una mayor ( $p < 0.05$ ) aceptabilidad general de  $4.07 \pm 1.07$ , en comparación al control. Durante la digestión *in vitro*, la mayor liberación de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante ocurrió en la fase intestinal, en comparación con las fases oral y gástrica. Los extrudidos con mayor proporción de cáscara de mango presentaron mayor ( $p < 0.05$ ) bioaccesibilidad y absorción aparente de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, en comparación al resto. Finalmente, el análisis de componentes principales demostró que los extrudidos con mayor porcentaje de cáscara de mango correlacionaron positivamente con la concentración de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, valores de a\* y b\* y atributos sensoriales. Estos resultados sugieren que la incorporación de subproductos de origen vegetal, puede ser una estrategia eficaz para incrementar la concentración de compuestos bioactivos y mejorar atributos sensoriales de extrudidos de maíz.

**Palabras Clave:** Subproductos, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y atributos sensoriales.

## ABSTRACT

Fruits such as mango and papaya are processed in the industry generating a large number of by-products, such as peel, which various studies have shown that it contains bioactive compounds with health benefits. A strategy is to use this by-product as an additive in snack-type extruded foods, resulting in products with added value. In this study, corn extrudates with 15 % mango or papaya peel and their combinations were formulated, and their biological potential (phenolic compounds, carotenoids and antioxidant capacity), physicochemical characteristics (color, expansion and fracturability), general acceptability, bioaccessibility and apparent absorption of their bioactive compounds were analyzed. Corn extrudates with mango peel had an increased ( $p < 0.05$ ) concentration of phenolic compounds ( $3.08 \pm 0.10$  mg GAE/g d.w.) and antioxidant capacity evaluated by the DPPH, TEAC and FRAP methods ( $17.01 \pm 0.12$ ,  $5.69 \pm 1.26$  and  $3.81 \pm 0.16$  TE/g DW, respectively), and a reduced ( $p < 0.05$ ) expansion percentage (43.63 %) and fracturability (7.12 N). On the other hand, papaya peel contributed to a higher ( $p < 0.05$ ) concentration of carotenoids ( $17.46 \pm 0.74$   $\mu\text{g } \beta\text{-C E/g d.w.}$ ) and increased ( $p < 0.05$ ) the values of  $a^*$  (8.3),  $b^*$  (20.12) and  $C^*$  (21.22), as compared to the control. Extrudates with 10 % and 5 % mango and papaya peel, respectively, showed a higher ( $p < 0.05$ ) overall acceptability of  $4.07 \pm 1.07$ , as compared to the control. During *in vitro* digestion, release of bioactive compounds and antioxidant capacity was greatest during the intestinal stage, as compared to oral and gastric. Extrudates that contained more mango peel showed higher percentages of bioaccessibility and apparent absorption of bioactive compounds and antioxidant capacity during *in vitro* digestion, as compared to extrudates with more papaya peel. Principal component analysis showed that extrudates with higher percentages of mango peel were positively correlated with the concentration of bioactive compounds, antioxidant capacity,  $a^*$  and  $b^*$  values and sensory attributes. These results suggest that the incorporation of by-products of vegetable origin into corn extrudates, can be an effective strategy to increase their concentration of bioactive compounds and can improve some of their sensory attributes.

**Keywords:** By-product, bioactive compounds, antioxidant capacity and sensory attributes.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha promovido el consumo de frutas por los beneficios a la salud que pueden ejercer en los consumidores. Entre los años 2008 y 2017, se produjeron alrededor de 23 millones de toneladas de frutas tropicales a nivel mundial, asegurando el mango (*Mangifera indica* L.) un 51 % del total de la producción, seguido de papaya (*Carica papaya* L.) con 15 % y otras frutas con 34 % (FAO, 2017). Sin embargo, en muchos de los casos la fruta no es consumida directamente; cuando la fruta es recolectada, ésta se dirige a la industria, generando aproximadamente 10-60 % de subproductos como cáscaras, semillas, núcleos, orujos entre otros, los cuales contienen una gran concentración y diversidad de compuestos fenólicos, carotenoides, fibra dietaria, vitaminas y minerales (Da Silva et al., 2014; Gómez y Martínez, 2017). A estos compuestos se les denomina bioactivos, debido a que se les han atribuido actividades biológicas que pueden incidir en la prevención y tratamiento de algunas enfermedades no transmisibles asociadas al estrés oxidativo, tales como algunos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Hernández y Goñi, 2011). Por esta razón, el aprovechamiento de subproductos de frutos podría ser una alternativa para la elaboración de nuevos productos con valor agregado.

La mayoría de los extrudidos que se encuentran en el mercado son elaborados a partir de cereales refinados (proceso de separación de la cascarilla) y suelen contener altas concentraciones de almidón, pero bajos niveles de vitaminas, minerales, aminoácidos y fibra, considerándolos alimentos pobres en nutrientes esenciales y de alto índice glicémico (Brennan et al., 2013). Es por ello que se han implementado estrategias para incrementar las concentraciones de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, tales como la adición subproductos vegetales como col rizada, bagazo de rosa mosqueta, manzana, arándanos y cáscara de toronja a extrudidos (Drozd et al., 2014; Kasprzak et al., 2018; Shi et al., 2017; White et al., 2010). Además, la adición de subproductos vegetales como la cáscara y mesocarpio de toronja, bagazo de piña, manzana y zanahoria, influyeron en las propiedades organolépticas de los bocadillos extrudidos (Dar et al., 2014; Drozd et al., 2014; Selani et al., 2014; Shi et al., 2017). Estos resultados sugieren que el uso de subproductos como la cáscara de mango y papaya y tecnologías de extrusión, podrían ser una estrategia eficaz para la obtención de productos de tipo “listo para su consumo” con características

funcionales, pero además con posibilidades de que se mejore la bioaccesibilidad de sus compuestos bioactivos gracias al proceso de extrusión (Güven et al., 2018).

Los compuestos bioactivos pueden ser liberados de la matriz alimentaria por condiciones fisiológicas gastrointestinales (pH, acción de enzimas digestivas y microbiota) y estar potencialmente disponible para su absorción (Velderrain-Rodríguez et al., 2014). Estudios previos indican que los compuestos bioactivos presentes en la cáscara de mango y papaya pueden interactuar fisicoquímicamente con proteínas y polisacáridos, formando puentes de hidrógeno y enlaces glucosídicos y covalentes, afectando su liberación durante la digestión (Quirós-Sauceda et al., 2014). Sin embargo, se ha reportado que tecnologías como la extrusión, la cual combina altas temperaturas y cizallamiento durante cortos periodos, promueven una mayor liberación de los compuestos bioactivos unidos a la matriz alimentaria, mejorando su bioaccesibilidad *in vitro* (Güven et al., 2018; Hole et al., 2013; Tonyali et al., 2016). De acuerdo a lo anterior, el objetivo de este proyecto es incrementar el contenido de compuestos fenólicos y carotenoides bioaccesibles y capacidad antioxidante en extrudidos de maíz, mediante la adición de cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ y papaya cv. ‘Maradol’, además de evaluar su efecto sobre atributos sensoriales.

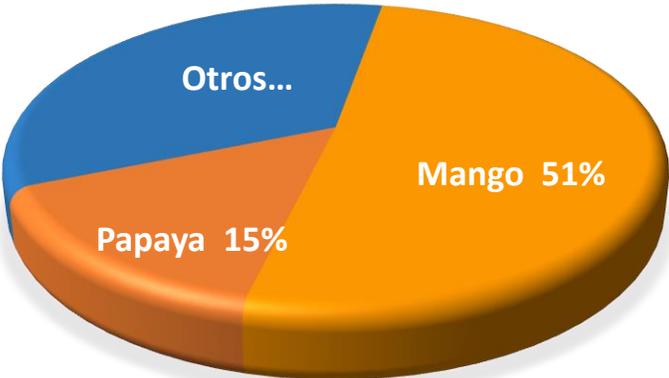
## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Producción de Mango y Papaya y sus Subproductos

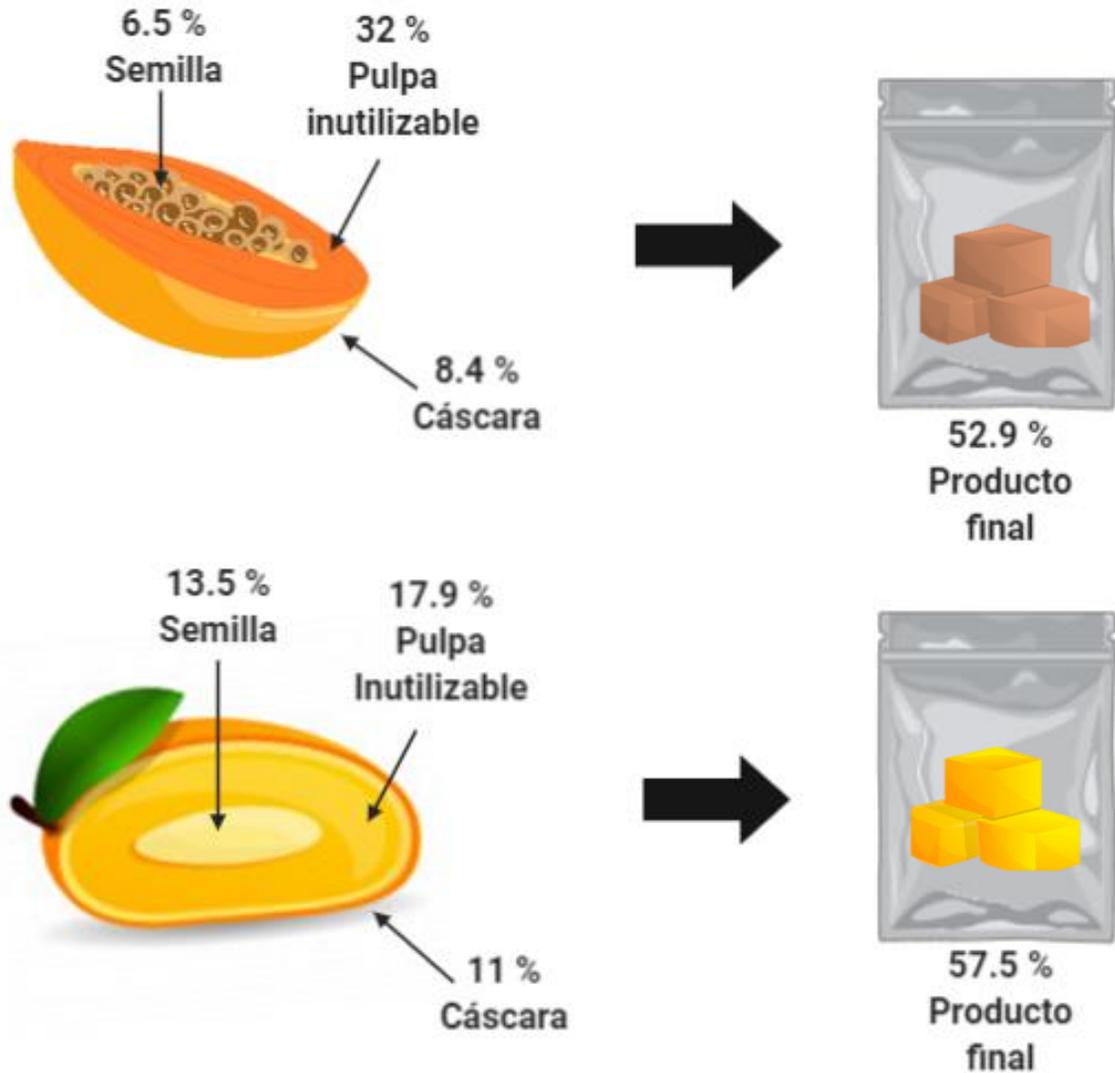
Hoy en día, existe una alta demanda de frutas tropicales en los mercados nacionales e internacionales debido al reconocimiento de su alto valor nutricional por parte de los consumidores. Frutas como el mango y la papaya, han registrado las mayores tasas medias anuales de producción, en comparación con otros alimentos como cereales, productos pecuarios, aceites vegetales y otras frutas y hortalizas. Como se muestra en la Figura 1, la producción mundial de frutos tropicales alcanzó los 92 millones de toneladas en 2017, siendo predominantes el mango (51 %) y la papaya (15 %), seguido de otros frutos (34 %) (FAO, 2017). México se encuentra entre los principales países productores de mango, además de otros como India, China, Tailandia, Indonesia, Filipinas y Pakistán. En el año de 2016, México ocupó el quinto lugar internacional como productor de mango, con un volumen de 1.88 millones de toneladas, además, se estima que uno de cada 25 mangos consumidos en el mundo son de origen mexicano, ya que se ha logrado comercializar este fruto en 27 destinos internacionales (SAGARPA, 2017a). Asimismo, entre 2015 y 2016, nuestro país ocupó el quinto lugar internacional de producción de papaya, con un incremento del 8.9 %, cerrando el año con una producción de 957 mil toneladas de este fruto (SAGARPA, 2017b). Esta alta producción mexicana de mango y papaya, favorece la generación de productos a base de estos frutos, como los alimentos mínimamente procesados.

Los consumidores actuales demandan alimentos que sean convenientes y fáciles de preparar y consumir, tales como las frutas y vegetales recién cortados generados por la industria de los alimentos mínimamente procesados. El procesamiento mínimo de frutas y hortalizas involucra un conjunto de operaciones como lavado del producto entero, deshojado, pelado, remoción de semillas, cortado y desinfectado (Andrade-Cuvi et al., 2010). A partir de estas operaciones se producen cantidades variables de subproductos, que incluso pueden llegar a exceder la del producto final. Como se muestra en la Figura 2, el procesamiento de papaya recién cortada genera alrededor de 46.9 % de subproductos y 52.9 % de producto final; para el caso del mango, se generan 42.4 % de subproductos y 57.5 % de producto final (Ayala-Zavala et al., 2010). Por esta razón, es

importante señalar las cantidades de subproductos que produce la industria de los alimentos mínimamente procesados para su posible utilización en la elaboración de nuevos productos.



**Figura 1.** Producción de frutas tropicales a nivel mundial.



**Figura 2.** Porcentajes de subproductos generados por la industria de los alimentos mínimamente procesados.

## 2.2 Compuestos Bioactivos del Mango y la Papaya y sus Efectos en la Salud

El mango pertenece a la familia de *Anacardiaceae* en el orden de Sapindales; se cultiva en varias regiones del mundo, especialmente en países tropicales. Existen más de 1000 variedades, siendo ‘Ataulfo’, ‘Atkins’, ‘Haden’, ‘Kent’, ‘Keitt’ y ‘Francis’ de las más comercializadas; la primera

desarrollada en México, las cuatro siguientes en Florida y la última en Haití (Cheema y Sommerhalter, 2015). La pulpa de mango constituye el 33-85 % del peso fresco del fruto, mientras que la cáscara y la semilla equivalen a un 7-24 % y 45-85 %, respectivamente (Jahurul et al., 2015; Wadhwa y Bakshi, 2013). La pulpa contiene aproximadamente un 15 % de carbohidratos y bajos niveles de lípidos y proteínas, pero se han identificado algunos compuestos como  $\beta$ -caroteno, vitamina C y compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes (Ribeiro et al., 2010). Los compuestos fenólicos representan una parte importante de la dieta humana; químicamente, se caracterizan por tener un anillo aromático con al menos un grupo hidroxilo, lo que los hace ser eficientes donadores de átomos de hidrógeno para neutralizar especies reactivas de oxígeno, protegiendo a la célula del estrés oxidativo (Shahidi y Ambigaipalan, 2015).

Se ha demostrado que la cáscara de mango cv. 'Ataulfo' presenta un mayor contenido de compuestos fenólicos y flavonoides en comparación con la pulpa, exhibiendo una alta actividad antioxidante, antiproliferativa y antiinflamatoria (Kim et al., 2010). Sin embargo, en la pulpa se encuentran compuestos fenólicos como el ácido gálico, el cual es responsable del 61 % de su actividad antioxidante, seguido del ácido protocatéquico con un 35 %, el ácido clorogénico con un 28 % y el ácido vanílico con un 11 % (Palafox-Carlos et al., 2012). Asimismo, se ha reportado que la cáscara contiene compuestos de tipo xantonas y flavonoides, tales como mangiferina y quercetina, los cuales están unidos a proteínas, fibra u otras estructuras complejas y pueden ser liberados por hidrólisis alcalina o ácida, mostrando actividades antioxidantes una vez libres (Pacheco-Ordaz et al., 2018). De tal manera que la pulpa y la cáscara de mango cv. 'Ataulfo', contienen una diversidad de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante que pueden ejercer efectos positivos a la salud, mitigando el estrés oxidativo.

La papaya es un fruto tropical nativo de América, perteneciente a la familia de las *Caricaceae*, cuyo peso fresco consta de semillas (8.5 %), cáscara (12.0 %) y pulpa (79.5 %) (Wadhwa y Bakshi, 2013). En la pulpa se han identificado compuestos como vitamina C, licopeno,  $\beta$ -criptoxantina y  $\beta$ -caroteno, los cuales son reconocidos por su efecto de neutralizar radicales libres, protegiendo a la membrana celular de peroxidación lipídica. Por otro lado, en la cáscara de papaya se han identificado una mayor concentración de ácidos hidroxicinámicos como el ácido ferúlico, ácido *p*-cumárico y ácido cafeico, los cuales pueden estar interactuando principalmente con los componentes estructurales de la pared celular (celulosa, lignina y proteína) a través de enlaces covalentes (Nieto Calvache et al., 2016). Varios autores han reportado que mediante digestiones *in*

*vitro*, que conllevan cambios de pH (alcalino o ácido) se promueve una mayor liberación de estos compuestos y una vez liberados pueden ejercer diferentes propiedades antiinflamatorias, modular los niveles de óxido nítrico, así como también inhibir la oxidación del colesterol (Gayosso-García Sancho et al., 2011; Salazar-López et al., 2018; Villalva et al., 2018). El ácido *p*-cumárico presenta otras propiedades, como inducción de la relajación endotelial en la aorta de ratas afectada por altas concentraciones de glucosa, además, este ácido fenólico actúa como antioxidante previniendo la peroxidación lipídica y muerte celular, a través de diversos mecanismos (Vinet et al., 2014). Las bioactividades de estos compuestos sugieren que su aprovechamiento a partir de la cáscara de papaya, puede ser de suma importancia para ejercer un efecto positivo en la salud de los consumidores.

Las altas concentraciones de compuestos fenólicos con actividad antioxidante presentes en la cáscara del mango y la papaya, han demostrado capacidad para inhibir enzimas involucradas en la digestión. Por ejemplo, se ha reportado que menos de 5 µg/mL de extractos de cáscara de mango son suficientes para inhibir la actividad de  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa en ratones con diabetes inducida (Gondi y Prasada Rao, 2015). En otro estudio se evaluaron diversas frutas tropicales (guayaba, papaya, piña y toronja), observándose que el jugo de papaya mostró un mayor porcentaje de inhibición de la lipasa pancreática con un 40 %, mientras que las demás frutas la inhibieron en alrededor de un 30 % (Trisat et al., 2016). Como se muestra en el Cuadro 1, en la cáscara de mango y papaya se encuentran ácidos fenólicos, flavonoides y carotenoides, que debido a sus propiedades antioxidantes, podrían ser una alternativa al uso de otros aditivos para la elaboración de nuevos productos con valor agregado.

**Cuadro 1.** Compuestos bioactivos en cáscara de mango y papaya.

Subproducto	Compuestos Fenólicos	Carotenoides	Referencias
Cáscara de Mango	40 mg EAG/g p.s. (Mangiferina, dilactona del ácido valoneico y derivados del ácido elágico)	51.14 mg/g p.s. ( <i>trans</i> -luteína, <i>9-cis</i> - $\beta$ -criptoxantina, <i>13-cis</i> - $\beta$ -criptoxantina, <i>trans</i> - $\beta$ -caroteno, <i>9-cis</i> - $\beta$ -caroteno)	(de Ancos et al., 2018)
	N.R.		(Mercado-Mercado G., et al., 2013)

		19.13 mg/g p.s. ( $\beta$ -criptoxantina, luteína y $\beta$ -caroteno)	
	45.53 mg EAG/g p.s. (Ácido gálico, ácido 2-hidroxicimánico, mangiferina, quercetina, galato de metilo, etilo, isoquercetina y ácido protocatéquico)	132.14 $\mu$ g E $\beta$ -C g p.s.	(Lizárraga-Velázquez, et al., 2018)
	4-6 mg EAG/g p.s.	20-30 mg/g p.s. (Criptoxantina, $\alpha$ -caroteno, $\beta$ -caroteno, licopeno, luteína, zeaxantina)	(Ovando-Martínez et al., 2018)
Cáscara de Papaya	0.01 mg EAG/g p.s. (Hexósido de ácido protocatéquico, manghaslin, quercetina 3-O-rutinosido, hexósido de ácido cafeico y ácido ferúlico)	0.081 mg/g p.s. (Luteína, zeaxantina, $\beta$ -criptoxantina y $\beta$ -caroteno)	(Nieto Calvache et al., 2016)
	1.86-2.77 mg/g p.s. de ácido ferúlico, 1.35-2.29 mg/g p.s. de ácido p-cumárico y 1.12-1.75 mg/g p.s. de ácido cafeico	N.R.	(Gayosso-García et al., 2011)

Los compuestos que se encuentran entre parentesis son los más representativos de la muestra. N.R.= No reportado.

### 2.3 La Importancia del Maíz para la Elaboración de Extrudidos

El maíz (*Zea mays*) es un cereal predominante en México, ya que su cultivo abarca 7.5 millones de ha en el país. Alrededor de un 20 % de la producción del maíz es empleada para la alimentación humana, mientras que el 64 % se destina para la alimentación animal y el resto para la elaboración de productos procesados como la harina de maíz (Mardero et al., 2018; Mehmood et al., 2018). En México, el mercado de la harina de maíz posee una gran importancia económica, debido a que más

del 90 % de su producción se destina a tortillas de maíz, un alimento básico para la población mexicana. Alrededor de 82 % de los hogares mexicanos incluyen al maíz en su dieta, lo cual representa un 6.4 % del gasto total en alimentos, aunque en zonas rurales o zonas con menores ingresos, puede destinarse hasta un 25 % del presupuesto alimentario en este producto (Suárez et al., 2013). En México se consumen también bocadillos a base de maíz como tostadas, totopos, etc., sin embargo, la molienda y la remoción de la cascarrilla del maíz concentra al almidón, descartando las capas exteriores del grano, las cuales son ricas en fibra y compuestos bioactivos (Lopez-Martinez et al., 2009; Brennan et al., 2013).

Actualmente, los consumidores se han vuelto más exigentes y conscientes, mostrando una mayor preferencia por productos que promuevan algún efecto positivo para su salud. Ellos demandan principalmente productos listos para su consumo que sean bajos en lípidos, ricos en fibra dietaria y adicionado con vitaminas, minerales o compuestos bioactivos (Brennan et al., 2013). Uno de los métodos utilizados para la producción de alimentos listos para su consumo es la tecnología de extrusión, la cual produce bocadillos con atributos sensoriales atractivos. En los últimos años se han implementado estrategias para enriquecer dichos bocadillos, tales como la adición de subproductos de origen vegetal que contienen altas concentraciones de compuestos bioactivos (Alam et al., 2016; Brennan et al., 2012). Debido a la importancia que tiene el maíz en la dieta del mexicano, se podrían elaborar bocadillos extrudidos a base de este cereal y adicionarse con cáscara de mango y papaya para incrementar su contenido de compuestos bioactivos.

#### 2.4 Propiedades Físicas de Extrudidos Adicionados con Subproductos de Origen Vegetal y Efectos sobre su Aceptabilidad Sensorial

La extrusión es un proceso que combina altas temperaturas, humedad y cizallamiento para la producción de bocadillos a partir de cereales, y que en los últimos años se ha implementado en conjunto con otras estrategias como la adición de subproductos de origen vegetal, para mejorar la calidad sensorial y nutricional de los extrudidos (Alam et al., 2016). Para que un producto extrudido tenga aceptabilidad por parte del consumidor se deben considerar sus propiedades físicas, como color, expansión y textura, las cuales dependen de las características de la materia prima, y los

parámetros del procesamiento de extrusión (Peksa et al., 2016). Como se muestra en el Cuadro 2, incrementar la concentración de bagazo de piña (10.5-21.0 %) y toronja (0-15 %) induce una reducción en la expansión y colores más oscuros en los extrudidos, en comparación con el control (Selani et al., 2014; Shi et al., 2017). Dar et al., (2014) observaron que incrementar la temperatura de extrusión durante la elaboración de extrudidos de arroz adicionados con bagazo de zanahoria, los valores de L\* y b\* del color aumentaban, mientras que los valores de a\* disminuían. Asimismo, la vitamina C y  $\beta$ -caroteno mostraron menores concentraciones, con respecto al control; entre sus propiedades sensoriales se determinó que presentaban una menor crujibilidad de los materiales extrudidos. La variabilidad en las respuestas puede depender en cierta medida de las condiciones del proceso de extrusión, del material a extrudir y de su composición química. A la fecha, no existen estudios que aborden el efecto de la extrusión sobre las características sensoriales y concentración de compuestos bioactivos de materiales adicionados con cáscara de mango y/o papaya.

**Cuadro 2.** Estudios de extrudidos adicionados con subproductos de origen vegetal.

<b>Extrudidos</b>	<b>Propiedades organolépticas</b>	<b>Análisis sensorial</b>	<b>Propiedades Funcionales</b>	<b>Referencia</b>
Cáscara y mesocarpio interno de toronja 5-15 %	↓Expansión ↓Humedad ↑Color ↑Dureza ↑Crujibilidad	N.R.	↓Índice Glicémico ↑Fibra dietaria ↑Actividad antioxidante	(Shi et al., 2017)
Bagazo de piña 10-21 %	↓Expansión ↑Color ↑Dureza ↑Crujibilidad	N.R.	N.R.	(Selani et al., 2014)
Bagazo de manzana y rosa mosqueta 10-20 %	↓Expansión ↑Color ↑Dureza ↑Crujibilidad	Bueno	↑Fibra dietaria ↑Actividad antioxidante	(Drozd et al., 2014)
Bagazo de manzana 0, 5, 7.5 y 10 %	↓Expansión ↓Dureza ↑Crujibilidad	N.R.	N.R.	(O'Shea, Arendt y Gallagher, 2014)
Bagazo de zanahoria 0-16.5 %	↑Expansión ↑Color ↑Dureza ↑Crujibilidad	N.R.	↑Vitamina C ↑ $\beta$ -caroteno	Dar et al., (2014)

N.R.= No reportado.

## 2.5 Productos Extrudidos y Bioaccesibilidad *In Vitro*

Para que los compuestos fenólicos y carotenoides presentes en los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya ejerzan bioactividades en el consumidor, estos deben liberarse de la matriz alimentaria, es decir, deben ser bioaccesibles (Velderrain-Rodríguez et al., 2014). Para entender de mejor manera la bioaccesibilidad de los compuestos fenólicos y carotenoides durante la digestión, es importante saber dónde se localizan. Los carotenoides de la papaya y el mango se depositan en subestructuras globulares y tubulares disueltos en lípidos y líquidos cristalinos del cromoplasto, y suponen tener una mayor bioaccesibilidad en comparación con estructuras sólidas cristalinas como en zanahoria y tomate (Schweiggert et al., 2012). Los compuestos fenólicos se encuentran presentes en las vacuolas y en el apoplasto de células vegetales, en forma conjugada con monosacáridos, polisacáridos y proteínas (Bohn et al., 2015). Se ha reportado que el cizallamiento y las temperaturas de extrusión podrían modificar la pared celular y el cromoplasto de las células, promoviendo una mayor liberación de compuestos fenólicos y carotenoides, mejorando así su bioaccesibilidad *in vitro* (Güven et al., 2018; Tonyali et al., 2016).

El efecto de la extrusión ha sido analizado por algunos autores. Por ejemplo, los ácidos fenólicos libres de extrudidos de cebada y avena evaluados mediante un modelo *in vivo*, fueron 22 % y 10 % más bioaccesibles, en comparación con los granos sin extrudir, debido a que la temperatura y cizallamiento de extrusión promovieron una mayor liberación de estos compuestos, que se encuentran interactuando con polisacáridos de dichos cereales (Hole et al., 2013). Por otro lado, extrudidos adicionados con pasta o cáscara de tomate redujeron su contenido de licopeno, gracias a la exposición al calor y cizallamiento de la extrusión, sin embargo, este efecto se acompañó de un incremento significativo en su bioaccesibilidad (19 %-105 %), en un modelo de células Caco-2 (Dehghan-Shoar et al., 2011). Asimismo, técnicas de extrusión incrementaron la bioaccesibilidad de cinarina y cinerósido de extrudidos de harina de trigo adicionados con hojas de alcachofa, en comparación con las mezclas crudas. De tal manera que la extrusión modificó la estructura fibrosa de las hojas de alcachofa, formando nuevas interacciones entre los compuestos fenólicos y la matriz alimentaria que promovieron una mayor liberación de los compuestos estudiados durante la digestión *in vitro* (Güven et al., 2018). De acuerdo con esta información, se sugiere que técnicas de extrusión pueden modificar la matriz alimentaria, provocando una mayor bioaccesibilidad de

compuestos fenólicos y carotenoides en extrudidos de maíz adicionados con cáscara de mango y papaya.

### **3. HIPÓTESIS**

Extrudidos de maíz adicionados con cáscara de mango y papaya presentan mayor contenido de compuestos bioactivos bioaccesibles y mejoran sus atributos sensoriales.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo General

Incrementar el contenido de compuestos fenólicos y carotenoides bioaccesibles y capacidad antioxidante en extrudidos de maíz mediante el proceso de adición de cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ y papaya cv. ‘Maradol’ y evaluar su efecto sobre atributos sensoriales.

### 4.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar el efecto de la adición de cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ y papaya cv. ‘Maradol’ a extrudidos de maíz, sobre la concentración de compuestos bioactivos (compuestos fenólicos y carotenoides) y capacidad antioxidante.
2. Evaluar el efecto de la adición de cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ y papaya cv. ‘Maradol’ a extrudidos de maíz, sobre su aceptabilidad sensorial.
3. Evaluar la bioaccesibilidad de compuestos bioactivos (compuestos fenólicos y carotenoides) presentes en extrudidos adicionados con cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ y papaya cv. ‘Maradol’, mediante un modelo de digestión *in vitro*.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Materia Prima

Se obtuvo harina de maíz nixtamalizada de marca Minsa y mango cv. 'Ataulfo' y papaya cv. 'Maradol' de madurez comercial de proveedores locales de la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Los frutos seleccionados fueron de madurez comercial, descartando aquellos con defectos o daños aparentes. Posteriormente, se transportaron al Laboratorio de Antioxidantes y Alimentos Funcionales, en donde fueron lavados, desinfectados mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio (300 ppm) durante 3 min y secados a temperatura ambiente (23-26 °C). La cáscara de cada uno de los frutos fue removida de la pulpa mediante el uso de un cuchillo afilado, enseguida, éstas fueron congeladas a -30 °C durante al menos 24 h y liofilizadas. Las muestras liofilizadas fueron almacenadas a -30 °C hasta su análisis.

### 5.2 Determinación de Humedad en Harina de Maíz y Cáscara de Mango y Papaya

Se determinó la humedad de la harina de maíz y de las muestras liofilizadas de cáscara de mango y papaya por la metodología oficial de la Asociación Americana de Químicos de Cereales (por sus siglas en inglés, American Association of Cereal Chemists) (AACC, 2000). Se pesó 1 g de la materia prima en charolas de aluminio a peso constante (secadas previamente utilizando un horno de calor seco a  $100 \pm 1$  °C durante 12 h), después fueron colocados en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente y se registró la pérdida de peso en una balanza analítica (Mettler Toledo AG285). El contenido de humedad se reportó como porcentaje.

## 5.3 Determinación de Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante

### 5.3.1 Extracción de Compuestos Fenólicos

Para la extracción de los compuestos fenólicos se siguió la metodología descrita por Palafox-Carlos et al., (2012) con algunas modificaciones. Se pesaron 1 g de harina de maíz y cáscara de mango y papaya liofilizadas, los cuales fueron homogenizados en 10 mL de metanol al 80 % y sonicados (Bransonic 2210) durante 30 min. Las muestras se centrifugaron a 6000 g durante 10 min a 4 °C, los sobrenadantes fueron separados del residuo y el proceso de extracción se repitió dos veces bajo las condiciones antes mencionadas. Los sobrenadantes obtenidos se filtraron con papel Whatman N° 4 y almacenados a -20 °C.

### 5.3.2 Determinación de Compuestos Fenólicos Totales

La concentración de compuestos fenólicos totales se cuantificó de acuerdo a la metodología de Singleton y Rossi, (1965). La técnica se basa en la reducción del reactivo de Folin-Ciocalteu (solución de fosfomolibdato y fosfotungstato) en presencia de un agente reductor en un medio alcalino, formando un complejo de molibdeno-tungsteno de color azul que se detecta espectrofotométricamente. Para la cuantificación de compuestos fenólicos, se realizó una curva de calibración, utilizando soluciones patrón de ácido gálico de concentración conocida (0.005-0.100 mg/mL). Se colocaron 30 µL de las soluciones de ácido gálico con metanol 80 % (o metanol al 80 % como blanco) o los extractos metanólicos de las muestras en pozos de microplaca. A cada solución se le añadieron 150 µL del reactivo Folin-Ciocalteu (previamente diluido 1:10 con agua destilada) y 120 µL de carbonato de sodio al 7.5 %; todas las mezclas se incubaron en oscuridad durante 30 min. Después del tiempo de incubación, la microplaca se colocó en un espectrofotómetro (FLUOstar Omega) y se realizó la lectura de absorbancia a una longitud de onda de 765 nm. La concentración de compuestos fenólicos totales se calculó de acuerdo a la ecuación

de regresión lineal obtenida a partir de soluciones de ácido gálico, para finalmente expresar los resultados como mg equivalentes de ácido gálico por g de peso seco (mg EAG/g p.s.). El ensayo se realizó por triplicado.

### **5.3.3 Determinación de la Capacidad Antioxidante por el Método de DPPH**

La capacidad de los antioxidantes presentes en los extractos metanólicos para reducir al radical estable DPPH• (2,2-difenil-1-picril-hidracil) se llevó a cabo por la metodología de Brand-Williams et al., (1995). Se preparó una solución con 2.5 mg del radical estable DPPH• en 100 mL de metanol (100 %) y se ajustó a una absorbancia  $0.70 \pm 0.02$  a 515 nm. Para determinar la capacidad antioxidante de los extractos metanólicos, se realizó una curva de calibración, utilizando soluciones de Trolox de concentración conocida (0.02-0.10 mg/mL). Se colocaron 20  $\mu$ L de las soluciones de Trolox con metanol 80 % (o metanol al 80 % como blanco) o los extractos metanólicos de las muestras en pozos de microplaca. A cada solución se le añadieron 280  $\mu$ L de solución del radical DPPH• previamente ajustado y se incubó en oscuridad durante 15 min. Después del tiempo de incubación, las muestras fueron leídas en un lector de microplaca. La capacidad antioxidante fue calculada mediante la ecuación de regresión obtenida a partir de soluciones de Trolox y expresada como mg equivalentes de Trolox por g de peso seco (mg ET/g p.s.).

### **5.3.4 Determinación de la Capacidad Antioxidante por el Método de TEAC**

La metodología de TEAC (por sus siglas en inglés, Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) se basa en la capacidad de inactivar el radical ABTS•<sup>+</sup> (ácido 2-2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) al reaccionar con compuestos antioxidantes (Pellegrini et al., 1999). La solución de TEAC se preparó mezclando una solución de 19.2 mg del radical ABTS•<sup>+</sup> disueltos en 5 mL de agua grado HPLC, con 88  $\mu$ L de una solución de persulfato de potasio ( $K_2S_2O_8$ ) (37.8 mg/mL). La mezcla se incubó en oscuridad durante 16 h para la activación del radical; una vez transcurrido el

tiempo, se tomaron 500  $\mu\text{L}$  de la solución, se diluyeron en 44 mL de etanol 100 % y se ajustó a una absorbancia  $0.70 \pm 0.02$  a 734 nm. Posteriormente, se realizó el ensayo en un pozo de microplaca, se colocaron 5  $\mu\text{L}$  de muestra y 245  $\mu\text{L}$  de solución del radical  $\text{ABTS}\cdot^+$  previamente ajustado. Las mezclas se incubaron en oscuridad durante 5 min, para luego llevar leer las absorbancias en un lector de microplaca. La capacidad antioxidante fue expresada como mg ET/g p.s., utilizando para ello una curva de calibración realizada con soluciones de Trolox de concentración conocida (0.08-0.40 mg/mL).

### **5.3.5 Determinación de la Capacidad Antioxidante por el Método de FRAP**

Para determinar la capacidad antioxidante por el método de FRAP (por sus siglas en inglés, Ferric-Reducing Antioxidant Power), se realizó la metodología descrita por Benzie y Strain, (1999). El método se basa en la capacidad que tienen los antioxidantes de reducir al  $\text{Fe}^{+3}$  a  $\text{Fe}^{+2}$ . Para la formulación del reactivo se prepararon tres soluciones; buffer de acetato de sodio (0.3 M, pH 3.6), solución de 2,4,6-tri(2-piridil)-S-triazina (TPTZ) 10 mM (preparado en HCl 40 mM) y solución de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) 20 mM. El reactivo FRAP se preparó mezclando 5 mL del buffer de acetato de sodio, 0.5 mL de TPTZ y 0.5 mL de  $\text{FeCl}_3$ . Se mezclaron 20  $\mu\text{L}$  de muestra con 280  $\mu\text{L}$  del reactivo FRAP en un pozo de microplaca, y se incubó durante 30 min en oscuridad. La absorbancia se leyó a 595 nm usando un espectrofotómetro, y la capacidad antioxidante se expresó como mg ET/g p.s., utilizando para ello una curva de calibración realizada con soluciones de Trolox de concentración conocida (0.01-0.10 mg/mL). Los análisis de capacidad antioxidante por DPPH, TEAC y FRAP se realizaron por triplicado.

### **5.3.6 Extracción y Determinación de Carotenoides**

La extracción de carotenoides se llevó a cabo por la metodología descrita por Davis et al., (2007). Se pesaron 0.6 g de cada muestra y se mezclaron con 5 mL de butil hidroxitolueno (BHT) al 0.05

% (p/v) en acetona, 5 mL de etanol al 95 % y 10 mL de hexano. Después, las muestras se colocaron en hielo en una placa de agitación a 180 rpm durante 15 min. Luego se agregaron 3 mL de agua destilada y se volvieron agitar durante 5 min para permitir la separación de fases. Posteriormente, se tomó la fase superior (hexano) y se midió su absorbancia a 450 nm en una celda de espectrofotómetro de 1 cm de longitud. El contenido total de carotenoides se expresó como  $\mu\text{g}$  equivalentes de  $\beta$ -caroteno ( $E\beta\text{-C/g p.s.}$ ) (analizado por triplicado), calculado en base al peso de la muestra, la absorbancia y el coeficiente de extinción molar, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C = \frac{A * V * 10^6}{\epsilon * 100 * g} \quad (1)$$

Donde los valores de C= concentración  $\mu\text{g/g}$  de carotenoides totales, A= absorbancia, V= volumen recuperado de la fracción hexánica,  $\epsilon$ = coeficiente de extinción molar del  $\beta$ -caroteno ( $2500 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ) y g= masa de la muestra (g).

## 5.4 Extrusión

### 5.4.1. Elaboración de Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya

Previo a la elaboración de extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya, se elaboraron cinco harinas constituidas por 85 % de harina de maíz y 15 % de cáscara de mango o papaya y sus combinaciones sin exceder el 15 %, así como una harina control de 100 % maíz, de acuerdo al Cuadro 3. Todas las harinas fueron hidratadas hasta obtener un 15 % de humedad y se mantuvieron a 4 °C durante 12 h según la metodología de Escalante-Aburto et al., (2014) con algunas modificaciones. Después fueron llevadas a un extrusor de tornillo sencillo (Brabender Instruments, Modelo E 19/25 D), utilizando las temperaturas reportadas por Camacho-Hernández et al., (2014)

con algunas modificaciones. Las temperaturas a utilizar en la primera, segunda, tercera y cuarta zona del extrusor fueron 60, 90, 105 y 120 °C, respectivamente. Se utilizó un dado de 3 mm de diámetro y una velocidad de tornillo de 120 rpm. Los productos obtenidos posterior al proceso de extrusión fueron secados a 60 °C durante 25 min en un secador de túnel. A los extrudidos se les cuantificó su contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante mediante las secciones previamente mencionadas (5.3.1 a 5.3.6), así como una evaluación sensorial y ensayo de bioaccesibilidad de compuestos bioactivos como se describe a continuación.

**Cuadro 3.** Composición de extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.

<b>Código</b>	<b>% Harina de maíz</b>	<b>% Cáscara de mango</b>	<b>% Cáscara de papaya</b>
Control	100	-	-
M15 %	85	15	-
M10 % P5 %	85	10	5
M7.5 % P7.5%	85	7.5	7.5
M5 % P10 %	85	5	10
P15 %	85	-	15

### 5.5 Análisis Microbiológico y Evaluación Sensorial

Los estudios de evaluación sensorial requirieron garantizar la salud de los panelistas participantes, para lo cual es necesario llevar a cabo pruebas microbiológicas que aseguren la inocuidad del producto o productos a evaluar. Se realizó la determinación de bacterias coliformes según la NOM-112-SSA1-1994 y la determinación de mesófilos aerobios según la NOM-092-SSA1-1994 para asegurar la inocuidad de los extrudidos ofrecidos a los panelistas. Para ambos métodos se pesaron 10 g de muestra en condiciones de asepsia, los cuales se homogenizaron en 90 mL de solución diluyente (peptona, NaCl y agua). Posteriormente, se realizaron diluciones decimales ( $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ) mezclando 9 mL de diluyente con 1 mL de cada dilución en cajas Petri estériles por duplicado. Para la determinación de coliformes se adicionaron de 15 a 20 mL de agar bilis rojo violeta fundido a 45 °C en cada placa, mientras que para la determinación de mesófilos aerobios se adicionaron de 15 a 20 mL de agar extracto de levadura fundido a 45 °C en cada placa. Por último,

se homogenizó cada muestra con el agar correspondiente haciendo movimientos rotatorios hasta lograr una completa incorporación del inóculo en el medio. Las cajas se incubaron en posición invertida durante 24 h a 37 °C y se reportó el número de colonias como unidades formadoras de colonia por mL de muestra (UFC/mL). Una vez realizado el análisis microbiológico y confirmado la inocuidad de los productos, se procedió a evaluar la aceptabilidad de los extrudidos mediante un análisis sensorial.

El análisis sensorial permitió observar las preferencias de consumidores potenciales con respecto a los atributos de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya. Dicha información se obtuvo empleando métodos de análisis denominados pruebas orientadas al consumidor, las cuales se realizan exclusivamente con consumidores y no con evaluadores entrenados (Reciteia y Sebasti, 2014). Se realizó una prueba utilizando una escala hedónica de 7 puntos que describe el nivel de agrado o desagrado de los extrudidos, según la percepción de los consumidores. A cada consumidor se le pidió evaluar los atributos de color, sabor, textura y aceptabilidad general de muestras codificadas, indicando el nivel de agrado y un espacio para observaciones como se muestra en la Figura 3.

**No. Panelista:** \_\_\_\_\_ **Fecha:** \_\_\_\_\_

Frente a usted se encuentran seis muestras de extrudidos, pruebe y evalúe cada una de ellas. Escriba el puntaje de agrado o desagrado en la línea del código correspondiente a cada muestra de acuerdo a la siguiente escala.

<b>Puntaje</b>	<b>Categoría</b>	<b>Puntaje</b>	<b>Categoría</b>
1	Me disgusta mucho	5	Me gusta poco
2	Me disgusta poco	6	Me gusta
3	Me disgusta	7	Me gusta mucho
4	Me es indiferente		

Código	Color	Sabor	Textura	Aceptabilidad
162				
478				
150				
489				
106				
869				

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**Figura 3.** Boleta utilizada durante la evaluación sensorial.

### 5.5 Caracterización de Propiedades Físicas de Extrudidos

La aceptabilidad del producto extrudido depende en gran medida de los atributos de calidad como la apariencia, textura, sabor y color. Características físicas como la expansión, color y dureza de los extrudidos son parámetros que influyen en la aceptabilidad del consumidor (Alam et al., 2016). Altos porcentajes de expansión y baja densidad, son propiedades deseables para bocadillos extrudidos listos para su consumo, sin embargo, las propiedades antes mencionadas dependen de muchos otros parámetros como la composición de la materia prima, humedad, temperatura, velocidad del tornillo y el dado del extrusor (Bisharat et al., 2013). Por esta razón, es importante evaluar las propiedades físicas de los extrudidos de maíz adicionados con cáscara de mango y papaya y cómo éstas influyen en su aceptabilidad.

### 5.5.1 Color

Para la medición del color se empleó un colorímetro (Konica Minolta CR 400), de acuerdo a las coordenadas de CIELab, en donde se determinan los parámetros  $L^*$ , que indica luminosidad en escala de 100 (blanco) a 0 (negro),  $a^*$ , la coordenada que tiende al rojo ( $a^* > 0$ ) o al verde ( $a^* < 0$ ), y  $b^*$ , la coordenada que tiende al amarillo ( $b^* > 0$ ) o al azul ( $b^* < 0$ ). Estos valores ubican los colores en un espacio determinado en la gráfica CIELab (Zúñiga-Hernández et al., 2012). La longitud de las muestras utilizadas fue de 5 cm, realizándose seis repeticiones por cada tratamiento.

### 5.5.2 Textura

Se utilizó un texturómetro TAXT2 (Stable Micro Systems), al cual se adaptó una guillotina de aluminio (Warner-Bratzel) para cortar los extrudidos con una velocidad y fuerza de disparo de 1 mm/s y 5 g, respectivamente. La fracturabilidad del producto se expresó como la fuerza máxima registrada para fracturar la muestra durante la compresión (N). Todas las muestras fueron de 5 cm de longitud y se realizaron 15 repeticiones por tratamiento.

### 5.5.3 Porcentaje de Expansión

Para determinar el porcentaje de expansión, todas las muestras fueron de 5 cm de longitud, realizando 15 mediciones del diámetro de los extrudidos usando un vernier (Mitutoyo). El valor se calculó como la relación entre el diámetro medio y el diámetro del dado extrusor:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{\text{Promedio del tratamiento}}{\text{Diámetro del dado}} \times 100 \quad (3)$$

## 5.6 Bioaccesibilidad *in vitro* de Compuestos Bioactivos

### 5.6.1 Digestión *in vitro* de Extrudidos Adicionados

A los extrudidos adicionados con cáscara de mango, papaya y sus combinaciones se les cuantificó la bioaccesibilidad de los compuestos bioactivos y capacidad antioxidante mediante una digestión *in vitro*, de acuerdo a la metodología reportada por Minekus et al., (2014) con algunas modificaciones. Esta metodología divide el proceso de digestión en tres fases: oral, gástrica e intestinal, utilizando fluidos de simulación y enzimas digestivas de acuerdo al Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Composición de fluidos de simulación gástrica e intestinal.

Compuestos	Fluidos de simulación	Fluidos de simulación
	gástrica pH 3	intestinal pH 7
KCl	6.9	6.8
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.9	0.8
NaHCO <sub>3</sub>	25	85
NaCl	47.2	38.4
MgCl <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub>	0.1	0.33
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0.5	-
CaCl <sub>2</sub>	0.15	0.6

Las concentraciones están expresadas en mM.

Para la digestión *in vitro*, se pesó 1 g por cada muestra previamente molida y se mezcló con 5 mL de agua destilada y 5 mL de saliva de dos voluntarios asintomáticos en ayuno. Para la fase oral, las muestras se agitaron a 100 rpm durante 2 min a 37 °C, luego se tomó 1 mL del sobrenadante de cada muestra (volumen final de 10 mL después del muestreo) para determinar la concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Para la fase gástrica inicial (FGI), la fracción obtenida después de la fase oral, se mezcló con 8 mL de fluidos de simulación gástrica (FSG), 5 µL de CaCl<sub>2</sub> (0.15 mM), se ajustó el pH a 3 con HCl (3 M), se obtuvo un volumen final de 18 mL y se tomó 1 mL del sobrenadante para determinar la concentración de compuestos bioactivos y

capacidad antioxidante de dicha fase. Posteriormente, a la FGI de cada muestra se le añadió 1 mL de pepsina (2000 UI/mL) y se transfirió a bolsas de diálisis con un volumen final de 18 mL, las cuales se mantuvieron suspendidas en recipientes con 50 mL de FSG y se agitaron a 100 rpm durante 2 h a 37 °C. Para la fracción gástrica final (FGF), se tomó 1 mL del sobrenadante del digesto para determinar la concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante.

Para la fase intestinal inicial (FII), la FGF se mezcló con 11 mL de fluidos de simulación intestinal (FSI), el pH se ajustó a 7.0 con NaOH (1 M) y se añadieron 2.5 mL de bilis bovina (10 mM), obteniendo un volumen de 30.5 mL y se tomó 1 mL del sobrenadante para determinar la concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Posteriormente, a la FII se le añadieron 5 mL de pancreatina (100 UI/mL) obteniendo un volumen de 34.5 mL, los cuales se transfirieron a bolsas de diálisis que se mantuvieron suspendidas en recipientes con 60 mL de FSI y se incubaron bajo las condiciones anteriormente mencionadas. Al finalizar, se tomó 1 mL del sobrenadante del digesto para determinar la concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de la fracción intestinal final (FIF). Por último, se tomaron alícuotas de la solución de los recipientes que contenían las bolsas de diálisis durante la fase gástrica e intestinal a los 30, 60, 90 y 120 min para determinar la concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Los porcentajes de bioaccesibilidad y de absorción aparente se calcularon mediante las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Bioaccesibilidad} = \frac{Ld + Lf}{T} \times 100 \quad (4)$$

$$\% \text{ Absorcion Aparente} = \frac{Lf}{T} \times 100 \quad (5)$$

En donde Ld y Lf es la concentración de los compuestos bioactivos (compuestos fenólicos o carotenoides) liberados dentro y fuera de la bolsa de diálisis, respectivamente, en cada fase digestiva (oral, gástrica e intestinal), y T es la concentración total de dichos compuestos, cuantificados de acuerdo a la metodología descrita en las secciones 5.3.1 a 5.3.6. del presente documento.

## 5.7 Diseño Experimental y Análisis de Datos

Las variables evaluadas fueron la concentración de compuestos fenólicos, carotenoides, capacidad antioxidante en las materias primas y los porcentajes de expansión, color, fracturabilidad, evaluación sensorial, concentración de compuestos fenólicos, carotenoides y capacidad antioxidante de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya. Adicionalmente, se examinó la bioaccesibilidad y absorción aparente de los compuestos fenólicos, carotenoides y capacidad antioxidante de los extrudidos adicionados durante una digestión *in vitro*. Se verificó la normalidad de los datos para todas las variables respuestas antes mencionadas, se realizó un análisis de varianza de una vía y en caso de encontrar diferencias entre medias se utilizó una prueba de Tukey-Kramer con un nivel de significancia  $p < 0.05$ . Además, se realizó una correlación de Pearson y un análisis de componentes principales. Los datos fueron analizados en los paquetes estadísticos NCSS 2011, Sigma Plot 2011, Minitab 2018 y Graph Pad 7.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Porcentaje de Humedad en las Materias Primas

La cocción por extrusión es una forma especializada para el procesamiento de materiales amiláceos; debido a que se trata de una cocción con niveles de humedad relativamente bajos, es de suma importancia considerar la humedad de las materias primas para generar productos con una cocción y propiedades fisicoquímicas favorables para el consumidor. En el Cuadro 5 se presentan los porcentajes de humedad de las materias primas; se observa que la cáscara de papaya mostró un valor superior ( $p < 0.05$ ), con respecto a la cáscara de mango y la harina de maíz. Santos et al. (2014), reportan que el porcentaje de humedad de la cáscara de papaya cv. 'Havai' y cv. 'Calimosa' fue 1.12 y 1.15 veces mayor, respectivamente, en comparación con la cáscara de papaya cv. 'Maradol', utilizada en el presente estudio. Cabe mencionar que estos autores secaron sus muestras en un horno convencional a 45 °C durante cuatro días, mientras que en el presente estudio se utilizó liofilización. El horno convencional al evaporar el agua, induce cambios químicos (pH y procesos de oxidación) y físicos (contracción y menor capacidad de rehidratación), mientras que los productos liofilizados tienen una ligera contracción, buena capacidad de rehidratación y ambientes reductores, resultando productos con mejor calidad preservando su contenido de bioactivos (de Ancos et al., 2018). Sogi et al., (2013) reportaron que el porcentaje de humedad de la cáscara de mango cv. 'Tommy Atkins' (9.37 %), fue casi el doble en comparación con la cáscara de mango cv. 'Ataulfo', utilizada en el presente estudio (4.94 %). Por otro lado, la harina de maíz cumplió con el porcentaje de humedad ( $< 15$  %) para harinas de cereales, sémolas o semolinas, según lo establecido por la NOM-147-SSA1-1996, por lo que se puede considerar apta para utilizar como materia prima para la elaboración de nuevos productos. Debido a lo anterior, la utilización de liofilización, por su buena capacidad de rehidratación y conservación de compuestos bioactivos, es la más adecuada para procesar la cáscara de ambas frutas y posteriormente mezclarlas con harina de maíz para llevar a cabo el proceso de extrusión.

**Cuadro 5.** Porcentajes de humedad de las materias primas.

<b>Materias primas</b>	<b>Humedad (%)</b>
Cáscara de mango	4.94 ± 0.03 <sup>c</sup>
Cáscara de papaya	11.85 ± 0.01 <sup>a</sup>
Harina de maíz	7.25 ± 0.05 <sup>b</sup>

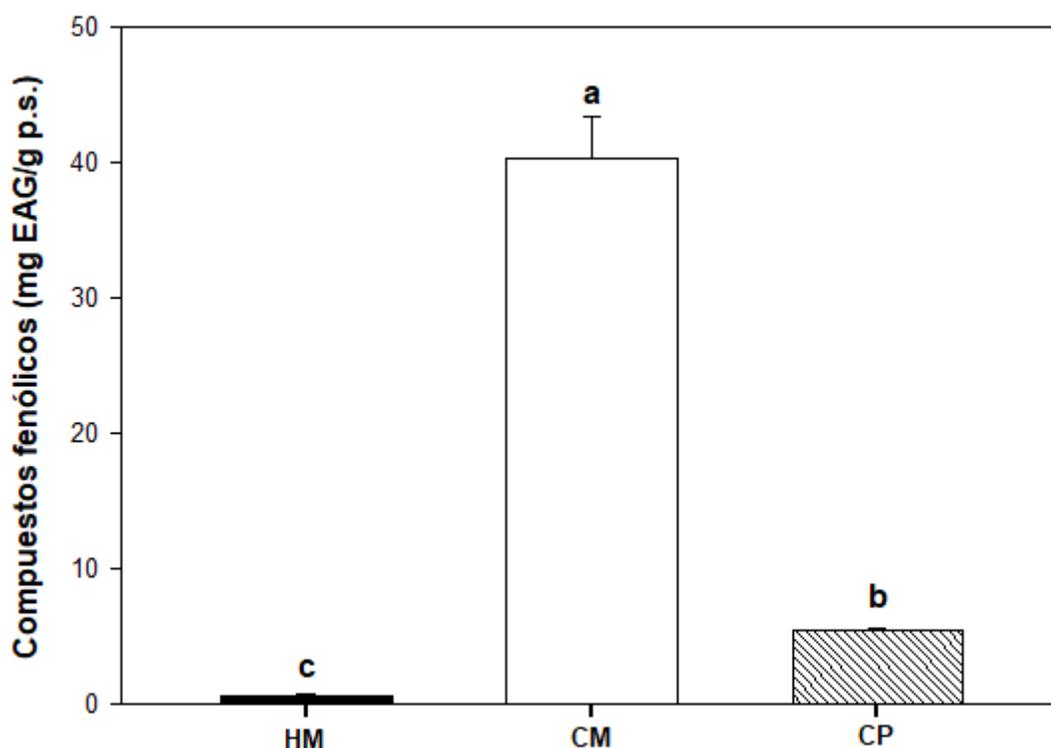
Los datos se presentan como la media ± error estándar, n=3. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).

## 6.2 Caracterización de Compuestos Bioactivos de las Materias Primas

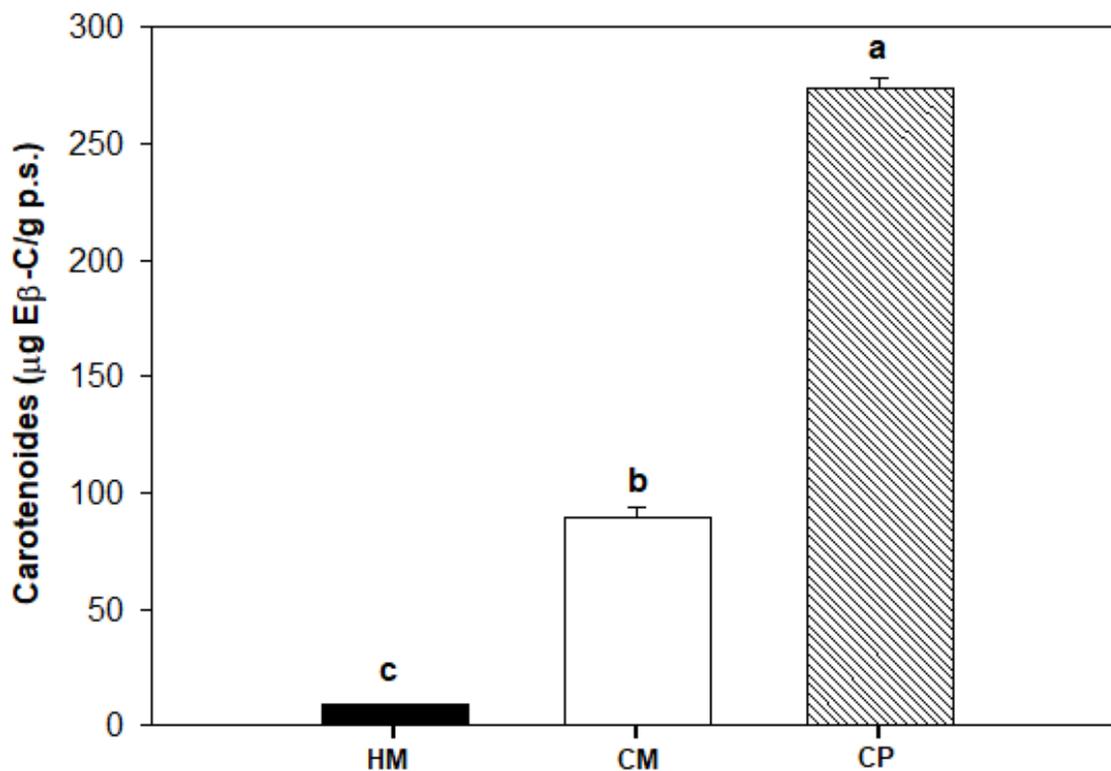
El contenido de compuestos fenólicos de la harina de maíz, cáscara de mango y papaya reportadas en este estudio se muestra en la Figura 4. La cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ mostró la mayor (p<0.05) concentración de compuestos fenólicos (40.29 ± 3.18 mg EAG/g p.s.), seguido de la cáscara de papaya cv. ‘Maradol’ (5.44 ± 0.20 mg EAG/g p.s.) y la harina de maíz nixtamalizada (0.67 ± 0.02 mg EAG/g p.s.). Particularmente en harinas de maíz, se ha reportado que ciertos ácidos fenólicos se encuentran en el salvado, los cuales son removidos durante la producción de harinas refinadas, dando como resultado harinas caracterizadas por su alto contenido de almidón y bajo contenido fenólico (Brennan et al., 2013). Además, la nixtamalización requiere que los granos de maíz se cocinen con cal y sean lavados para su molienda produciendo aguas residuales, las cuales contienen altas concentraciones de fitoquímicos que no son aprovechados (Mora-Rochin et al., 2010). En este contexto, se puede decir que los procesos de producción de harinas refinadas y nixtamalizadas causan pérdidas considerables de compuestos fenólicos, lo cual explica que esta materia prima presente concentraciones bajas, en comparación con los subproductos vegetales. Algunos estudios han demostrado que el mango cv. ‘Ataulfo’ contiene una mayor concentración de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, en comparación con el cv. ‘Haden’, ‘Kent’ y ‘Tommy Atkins’ al mismo tiempo de cosecha, pero distinto lugar de cultivo (Manthey y Penelope, 2009). En el presente estudio, la concentración de compuestos fenólicos de la cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ fue 1.26 veces mayor en comparación con la cáscara de mango cv. ‘Tommy Atkins’

previamente reportada (31.85 mg EAG/g p.s.) (Sogi y Dolan, 2013).

En la Figura 5 se observa que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre el contenido de carotenoides de las materias primas, siendo la cáscara de papaya cv. 'Maradol' la que presentó mayor concentración de estos compuestos ( $273.77 \pm 4.57 \mu\text{g E}\beta\text{-C/g p.s.}$ ), seguido de la cáscara de mango cv. 'Ataulfo' ( $89.57 \pm 4.24 \mu\text{g E}\beta\text{-C/g p.s.}$ ) y la harina de maíz nixtamalizada ( $8.82 \pm 0.41 \mu\text{g E}\beta\text{-C/g p.s.}$ ). Ovando-Martinez et al., (2018) reportaron que la cáscara de papaya cv. 'Maradol', presentó una mayor concentración de fenoles y carotenoides en comparación a la pulpa y semilla del mismo fruto. Los resultados anteriores sugieren que ambos subproductos cuentan con una gran diversidad de compuestos fenólicos y carotenoides, por lo que su adición podría ser una alternativa eficaz para la producción de harinas de maíz enriquecidas con compuestos bioactivos.



**Figura 4.** Concentración de compuestos fenólicos en harina de maíz (HM), cáscara de mango (CM) y cáscara de papaya (CP). Los datos se presentan como la media  $\pm$  error estándar,  $n=3$ . Letras diferentes entre barras indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

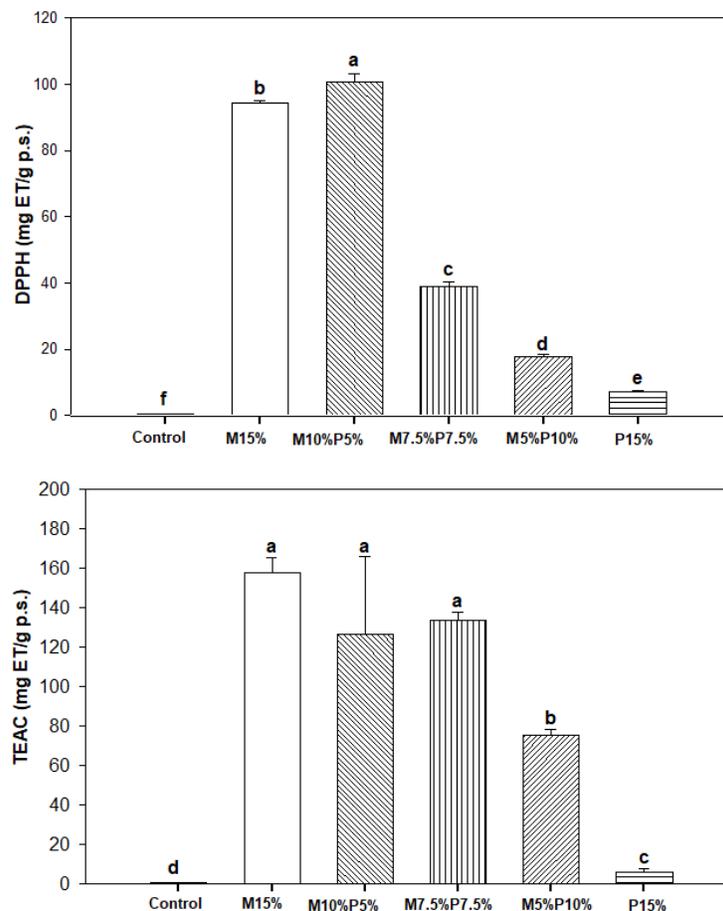


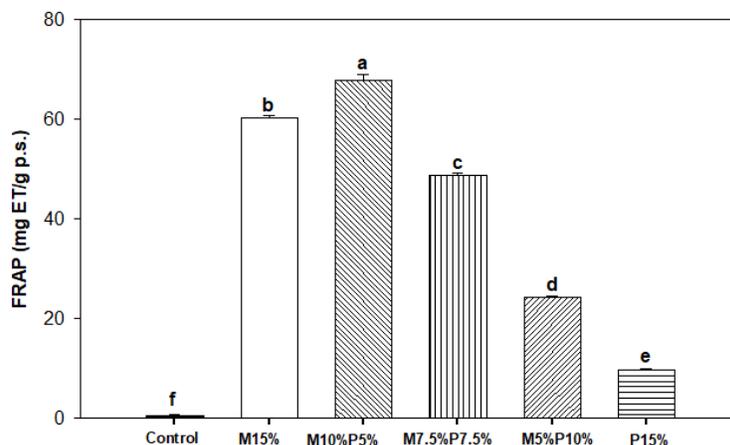
**Figura 5.** Concentración de carotenoides en harina de maíz (HM), cáscara de mango (CM) y cáscara de papaya (CP). Los datos se presentan como la media  $\pm$  error estándar,  $n=3$ . Letras diferentes entre barras indican diferencias significativas ( $p<0.05$ ).

### 6.3 Capacidad Antioxidante de Harina de Maíz, Cáscara de Mango, Papaya y sus Combinaciones

De acuerdo a los resultados de capacidad antioxidante medida por tres métodos, se encontró que las harinas de cáscara de mango y papaya y sus combinaciones mostraron mayor capacidad antioxidante, con respecto a la harina de maíz. Por otra parte, es posible observar que la harina añadida con cáscara del mango cv. 'Ataulfo' (M15 %) mostró valores más altos de capacidad antioxidante por los métodos de DPPH (94.22 mg ET/g p.s.), TEAC (157.73 mg ET/g p.s.) y FRAP (60.19 mg ET/g p.s.), en comparación con la muestra añadida con cáscara de papaya al mismo porcentaje (P15 %) por los métodos de DPPH (7.24 mg ET/g p.s.), TEAC (6.14 mg ET/g p.s.) y FRAP (9.69 mg ET/g p.s.). De acuerdo a esto, la muestra M10 % P5 % fue la que mostró la más alta capacidad antioxidante (Figura 6). Se ha reportado que la cáscara de mango cv. 'Ataulfo' contiene compuestos hidrofílicos como ácidos hidroxicinámicos e hidroxibenzóicos, mientras que

la cáscara de papaya cv. 'Maradol' se caracteriza por su gran contenido de compuestos lipofílicos como  $\alpha$ -tocoferol y carotenoides (Blancas-Benitez et al., 2015; Ovando-Martinez et al., 2018). Sin embargo, la cáscara de mango cv. 'Ataulfo' fue el principal contribuidor que incrementó la capacidad antioxidante entre las mezclas, además, mostró mayor capacidad antioxidante ( $p < 0.05$ ) al combinarse con la cáscara de papaya cv. 'Maradol' por los métodos de DPPH y FRAP. Por esta razón, se puede mencionar que ambos subproductos contienen una diversidad de compuestos bioactivos que aumentan la capacidad antioxidante de la mezcla resultante.





**Figura 6.** Capacidad antioxidante por los métodos de DPPH, TEAC y FRAP en harina de maíz (Control), cáscara de mango (M15 %), cáscara de papaya (P15 %) y sus combinaciones en proporción 2:1 (M10 % P5 %), 1:1 (M7.5 % P7.5 %) y 1:2 (M5 % P10 %). Los datos se presentan como la media  $\pm$  error estándar,  $n=3$ . Letras diferentes entre barras indican diferencias significativas ( $p<0.05$ ).

#### 6.4 Análisis Proximal de Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya

Hoy en día, existe una amplia diversidad de bocadillos disponibles, sin embargo, la gran mayoría suele contener una alta densidad calórica y un bajo contenido de compuestos bioactivos, vitaminas, minerales y fibra (Brennan et al., 2013). El contenido de proteínas, lípidos, carbohidratos, humedad, cenizas y energético de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya se muestra en el Cuadro 6. Los extrudidos con cáscara de mango y papaya presentaron un mayor contenido de proteínas (6.82-8.96 g/100 g) y lípidos (0.97-1.62 g/100 g), en comparación al extrudido control ( $p<0.05$ ), mientras que el contenido energético fue similar entre los extrudidos. Asimismo, de los extrudidos adicionados, el que contenía 15 % cáscara de papaya (P15 %) mostró valores superiores de proteínas (8.96 g/100 g) y lípidos (1.62 g/100 g). Varastegani et al., (2015) reportaron mayor concentración de proteínas (3.88 g/100 g) y lípidos (23.72 g/100 g) en galletas adicionadas con 15 % de pulpa de papaya, sin embargo, estas galletas fueron elaboradas con mantequilla, huevo y harina de trigo, los cuales influyeron sobre las concentraciones de proteínas y lípidos de las galletas. Varios autores han reportado que la cáscara de papaya tienen un alto contenido de proteínas y lípidos (Pathak et al., 2019; Santos et al., 2014). Además, la cáscara de

mango cv. ‘Ataulfo’ y papaya cv. ‘Maradol’ representan una rica fuente de fibra, compuestos fenólicos y carotenoides, los cuales se han correlacionado con la prevención de enfermedades asociadas al estrés oxidativo como cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Lourdes García-Magaña et al., 2013; Hernández y Goñi, 2011; Nieto Calvache et al., 2016). Estos resultados sugieren que los extrudidos con cáscara de mango y papaya contienen mayor contenido de fibra dietaria y compuestos bioactivos con posibles efectos benéficos a la salud.

**Cuadro 6.** Análisis proximal de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.

Tratamientos	Proteínas	Lípidos	Carbohidratos	Humedad	Cenizas	Contenido
						energético
			(g/100 g)			(kcal)
Control	6.51 <sup>f</sup>	0.63 <sup>c</sup>	80.40 <sup>b</sup>	9.51 <sup>c</sup>	2.95 <sup>f</sup>	353.3 <sup>ab</sup>
M15 %	6.82 <sup>e</sup>	0.97 <sup>b</sup>	80.62 <sup>ab</sup>	8.49 <sup>d</sup>	3.10 <sup>e</sup>	358.5 <sup>a</sup>
M10 % P5 %	6.92 <sup>d</sup>	0.71 <sup>c</sup>	78.38 <sup>b</sup>	10.38 <sup>a</sup>	3.61 <sup>d</sup>	347.6 <sup>b</sup>
M7.5 % P7.5%	7.74 <sup>b</sup>	0.56 <sup>c</sup>	77.83 <sup>b</sup>	10.47 <sup>a</sup>	3.70 <sup>c</sup>	346.2 <sup>b</sup>
M5 % P10 %	7.65 <sup>c</sup>	0.53 <sup>d</sup>	79.23 <sup>b</sup>	10.34 <sup>a</sup>	3.90 <sup>b</sup>	339.3 <sup>c</sup>
P15 %	8.96 <sup>a</sup>	1.62 <sup>a</sup>	75.86 <sup>c</sup>	9.60 <sup>b</sup>	3.96 <sup>a</sup>	353.9 <sup>a</sup>

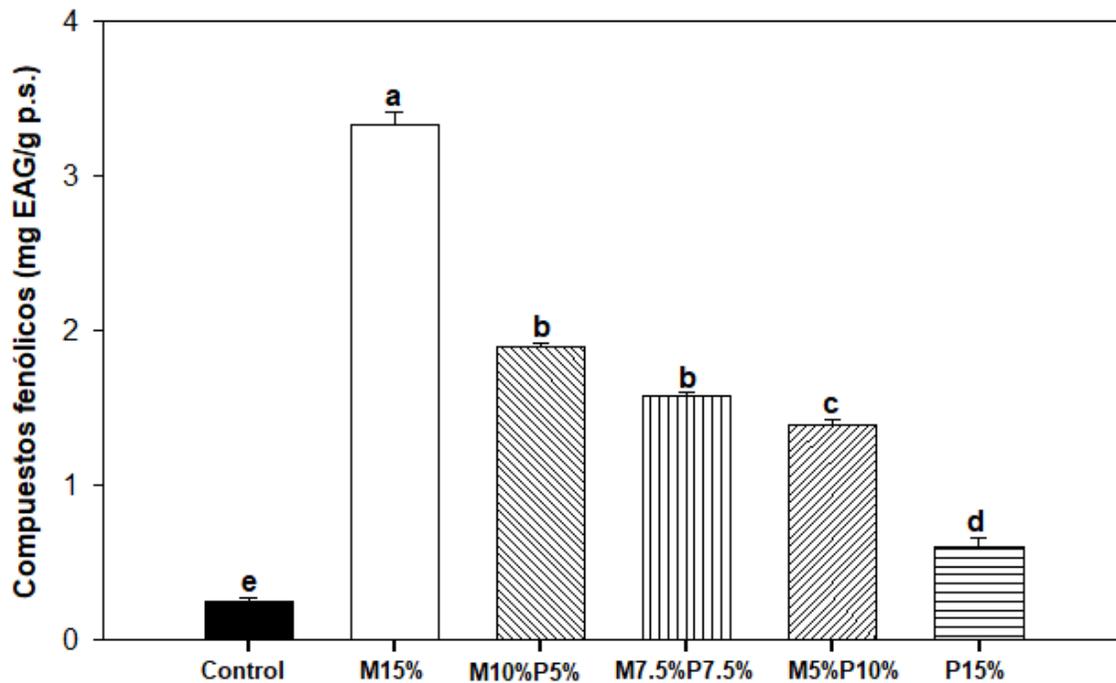
Los datos se presentan como la media  $\pm$  error estándar, n=3. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

### 6.5 Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante de Extrudidos de Maíz Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya.

La concentración de compuestos fenólicos de los extrudidos adicionados con cáscara de mango, papaya y sus combinaciones se muestran en la Figura 7. El contenido de compuestos fenólicos de los extrudidos adicionados osciló entre 0.60-3.33 mg EAG/g p.s., de los cuales, el extrudido con 15 % de cáscara de mango (M15 %) presentó el mayor contenido, siendo 13.87 veces superior al control. De igual manera, Korkerd et al., (2016) reportaron que añadir cáscara de mango cv. ‘Kaeo’ contribuyó en aumentar la concentración de compuestos fenólicos, en comparación con la adición de harina de soya desgrasada y arroz integral germinado en extrudidos de maíz. Asimismo, en el presente estudio, la cáscara de mango fue el principal contribuidor que incrementó la concentración de compuestos fenólicos entre los extrudidos y mostró mayor ( $p < 0.05$ ) contenido de estos, en

comparación con los extrudidos con cáscara de papaya.

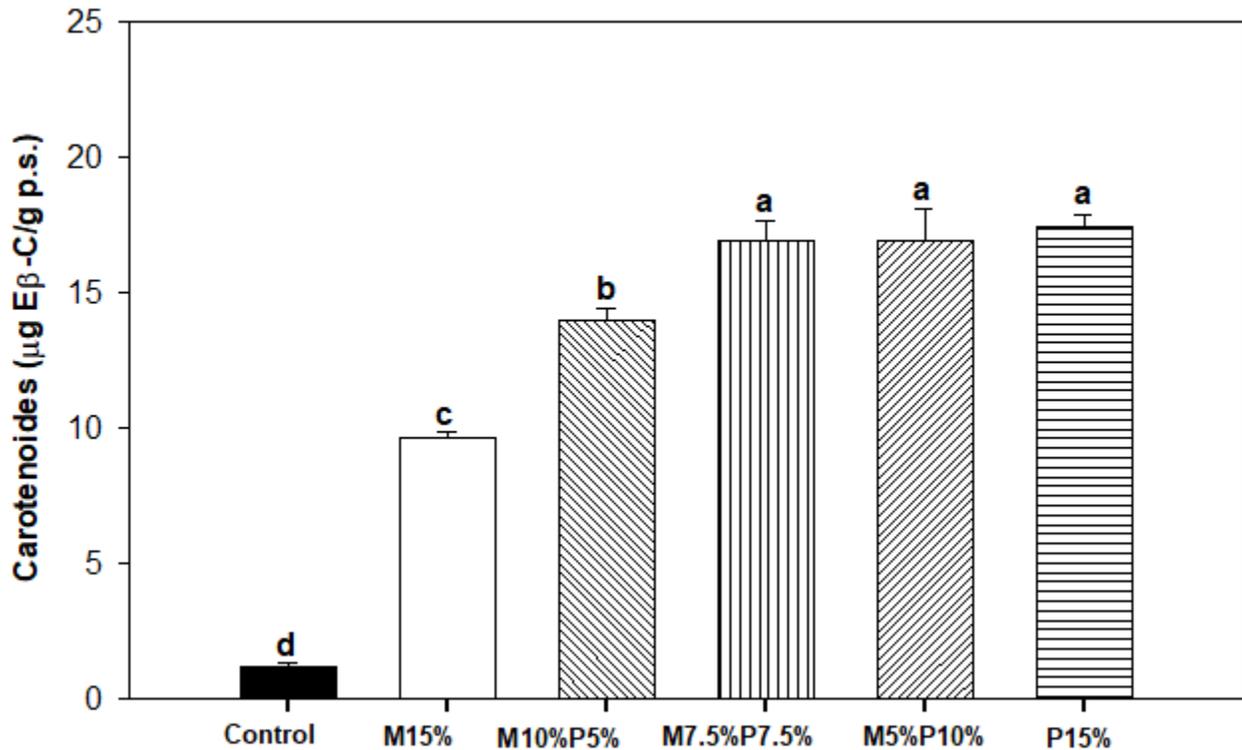
La concentración de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de productos adicionados con subproductos depende en parte del tipo de solvente utilizado para su extracción y de la técnica con la que se cuantifique (Ignat et al., 2011). Por ejemplo, Ajila et al., (2008) reportaron menores incrementos de compuestos fenólicos en galletas de trigo adicionadas con 15 % de cáscara de mango, al utilizar acetona al 80 % para la extracción y análisis de compuestos fenólicos, en comparación al metanol al 80 % utilizado en el presente estudio. Se ha reportado que la polaridad de los solventes y las formas de los compuestos fenólicos (por ejemplo, como aglicona altamente hidroxilada o metoxilada) influyen sobre la extracción y actividad de los extractos (González y González, 2010). Dorta et al., (2012) utilizaron diferentes tipos de solventes y temperaturas para la extracción de compuestos fenólicos de la cáscara de mango cv. 'Keitt', observando que los extractos obtenidos con metanol presentaron mayor concentración de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, en comparación con los extractos de acetona. Estos resultados sugieren que utilizar metanol fue adecuado para la extracción de compuestos fenólicos libres y capacidad antioxidante de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.



**Figura 7.** Concentración de compuestos fenólicos en extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones. Los datos se presentan como la media  $\pm$  error estándar,  $n=3$ . Letras diferentes entre barras indican diferencias significativas ( $p<0.05$ ).

La concentración de carotenoides de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya se muestra en la Figura 8. Es posible observar que todos los extrudidos adicionados con cáscara de mango, papaya o sus combinaciones mostraron valores más altos, en comparación con el extrudido control. Por otra parte, los extrudidos P15 %, M5 % P10 % y M7.5 % P7.5 % presentaron concentraciones de carotenoides mayores ( $p < 0.05$ ), en comparación al control y los demás extrudidos. Estos resultados permiten sugerir que, en este estudio, la cáscara de papaya fue el principal contribuidor de carotenoides, con respecto a los extrudidos con cáscara de mango. Varios autores han reportado que los carotenoides como  $\beta$ -criptoxantina,  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno, luteína, entre otros, se encuentran más concentrados en la cáscara que en la pulpa de frutas como la papaya (Nieto Calvache et al., 2016; Ovando-Martinez et al., 2018).

En el presente estudio, el extrudido P15 % presentó 17.46  $\mu\text{g E}\beta\text{-C/g p.s.}$ , el cual fue secado en un horno a 60 °C durante 25 min. En cambio, Basto et al., (2016) reportaron menores concentraciones en extrudidos con 15 % de pulpa de durazno rojo y amarillo (1.77 y 0.84  $\mu\text{g } \beta\text{-C/g p.s.}$ , respectivamente), sin embargo, estos autores secaron los extrudidos a la misma temperatura, pero durante 4 h. Se ha reportado que prolongar el tiempo de secado involucra incrementar también el tiempo de exposición a la luz solar y mayores porcentajes de oxígeno que promueven reacciones de oxidación y destrucción de enlaces dobles, causando pérdida de carotenoides (Kamiloglu et al., 2016). El contenido de carotenoides depende también de factores como el tipo de fruto, genotipo, tiempo de maduración, método de cultivo, condiciones climáticas, así como las partes del fruto que pueden contener diferentes concentraciones y tipos de carotenoides (Saini et al., 2015). No obstante, la cáscara de frutas como la papaya, se caracteriza por ser una fuente rica de carotenoides, y su adición pudiera permitir la elaboración de productos con una mayor concentración de estos compuestos.



**Figura 8.** Concentración de carotenoides en extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones. Los datos se presentan como la media  $\pm$  error estándar,  $n=3$ . Letras diferentes entre barras indican diferencias significativas ( $p<0.05$ ).

A partir de la extracción con metanol y hexano se determinó la concentración de compuestos fenólicos y carotenoides libres, respectivamente, de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya. Comenzando por la concentración de compuestos bioactivos de las materias primas, se determinó el valor esperado de bioactivos en los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya, como se muestra en el Cuadro 7. Ahí se observa que el porcentaje de retención de los compuestos bioactivos en los extrudidos adicionados, osciló entre 38.78-50.33 % para compuestos fenólicos y 35.95-49.85 % para carotenoides. Se ha reportado que tecnologías como la extrusión pueden causar alteraciones en la matriz de los alimentos, formando nuevas interacciones entre los compuestos fenólicos y carotenoides con otros constituyentes (Güven et al., 2018). Además, la extrusión puede causar alteraciones en la pared celular, causando cambios en la estructura molecular de los compuestos bioactivos como la polimerización de los compuestos fenólicos o la formación de complejos proteína-carotenoides, que conduce a una reducción en la extracción de estos compuestos (Ortak et al., 2017; Sarawong et al., 2014). Sin embargo, los

compuestos fenólicos y carotenoides que se encuentren interactuando con otros constituyentes en los extrudidos adicionados, podrían liberarse bajo condiciones fisiológicas en el tracto gastrointestinal, como los cambios de pH y concentración de enzimas digestivas, y así obtener un perfil completo de estos bioactivos para su absorción.

**Cuadro 7.** Valor real y valor esperado de compuestos bioactivos en extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.

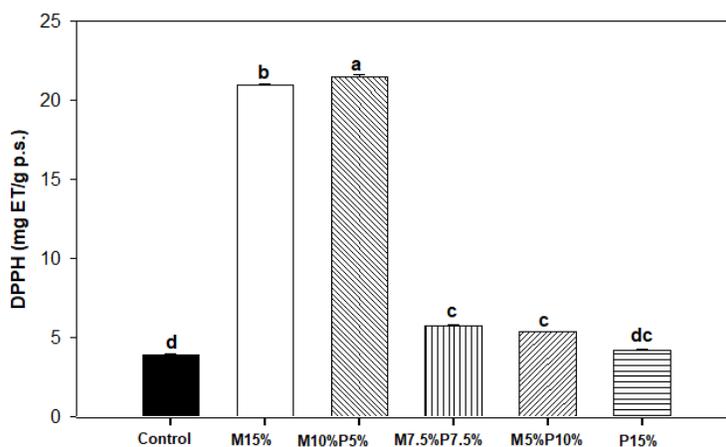
Compuestos Bioactivos						
Tratamientos	Compuestos fenólicos (mg EAG/g p.s.)			Carotenoides ( $\mu\text{E}\beta\text{-C/g p.s.}$ )		
	Valor real	Valor esperado	%R	Valor real	Valor esperado	%R
Control	0.24 $\pm$ 0.02	0.67 $\pm$ 0.03	4.35	1.21 $\pm$ 0.15	8.82 $\pm$ 0.41	13.71
M15 %	3.33 $\pm$ 0.07	6.61 $\pm$ 0.45	50.33	9.62 $\pm$ 0.24	19.43 $\pm$ 1.26	49.49
M10 % P5 %	1.88 $\pm$ 0.02	4.87 $\pm$ 0.30	38.78	14.03 $\pm$ 0.39	29.14 $\pm$ 1.14	48.13
M7.5 % P7.5 %	1.57 $\pm$ 0.02	4.00 $\pm$ 0.22	39.23	16.95 $\pm$ 0.73	34.00 $\pm$ 1.08	49.85
M5% P10 %	1.39 $\pm$ 0.02	3.13 $\pm$ 0.15	44.40	16.95 $\pm$ 1.18	38.85 $\pm$ 1.03	43.62
P15 %	0.60 $\pm$ 0.04	1.38 $\pm$ 0.02	43.22	17.46 $\pm$ 0.42	48.56 $\pm$ 0.97	35.95

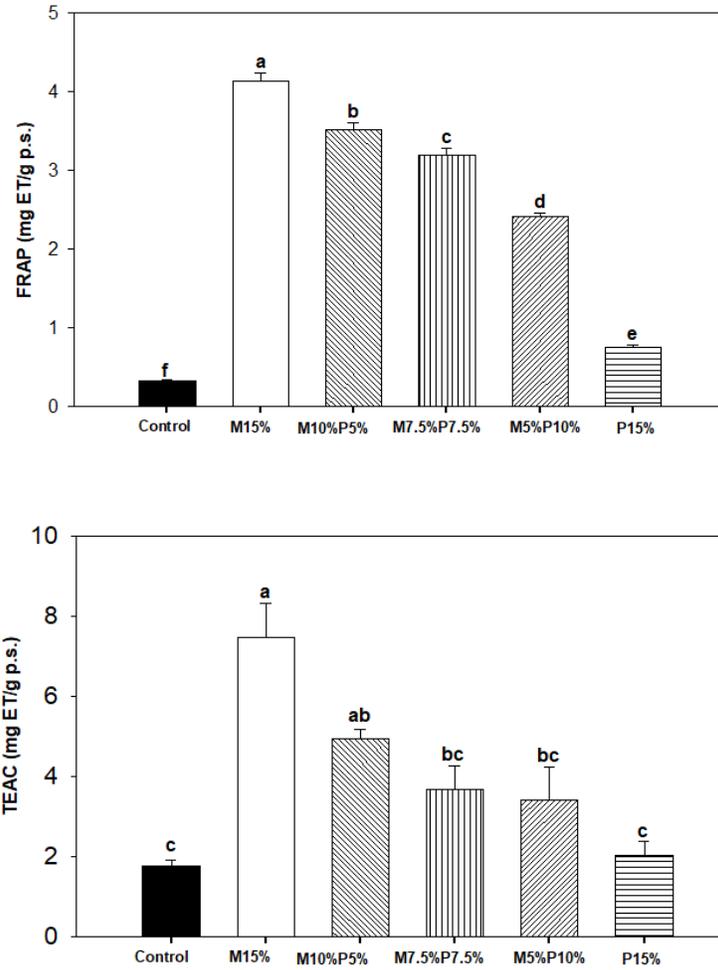
%R= Porcentaje de retención.

La capacidad antioxidante medida por los métodos de DPPH, TEAC y FRAP de los extrudidos adicionados con cáscara de mango, papaya y sus combinaciones se muestra en la Figura 9. Se observa que el extrudido M15 % presentó una capacidad antioxidante 5.44 veces superior al control, de acuerdo al método de DPPH. Korkerd et al., (2016) reportaron mayores incrementos de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante por el método de DPPH en extrudidos de maíz adicionados con cáscara de mango, harina desgrasada de soya y arroz integral germinado, sin embargo, la cáscara de mango fue el principal contribuidor en aumentar la capacidad antioxidante de los extrudidos. Se ha reportado que entre distintas frutas tropicales, los subproductos del mango contienen una gran diversidad de compuestos fenólicos que contribuyen a una mayor capacidad antioxidante (Da Silva et al., 2014). Estos resultados sugieren que adicionar cáscara de mango con alto contenido de compuestos fenólicos, promueve la elaboración de productos extrudidos con mayor capacidad antioxidante.

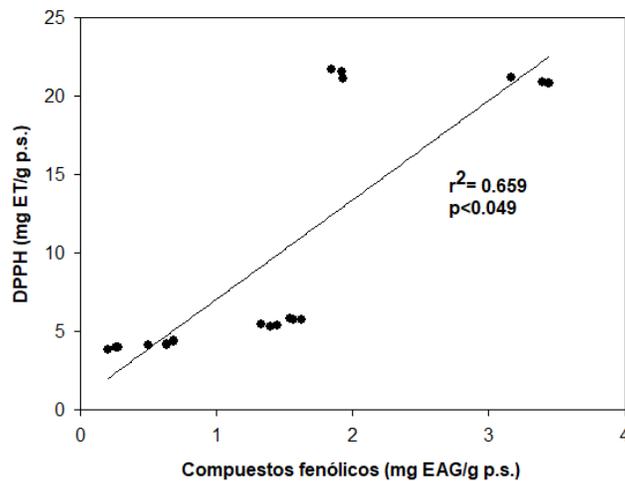
Por otra parte, es importante resaltar que, aunque la cáscara de papaya mostró los valores más altos de carotenoides, estos no fueron capaces de incrementar la actividad antioxidante en los extrudidos,

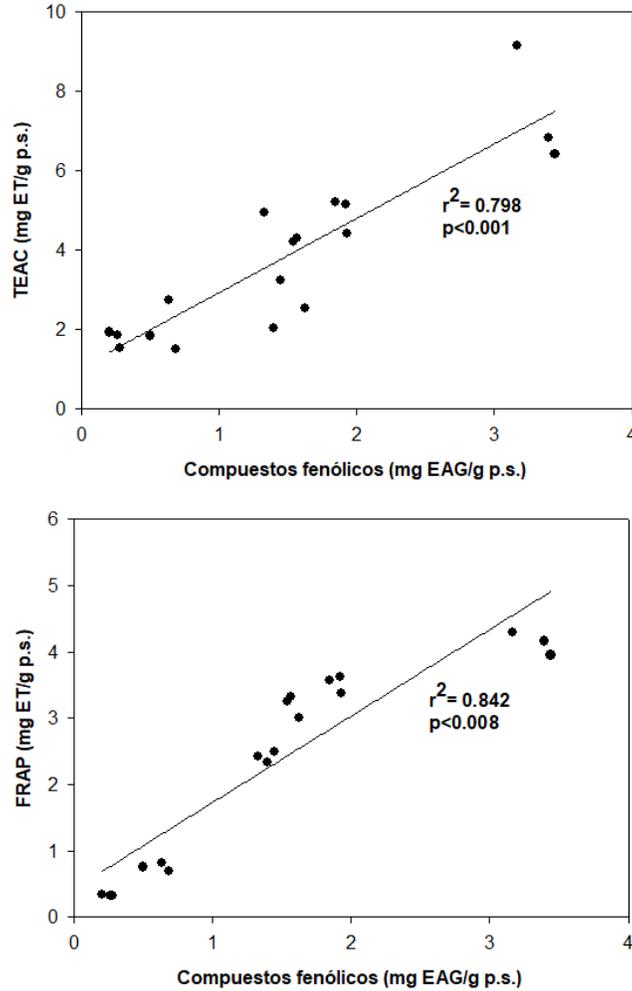
con respecto a los valores presentados en extrudidos de mango, lo anterior debido particularmente a que los carotenoides muestran menor habilidad de reducción de radicales libres. Se ha reportado evidencia acerca de correlaciones lineales positivas entre compuestos fenólicos y capacidad antioxidante para una gran diversidad de alimentos, particularmente en frutas, se han reportado correlaciones significativas de 0.86-0.94 en diferentes tipos de toronjas (*Citrus paradisi* y *máxima*) y 0.83-0.93 en plátano, pèrsimo, fresa, manzana, kiwi y mangostán (Park et al., 2015). En el presente estudio, se observó que los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya presentaron una correlación positiva y significativa entre la concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de los mismos. Como se muestra en la Figura 10, los coeficientes de correlación oscilaron entre 0.66-0.84 ( $p < 0.05$ ), entre el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante por los métodos de DPPH, ABTS y FRAP. Can-Cauch et al., (2017) reportaron que el contenido de compuestos fenólicos y flavonoides de cáscaras de 11 frutas tropicales correlacionó con la capacidad antioxidante por los métodos de ABTS y DPPH. Dichas correlaciones sugieren que la concentración de los compuestos fenólicos de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya contribuyeron a una mayor capacidad antioxidante de los mismos.





**Figura 9.** Capacidad antioxidante por los métodos DPPH, TEAC y FRAP en extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones. Los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar,  $n=3$ . Letras diferentes entre barras indican diferencias significativas ( $p<0.05$ ).





**Figura 10.** Correlaciones de Pearson entre compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (DPPH, FRAP y TEAC) de extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.

#### 6.6 Atributos Sensoriales de Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya.

Propiedades como la textura, color y sabor de los extrudidos juegan un papel importante en la aceptabilidad general de los consumidores. Como se observa en el Cuadro 8, los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya presentaron menor valor de  $L^*$  (luminosidad), en comparación al extrudido control ( $p < 0.05$ ). Los valores de  $a^*$  (2.55-8.88) y  $b^*$  (28.18-35.00) de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya fueron mayores ( $p < 0.05$ ), con respecto al control (-0.58-14.88). Asimismo, los extrudidos adicionados presentaron mayor valor de  $C^*$

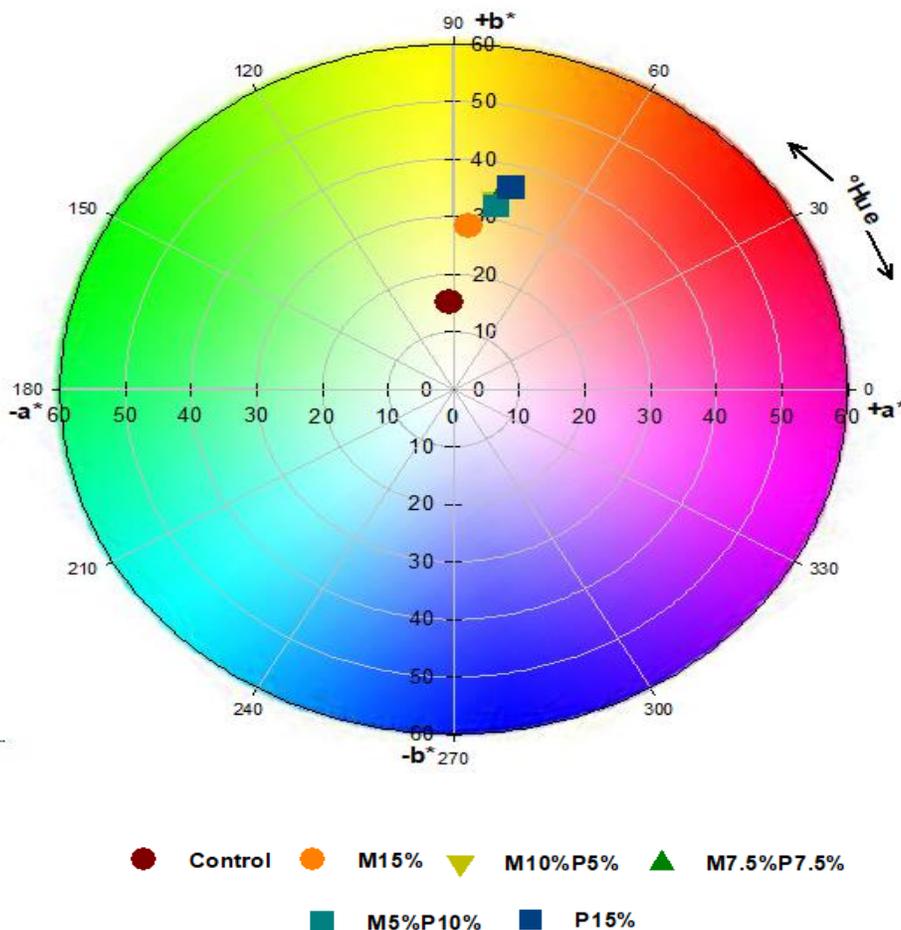
(28.30-36.11) y menor °Hue (84.99 ° -75.76 °), en comparación al control ( $p < 0.05$ ). Por otro lado, Sacchetti et al., 2004 observaron que los valores de  $L^*$  disminuyeron al incrementar porcentajes de harina de nuez (20 %, 30 % y 40 %) en extrudidos de arroz. Estos autores mencionan que esta tendencia se debe a que la harina de nuez posee un alto contenido de azúcares reductores que promueven reacciones de Maillard cuando se someten a altas temperaturas, favoreciendo la producción de pigmentos pardos y por tanto el oscurecimiento de los extrudidos. Se han desarrollado extrudidos de maíz adicionados con harina de calabaza, los cuales mostraron un aumento en los valores de  $a^*$  y  $b^*$ , en comparación al control, lo cual los autores atribuyen a la concentración de carotenoides y compuestos fenólicos presentes en la calabaza y que influyen en las intensidades del rojo y amarillo de los extrudidos (Peksa et al., 2016). Asimismo, Nazir et al., (2016), observaron que la intensidad del color ( $C^*$ ) incrementó al aumentar la harina de durazno en extrudidos de arroz, mientras que el °Hue varió de 79.16 ° a 85.97 °, promoviendo colores que iban del rojo al amarillo, debido a la presencia de carotenoides. En la Figura 10 se muestra el espacio de color CIELab de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya, observándose que el extrudido control presentó un color blanco, mientras que la adición de cáscaras indujo colores amarillos (cáscara de mango) o rojos (cáscara de papaya) debido a la concentración y tipo de carotenoides presentes en la cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ y cáscara de papaya cv. ‘Maradol’ (Gayosso-García Sancho et al., 2011; Yahia et al., 2008) Estos resultados sugieren que alto contenido de azúcares, compuestos fenólicos y carotenoides presentes en la cáscara de mango y papaya promovieron que los extrudidos presentaran tonalidades de amarillas a rojas.

**Cuadro 8.** Parámetros de color CIELab de extrudidos de maíz adicionados con cáscara de mango y papaya.

Tratamientos	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	°Hue
Control	$73.92 \pm 0.61^a$	$-0.58 \pm 0.01^e$	$14.88 \pm 0.13^e$	$14.89 \pm 0.13^e$	$92.23 \pm 0.99^a$
M15 %	$65.76 \pm 0.60^b$	$2.55 \pm 0.08^d$	$28.18 \pm 1.12^d$	$28.30 \pm 1.12^d$	$84.99 \pm 0.22^b$
M10 % P5 %	$60.67 \pm 0.43^{cd}$	$6.67 \pm 0.04^c$	$32.96 \pm 0.26^{bc}$	$33.63 \pm 0.27^{bc}$	$78.56 \pm 0.04^c$
M7.5 % P7.5 %	$59.13 \pm 0.35^d$	$7.70 \pm 0.06^b$	$34.28 \pm 0.12^{ab}$	$35.13 \pm 0.13^{ab}$	$77.32 \pm 0.08^d$
M5 % P10 %	$60.14 \pm 0.24^{cd}$	$6.58 \pm 0.05^c$	$31.71 \pm 0.05^c$	$32.28 \pm 0.05^c$	$78.27 \pm 0.09^c$

P15 %	$60.97 \pm 0.09^c$	$8.88 \pm 0.06^a$	$35.00 \pm 0.11^a$	$36.11 \pm 0.12^a$	$75.76 \pm 0.05^e$
-------	--------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------

Los datos se presentan como la media  $\pm$  error estándar, n=3. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05)



**Figura 11.** Espacio del color CIELab de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya

Otra de las propiedades físicas de los extrudidos que tiene un impacto significativo en la aceptabilidad del consumidor, es su porcentaje de expansión. En el presente estudio, el extrudido M15 % presentó la menor reducción en la expansión (43 %), en comparación con los demás extrudidos adicionados (p<0.05). Selani et al., (2014) reportaron una reducción del 53 % en la expansión de los extrudidos de maíz al adicionar 10.5 % de bagazo de piña, sin embargo, los autores mencionan que este subproducto contiene un alto contenido de fibra insoluble (98.28 %). Brennan et al., (2008) reportaron que utilizar materias primas con un alto contenido de fibra insoluble (15

% de salvado de trigo) a extrudidos de harina de trigo blanco, disminuía significativamente su expansión, en comparación con la adición de fibra soluble al mismo nivel. Se ha reportado que la incorporación de fibra insoluble en productos extrudidos tiende a reducir el volumen de expansión, provocando texturas más duras y menos crujientes en los extrudidos, que influyen negativamente en la evaluación sensorial por parte de los consumidores (Robin et al., 2012). No obstante, la cáscara de mango, por su mayor contenido de fibra soluble en comparación a la cáscara de papaya, promovió la expansión del producto (Lourdes García-Magaña et al., 2013; Nieto Calvache et al., 2016; Palzer et al., 2012).

La dureza de los extrudidos también influye sobre la percepción del consumidor. Como se puede observar en el Cuadro 9, todos los tratamientos, excepto P15%, presentaron menor dureza ( $p < 0.05$ ), con respecto al control. Aunque no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, el extrudido M15% presentó menor dureza, en comparación a las demás muestras. Shi et al., (2017) reportaron extrudidos más duros, al adicionar entre 5-15 % de corteza de pomelo a extrudidos de arroz integral, sin embargo, estos autores secaron la corteza a 50 °C, previo a la elaboración de los extrudidos, lo cual pudo haber incrementado la dureza de los mismos. Altan et al., (2008) produjeron extrudidos de cebada adicionados con bagazo de tomate. Estos autores reportaron un incremento significativo en la dureza (5.64 N a 29.75 N) al incrementar el porcentaje de bagazo de tomate de 2 a 10 % y disminuyendo la temperatura del último barril de 160 °C a 140 °C, en comparación al presente estudio en donde se utilizó menor temperatura del último barril (120° C) y mayores porcentajes de subproductos. Se ha reportado que la presencia de distintos componentes al almidón, como fibra y otros polisacáridos, tienen un efecto lubricante sobre la masa fundida cuando se exponen a altas temperaturas durante la extrusión, interfiriendo en la formación de burbujas y limitando la gelatinización del almidón, dando como resultado extrudidos menos expandidos y más duros (Dehghan-Shoar et al., 2011). El utilizar temperaturas menores a los 120 °C, tratamientos posteriores de secado y la composición química de los subproductos promovió a que los extrudidos con mayor porcentaje de cáscara de mango presentaran menor dureza.

**Cuadro 9.** Propiedades físicas en extrudidos de maíz adicionados con cáscara de mango y papaya.

Tratamientos	% Expansión	Fracturabilidad (N)
Control	237.00 ± 6.10 <sup>a</sup>	27.08 ± 1.33 <sup>a</sup>
M15 %	193.37 ± 2.46 <sup>a</sup>	19.96 ± 0.63 <sup>b</sup>
M10 % P5 %	178.13 ± 2.06 <sup>b</sup>	20.01 ± 1.24 <sup>b</sup>
M7.5 % P7.5 %	176.00 ± 3.79 <sup>bc</sup>	22.25 ± 1.21 <sup>b</sup>
M5 % P10 %	167.28 ± 3.00 <sup>cd</sup>	22.19 ± 1.00 <sup>b</sup>
P15 %	159.15 ± 2.23 <sup>d</sup>	23.08 ± 0.77 <sup>ab</sup>

Los datos se presentan como la media ± error estándar, n=3. Letras diferentes indican diferencias significativas (p<0.05).

El análisis microbiológico realizado a los extrudidos demostró que la carga microbiana no superó los límites de la legislación sanitaria actual, según la NOM-147-SSA1-1996, asegurando la inocuidad de las muestras, por lo cual fue posible realizar la evaluación sensorial. En el Cuadro 10 se muestran los resultados de aceptabilidad de los atributos sensoriales de color, sabor, textura y aceptabilidad general de los extrudidos. Para el atributo sensorial del color, todos los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya fueron evaluados de manera superior (p<0.05) al control como “me es indiferente”. Aunque no se encontraron diferencias entre tratamientos, el color del extrudido M7.5 % P7.5 % fue el mejor evaluado entre los consumidores. Korkerd et al., (2016) reportaron que incorporar 8.6 % de cáscara de mango en extrudidos de maíz mostró el mayor puntaje sensorial para el atributo del color, sin embargo, estos autores utilizaron mango cv. ‘Kaeo’ y adicionaron harina de soya desgrasada (7.4 %) y arroz integral germinado (4 %) a los extrudidos, los cuales pudieron haber influido en dicho parámetro. En otro estudio se reportó que el color de galletas de trigo que contenían 10 % de cáscara de mango, fueron las más aceptables, sin embargo, éstas fueron elaboradas con otra variedad de mango e incluyeron ingredientes como azúcar, manteca, cloruro de sodio, bicarbonato entre otros, que pudieron haber influido en las propiedades físicas de la galletas (Ajila et al., 2008). En esta investigación, los extrudidos se realizaron únicamente con harina de maíz y subproductos vegetales, lo que permitió observar que al combinar la cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ y papaya cv. ‘Maradol’, estos indujeron colores más atractivos para el consumidor, en comparación a la muestra control no adicionada.

Con respecto a los atributos sensoriales de sabor, textura y aceptabilidad general, todos los tratamientos, con excepción al P15 %, fueron mejores evaluados ( $p < 0.05$ ), en comparación al control. Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, se observó una tendencia positiva hacia los extrudidos que contenían mayor porcentaje de cáscara de mango sobre los parámetros de sabor, textura y aceptabilidad general. Ajila et al., (2008) reportaron que el sabor de galletas de trigo que contenían 10 % de cáscara de mango tenían un sabor agradable, sin embargo, al incrementar a 20 %, las galletas tuvieron un ligero sabor amargo, esto podría deberse al alto contenido fenólico que contiene la cáscara. Asimismo, la incorporación de 0 a 10 % de coliflor en extrudidos fueron juzgados como más aceptables, en comparación con los extrudidos que contenían entre 15 y 20 %, debido a que los panelistas mencionaron que la incorporación de coliflor superior al 10 % dio como resultado extrudidos con sabores demasiado fuertes (Stojceska et al., 2008). Estos resultados obtenidos sugieren que los extrudidos (M15 % y M10 % P5 %) cuyas propiedades de color ( $^{\circ}$ Hue 84.99-78.56, expansion (193.37-178.13 %) y dureza (19.96-20.01) fueron considerados los más aceptables para el consumidor.

**Cuadro 10.** Análisis sensoriales de extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.

<b>Tratamientos</b>	<b>Color</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>	<b>Aceptabilidad General</b>
Control	$2.85 \pm 1.35^c$	$3.61 \pm 1.33^c$	$3.06 \pm 1.53^c$	$3.15 \pm 1.29^b$
M15 %	$4.27 \pm 1.14^b$	$4.12 \pm 1.28^a$	$4.37 \pm 1.43^a$	$4.03 \pm 1.32^a$
M10 % P5 %	$4.83 \pm 1.06^a$	$4.15 \pm 1.14^a$	$3.95 \pm 1.41^{ab}$	$4.07 \pm 1.07^a$
M7.5 % P7.5 %	$4.91 \pm 1.11^a$	$3.96 \pm 1.24^{ab}$	$3.75 \pm 1.34^b$	$3.91 \pm 1.23^a$
M5 % P10 %	$4.87 \pm 1.20^a$	$4.16 \pm 1.27^a$	$3.97 \pm 1.52^{ab}$	$3.91 \pm 1.31^a$
P15 %	$4.85 \pm 1.22^a$	$3.63 \pm 1.30^{bc}$	$3.09 \pm 1.38^c$	$3.44 \pm 1.22^b$

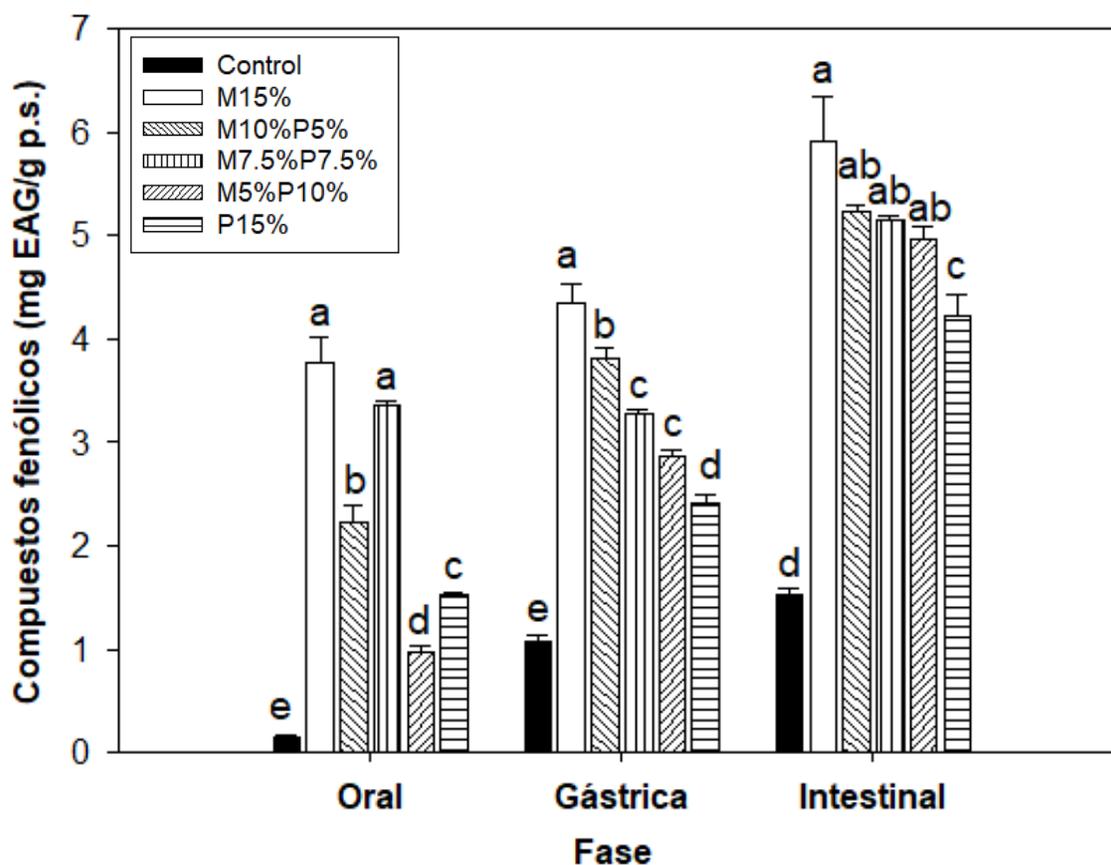
Los datos se presentan como la media  $\pm$  error estándar,  $n=112$ . Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Los puntajes del 1 al 7 representan opiniones de “me disgusta mucho” (1) a “me gusta mucho” (7).

## 6.7 Bioaccesibilidad *in vitro* de Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante en Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya

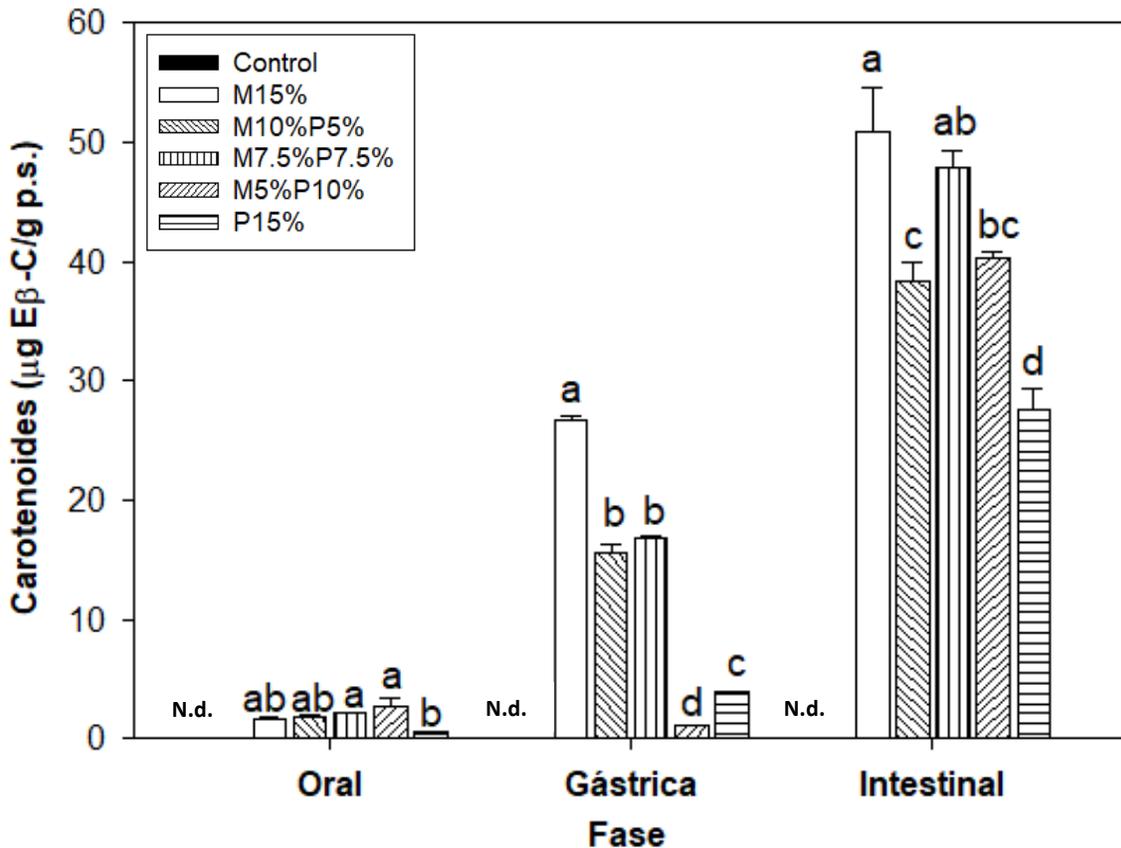
El contenido de compuestos fenólicos de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya en las diferentes etapas de la digestión gastrointestinal *in vitro*, se muestra en la Figura 12. Los resultados mostraron que el extrudido M15 % exhibió mayor ( $p < 0.05$ ) liberación de compuestos fenólicos durante las etapas oral, gástrica e intestinal (3.77, 4.35 y 5.90 mg EAG/g p.s., respectivamente), en comparación a los demás tratamientos. La concentración de compuestos fenólicos aquí reportada fue menor, en comparación de bocadillos elaborados a partir de pasta y cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ durante la fase gástrica e intestinal (15.86-23.39 mg EAG/g p.s., respectivamente) reportada por otros autores, sin embargo, ellos utilizaron un mayor porcentaje de subproductos para la elaboración de sus bocadillos (35 % y 15 % de pasta y cáscara, respectivamente) (Bertha et al., 2019). Blancas-Benitez et al., (2015) reportaron que, por medio de hidrólisis enzimática, la concentración de los compuestos fenólicos de la cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ aumentó (2.13 mg EAG/g p.s.), mencionando que estos compuestos se encuentran atrapados en la fibra dietaria, y que la acción de pepsina y pHs bajos favorecen su liberación. Por esta razón, la composición de los productos y las condiciones gastrointestinales son factores que pueden influir en la liberación de los compuestos fenólicos que se encuentran interactuando con macromoléculas.

En la Figura 13 se presentan las concentraciones de carotenoides en los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya, en donde se observa que todos los tratamientos presentaron concentraciones mayores ( $p < 0.05$ ) de carotenoides, en comparación al control. Los extrudidos con mayor porcentaje de cáscara de mango exhibieron una mayor liberación ( $p < 0.05$ ) de carotenoides durante la fase gástrica e intestinal (26.77 y 50.87  $\mu\text{g E}\beta\text{-C/g p.s.}$ , respectivamente), con respecto a los demás extrudidos. Schweiggert et al., (2012) reportaron que la bioaccesibilidad de  $\beta$ -caroteno de la pulpa de mango fue superior, en comparación a la de la papaya, debido a que esta última contiene cristaloides de licopeno que protegen el cromoplasto durante la digestión, impidiendo la liberación del  $\beta$ -caroteno. Además, se ha reportado que existen diferencias de contenido y bioaccesibilidad del  $\beta$ -caroteno entre distintas variedades de mango y papaya, y que la presencia de ácidos orgánicos exógenos o propios del fruto, ayudan a la retención del  $\beta$ -caroteno en la matriz

alimentaria durante procesamientos térmicos, aumentando así su bioaccesibilidad (Veda et al., 2007). Otros autores mencionan que la fibra dietaria soluble como la pectina, puede influir en la incorporación del  $\beta$ -caroteno en las micelas, cambiando sus propiedades interfaciales y reduciendo su bioaccesibilidad (Verrijssen et al., 2015). Por esta razón, la variedad, la morfología de los cromoplastos y la composición de la fibra dietaria de ambos subproductos, pueden influir en la bioaccesibilidad del  $\beta$ -caroteno de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.



**Figura 12.** Concentración de compuestos fenólicos de extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante la fase de digestión *in vitro* oral, gástrica e intestinal. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas entre columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en cada fase digestiva.

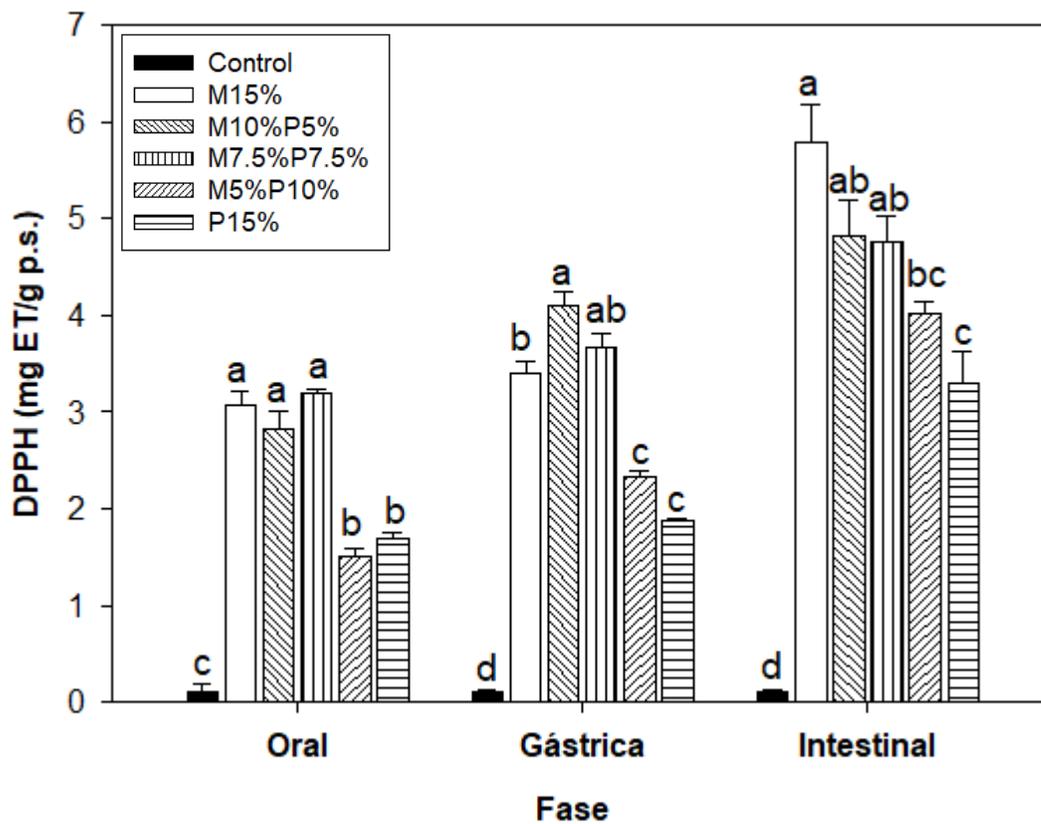


**Figura 13.** Concentración de carotenoides totales de extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante las fases de digestión *in vitro* oral, gástrica e intestinal. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas entre columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en cada fase digestiva. N.d.= no detectado

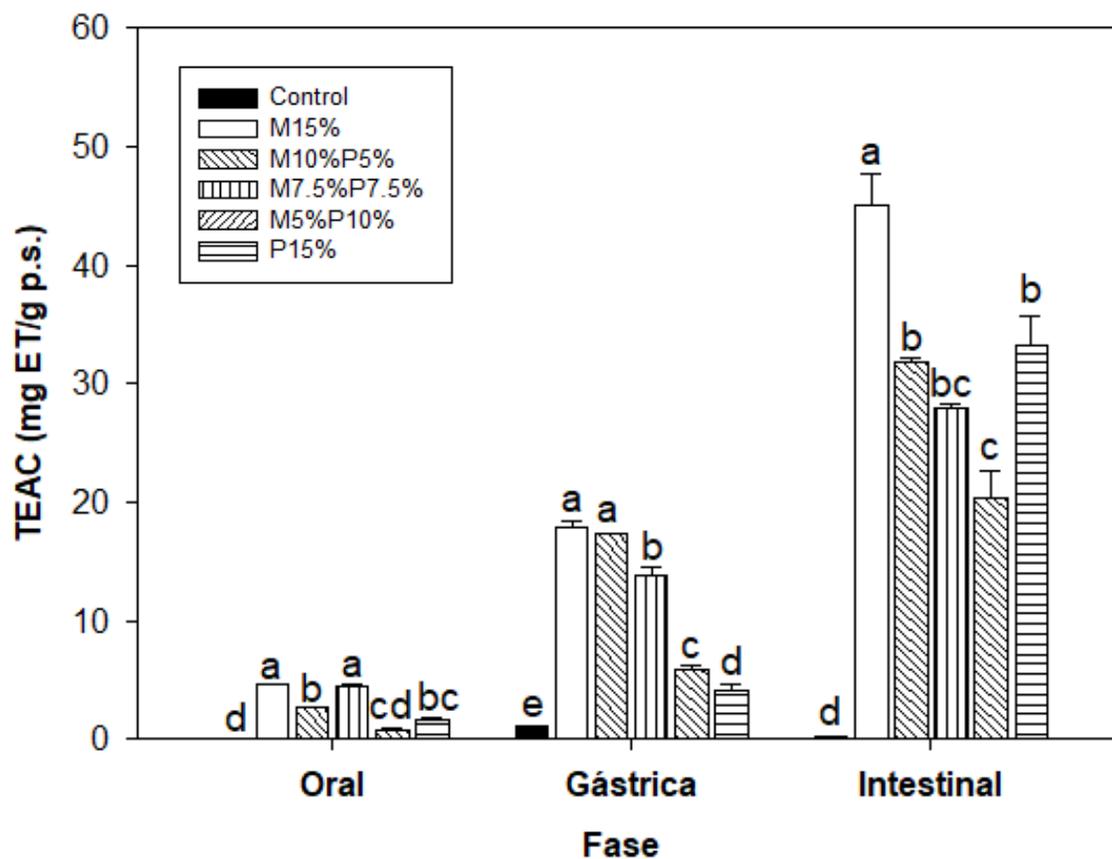
La capacidad antioxidante por los métodos de DPPH, TEAC y FRAP de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya durante la digestión *in vitro* se muestran en las Figuras 14, 15 y 16, respectivamente. Como se puede observar en las Figuras 14 y 15, los extrudidos M15 %, M10 % P5 % y M7.5 % P7.5 % presentaron mayor ( $p < 0.05$ ) capacidad antioxidante durante las fases digestivas, en comparación al control y a los demás extrudidos. De acuerdo a la Figura 16, durante la fase gástrica, la muestra M10 % P5 % presentó mayor ( $p < 0.05$ ) capacidad antioxidante (7.87 mg EAG/g p.s.), en comparación al control (0.39 mg EAG/g p.s.). Se ha reportado que pueden ocurrir efectos sinérgicos al combinar compuestos lipofílicos e hidrofílicos, como lo son los compuestos fenólicos y carotenoides presentes en los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya (Phan et al., 2018). Neunert et al., (2015) utilizaron estudios de fluorescencia para demostrar que

existe un efecto sinérgico al combinar el ácido ferúlico o ácido cafeico con  $\alpha$ -tocoferol, ambos compuestos presentes en la cáscara de mango y papaya; estos autores mencionan que la alta polaridad de los ácidos fenólicos, en comparación a la del  $\alpha$ -tocoferol, propició interacciones más efectivas que aumentaron la capacidad antioxidante. Estos resultados sugieren que durante las etapas de digestión *in vitro*, se presentó un efecto sinérgico que influyó en aumentar la capacidad antioxidante de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya.

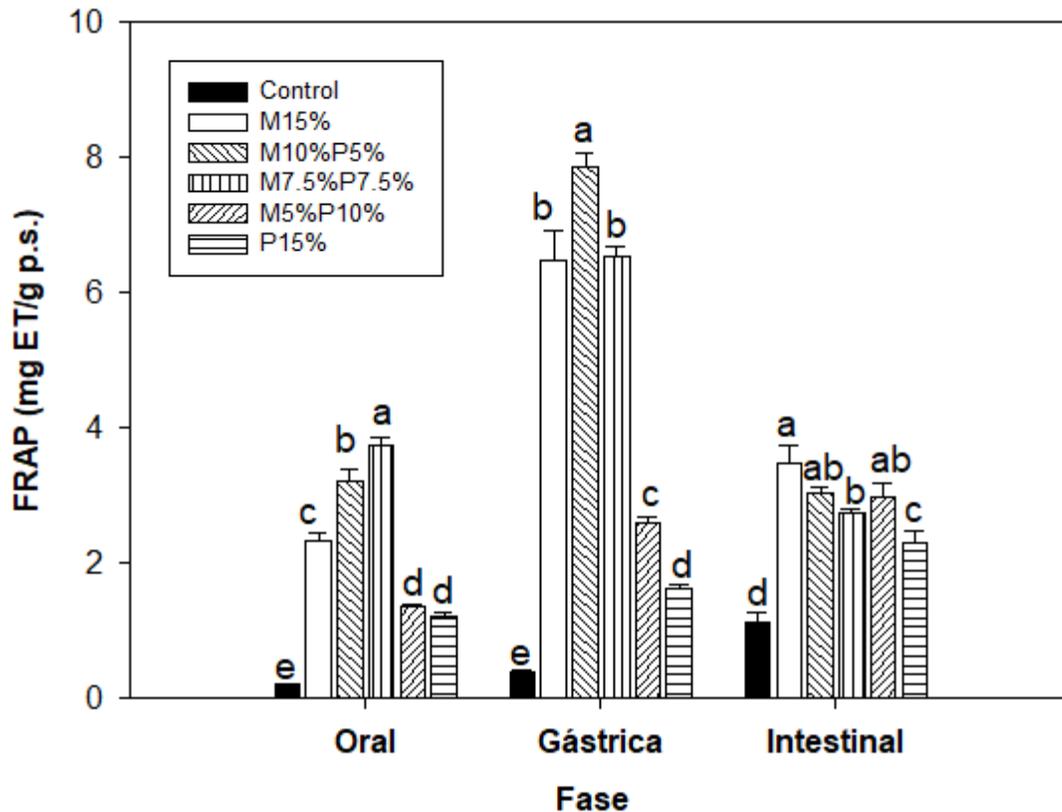
La digestión *in vitro* de los extrudidos mostró que durante la fase intestinal se presentó la mayor capacidad antioxidante de acuerdo a los métodos de DPPH y ABTS, mientras que FRAP mostró mayor capacidad antioxidante en la fase gástrica. Estudios de digestión *in vitro* mostraron que algunos compuestos fenólicos (ácido cafeico, quercetina y resveratrol de extractos de uva) ejercieron mayor actividad antioxidante durante la fase intestinal en ensayos de ABTS, fenómeno que los autores atribuyen a que los cambios de pH ácidos gástricos a pH alcalino intestinales causan la desprotonación de los grupos hidroxilos de los compuestos fenólicos, aumentando así su actividad antioxidante (Tagliazucchi et al., 2010). Asimismo, se ha reportado que la cáscara de mango cv. 'Ataulfo' contiene compuestos de tipo xantonas, flavonoides y ácidos fenólicos, tales como mangiferina, quercetina y ácido cafeico, los cuales pueden ser liberados por hidrólisis alcalina o ácida, mostrando una mayor capacidad antioxidante en las diferentes fases de la digestión (Pacheco-Ordaz et al., 2018). Por otro lado, Su et al., (2018) reportaron un aumento en la capacidad antioxidante medida por la técnica de FRAP en extractos de hoja de loto con FSG, sin embargo, estos autores mencionan que las condiciones de pH y la acción proteolítica de la pepsina y tripsina influyeron en la liberación de compuestos fenólicos, promoviendo así cambios en su capacidad antioxidante. Por lo tanto, se propone que la acción de enzimas digestivas promueve la liberación de compuestos fenólicos atrapados en la matriz alimentaria, mientras que la transición de un pH ácido del estómago a un pH básico del intestino, puede inducir cambios estructurales en las moléculas fenólicas que influyen en su capacidad antioxidante.



**Figura 14.** Capacidad antioxidante por el método DPPH en extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante las fases de digestión *in vitro* oral, gástrica e intestinal. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas entre columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en cada fase digestiva.



**Figura 15.** Capacidad antioxidante por el método TEAC en extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante las fases de digestión *in vitro* oral, gástrica e intestinal. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas entre columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en cada fase digestiva.



**Figura 16.** Capacidad antioxidante por el método FRAP en extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones durante las fases de digestión *in vitro* oral, gástrica e intestinal. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas entre columnas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en cada fase digestiva.

#### 6.8 Absorción Aparente *in vitro* de Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante de Extrudidos Adicionados con Cáscara de Mango y Papaya Durante la Digestión *in vitro*

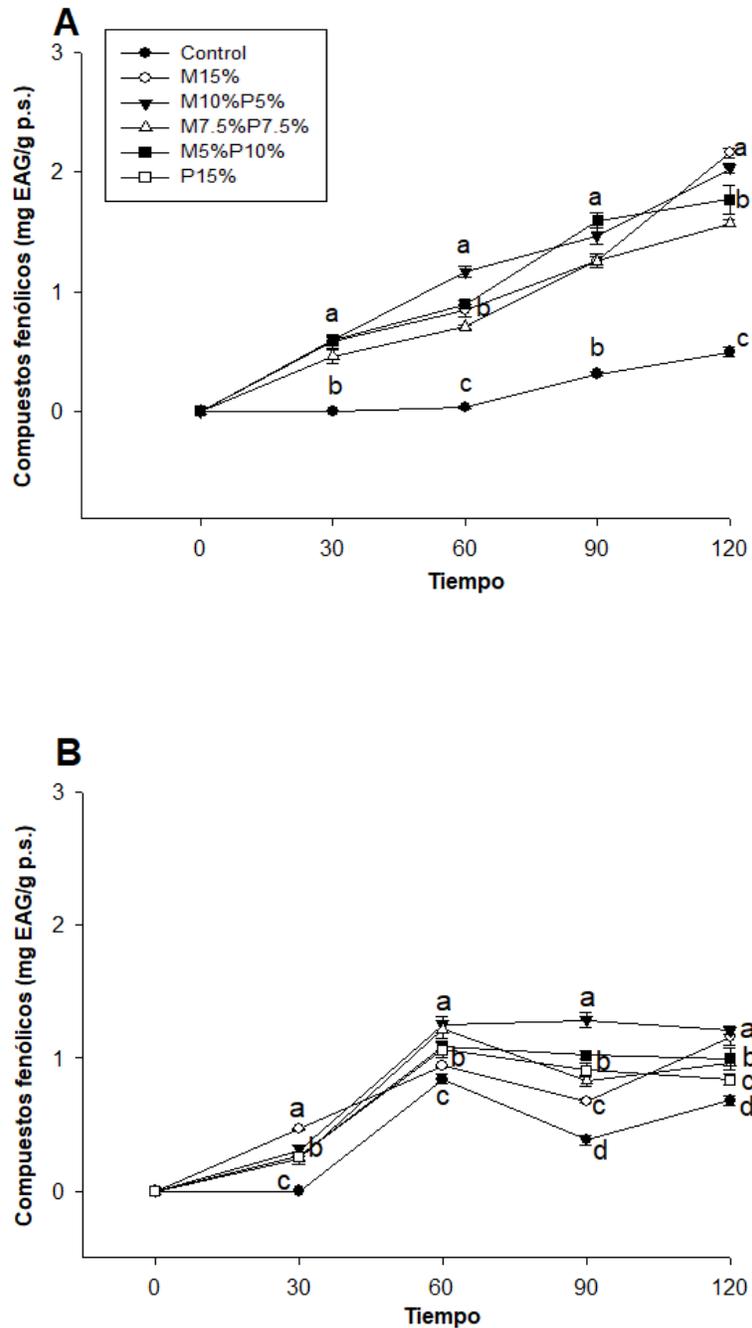
Para que los compuestos bioactivos presentes en los extrudidos ejerzan su actividad, estos deben ser biodisponibles, es decir, que los compuestos que se liberan de la matriz alimentaria durante la digestión sean absorbidos por el organismo, distribuidos por el sistema circulatorio y posteriormente metabolizados (Ribas-Agustí et al., 2018). Como se puede observar en la Figura 17, los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya presentaron mayor ( $p < 0.05$ ) concentración de compuestos absorbibles durante la fase gástrica e intestinal, con respecto al control. El porcentaje de absorción aparente de los compuestos fenólicos de los extrudidos adicionados durante la fase gástrica e intestinal fue de 123 % y 74 %, respectivamente. Ariza et al.,

(2018) reportaron menores porcentajes de compuestos fenólicos absorbibles durante la fase gástrica (7.78 %) e intestinal (1.47 %) en los aquenios de fresas sin ningún procesamiento, mientras que en el presente estudio se utilizó la extrusión. Se ha reportado que este tipo de tecnologías pueden inducir la liberación de compuestos bioactivos que se encuentran unidos por puentes de hidrógeno o fuerzas electroestáticas con macromoléculas de la matriz alimentaria, lo cual podría facilitar la absorción gástrica o intestinal de estos compuestos (Ribas-Agustí et al., 2018).

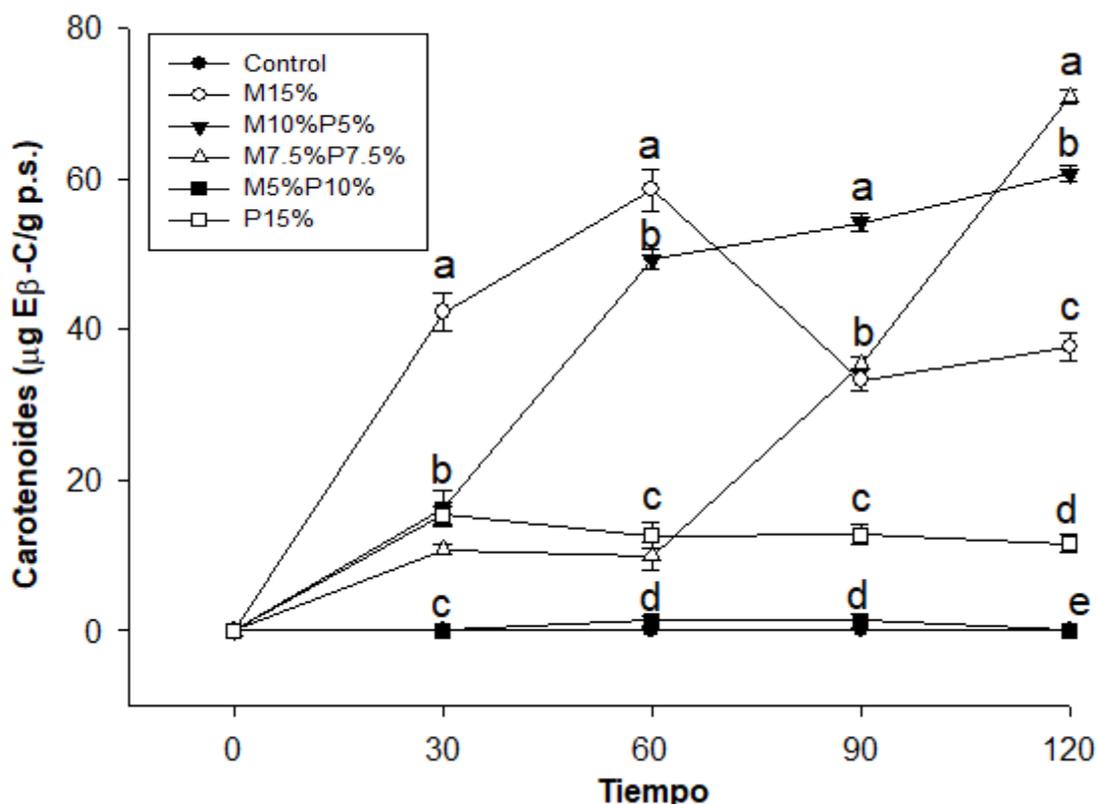
Bertha et al. (2019) elaboraron tres snacks con diferente contenido de cáscara de mango cv. 'Ataulfo' y observaron que el que contenía mayor porcentaje de cáscara presentó los mayores porcentajes de absorción aparente (53.34 %). Se ha reportado que compuestos fenólicos como ácido vanílico e hidroxicinámicos interactúan en menor medida en comparación con otros compuestos fenólicos presentes en la cáscara de mango cv. 'Ataulfo', los cuales, debido a su bajo peso molecular, pueden atravesar la membrana de diálisis y ser absorbidos. Sin embargo, existen otros factores como enzimas, pH del tracto gastrointestinal y las propiedades fisicoquímicas de los compuestos bioactivos que influyen en la bioaccesibilidad y la absorción durante la digestión *in vitro* de estos compuestos (Blancas-Benitez et al., 2015).

No se detectaron carotenoides durante la fase gástrica, únicamente en la fase intestinal. Se ha reportado que durante la fase oral se produce la hidrólisis del almidón de los alimentos, mientras que el ambiente ácido y la pepsina favorecen principalmente la digestión de proteínas aumentando la liberación de compuestos lipofílicos como los carotenoides, sin embargo, se ha estimado que < 10 % de los lípidos se digieren durante la fase gástrica (Cervantes-Paz et al., 2017). Esto se debe a que la mayor parte de la digestión de los lípidos ocurre en el intestino delgado, ya que los lípidos requieren de sales biliares para la formación de emulsiones que permitan la actividad enzimática de la lipasa. Posteriormente, los carotenoides que se encuentran dentro de micelas podrán ser absorbidos por el enterocito *in vivo*. En contraste con la fase gástrica, se detectaron concentraciones de carotenoides bioaccesibles en la fase intestinal. De acuerdo a la Figura 18, los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya presentaron mayores ( $p < 0.05$ ) concentraciones de carotenoides, en comparación al control. El extrudido M7.5 % P5 % presentó la mayor ( $p < 0.05$ ) concentración de carotenoides ( $59.69 \pm 19.23 \mu\text{g E}\beta\text{-C/g p.s.}$ ), seguido del extrudido M10 % P5 % ( $54.24 \pm 2.64 \mu\text{g E}\beta\text{-C/g p.s.}$ ). Ortak et al., (2017) reportaron que la extrusión aumentó la bioaccesibilidad *in vitro* de  $\beta$ -caroteno y luteína en extrudidos de maíz adicionados con 20 % de pulpa de zanahoria. Estos autores mencionan que los carotenoides pueden formar complejos con las proteínas y que el calor puede promover su liberación. Sin embargo, es evidente que la adición de cáscara de mango y papaya contribuyó a incrementar significativamente la concentración de

carotenoides en los extrudidos.



**Figura 17.** Absorción aparente de compuestos fenólicos durante la fase gástrica (A) e intestinal (B), en extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para cada tiempo (0, 30, 60, 90 y 120 min).

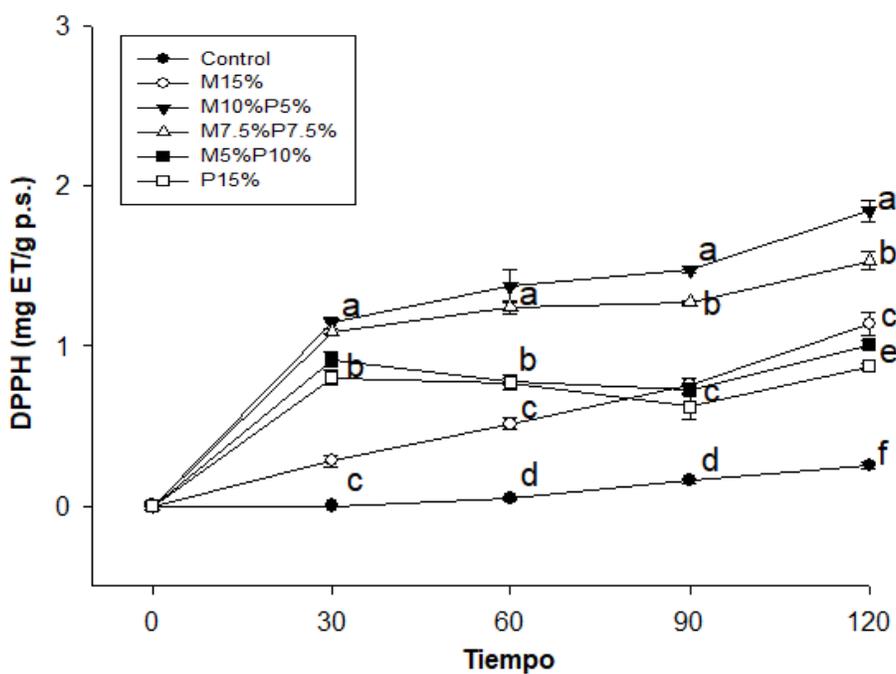


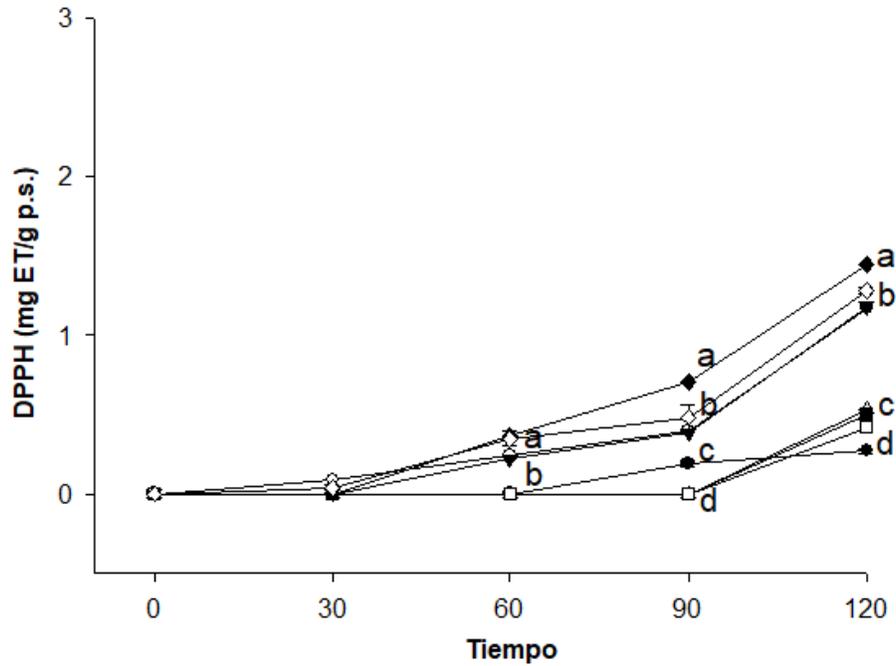
**Figura 18.** Concentración de  $\beta$ -caroteno durante la fase intestinal en extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para cada tiempo (0, 30, 60, 90 y 120 min).

En las Figuras 19, 20 y 21 se presenta la absorción aparente de las capacidades antioxidantes de los compuestos bioactivos por los métodos de DPPH, TEAC y FRAP, respectivamente, durante las etapas de digestión *in vitro* gástrica e intestinal de los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya. Durante las etapas gástrica e intestinal, los extrudidos M15 %, M10 % P5 % y M7.5 % P7.5 % presentaron la mayor ( $p < 0.05$ ) capacidad antioxidante (DPPH, TEAC y FRAP), con respecto a los demás tratamientos. Asimismo, al finalizar la etapa gástrica, el extrudido M10 % P5 % mostró mayor ( $p < 0.05$ ) capacidad antioxidante por los métodos de DPPH (1.84 mg ET/g p.s.) y FRAP (2.58 mg ET/g p.s.), mientras que el extrudido M15 % tuvo la mayor ( $p < 0.05$ ) capacidad antioxidante por el método de TEAC (3.29 mg ET/g p.s.). Durante la etapa intestinal, el extrudido M15 % presentó mayor ( $p < 0.05$ ) capacidad antioxidante por TEAC (8.15 mg ET/g p.s.), con respecto a los demás tratamientos. En el caso del método de FRAP, los extrudidos M15 %, M10 % P5 % y M7.5 % P7.5 % presentaron valores similares entre sí, pero superiores ( $p < 0.05$ ) a las demás

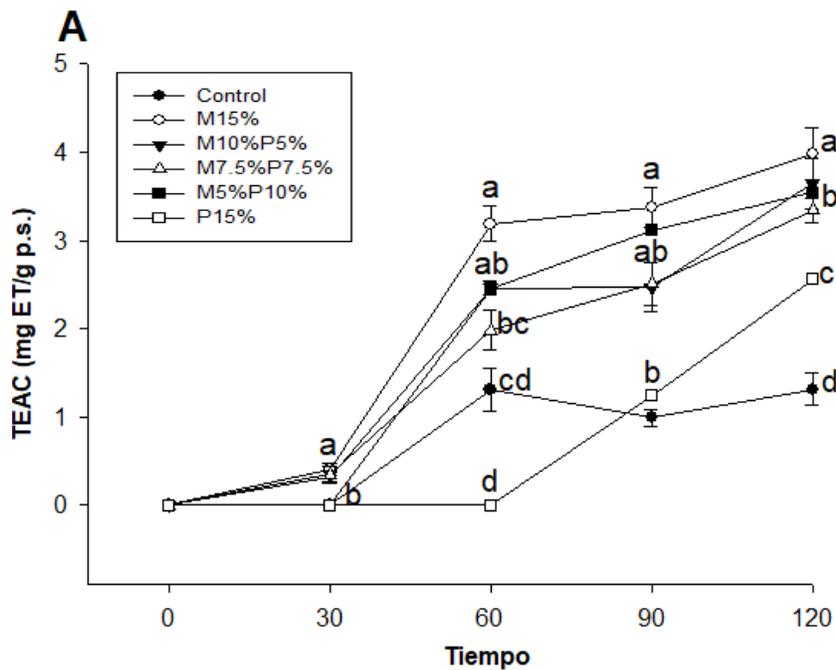
muestras. Estos resultados sugieren que los extrudidos adicionados exhibieron una mayor capacidad antioxidante absorbible en la etapa gástrica, en comparación a la intestinal.

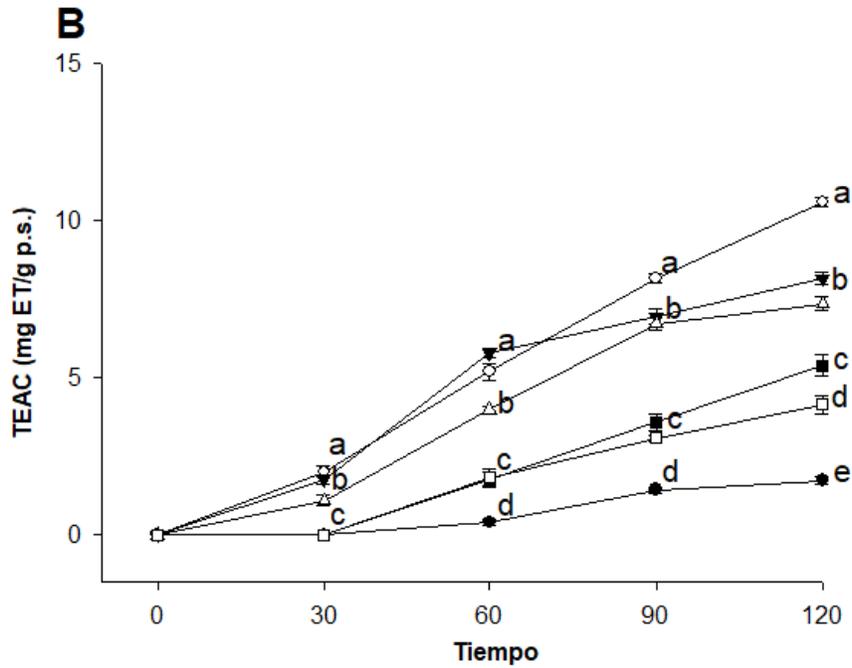
Se observó que los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya presentaron porcentajes de absorción aparente en la etapa intestinal por los métodos de DPPH (14.5 %), FRAP (32.3 %) y TEAC (175 %). Ariza et al., (2018) reportaron menores porcentajes de absorción aparente intestinal por el método antioxidante TEAC (29.23 %) en fresas cv. 'Camaraosa', en comparación a los datos aquí reportados, sin embargo, varios autores demuestran que tecnologías de extrusión ayudan a liberar los compuestos bioactivos que se encuentran unidos en la matriz alimentaria, incrementando así la bioaccesibilidad y biodisponibilidad de compuestos fenólicos durante digestiones *in vitro* e *in vivo*, en comparación con muestras sin procesar (Güven et al., 2018; Hole et al., 2013). Estos resultados sugieren que técnicas como la extrusión podrían promover una mayor liberación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de los extrudidos adicionados durante y después de la digestión.



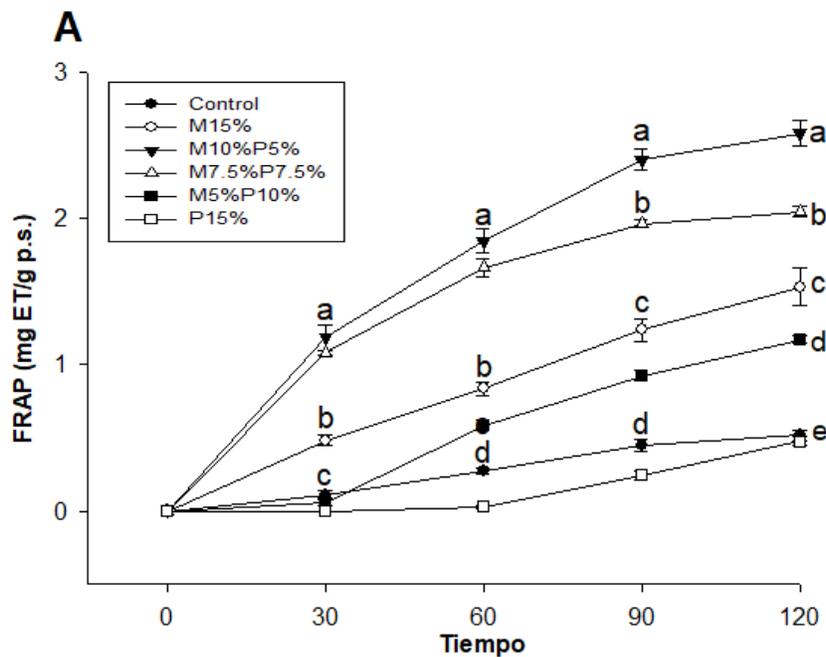


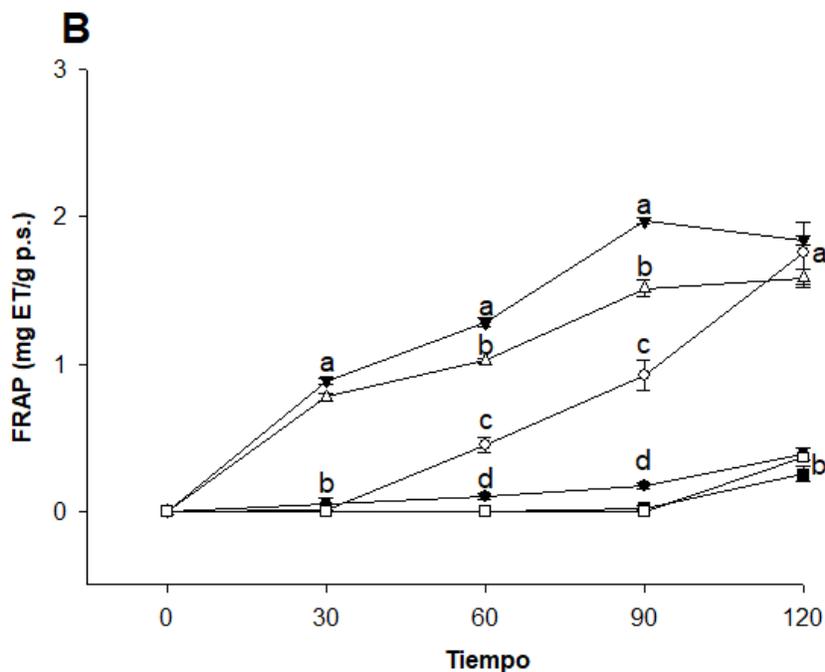
**Figura 19.** Capacidad antioxidante por el método DPPH durante la fase gástrica (A) e intestinal (B) de extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para cada tiempo (0, 30, 60, 90 y 120 min).





**Figura 20.** Capacidad antioxidante por el método TEAC durante la fase gástrica (A) e intestinal (B) de extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para cada tiempo (0, 30, 60, 90 y 120 min).





**Figura 21.** Capacidad antioxidante por el método FRAP durante la fase gástrica (A) e intestinal (B) de extrudidos de maíz adicionados con 15 % de cáscara de mango, papaya y sus combinaciones. Los análisis se realizaron por duplicado y los valores se presentan como la media  $\pm$  error estándar. Letras minúsculas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) para cada tiempo (0, 30, 60, 90 y 120 min).

### 6.9 Análisis de Componentes Principales

En el Cuadro 11 se muestran las varianzas de los componentes principales, los cuales permiten determinar el número de componentes principales que expliquen la máxima variabilidad de los datos del presente estudio. El primer componente principal explica el porcentaje más alto, alcanzando el 63.8 % de la variabilidad de los datos, y se correlaciona positivamente con la concentración de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante por los métodos de DPPH, FRAP y ABTS y los atributos sensoriales de textura, sabor y aceptabilidad general. En contraste, el primer componente correlacionó negativamente con el porcentaje de expansión,  $L^*$  y fracturabilidad. El segundo componente explica el 28.4 % de la variabilidad de los datos y correlacionó positivamente con la concentración de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante por los métodos de DPPH, FRAP y ABTS,  $L^*$  y el porcentaje de expansión de los extrudidos, mientras que correlacionó

negativamente con la concentración de carotenoides y los valores de  $a^*$  y  $b^*$ . Por último, el tercer componente explica el 3.2 % de la variabilidad, y correlacionó positivamente con los valores de sabor, textura y aceptabilidad general, mientras que correlacionó negativamente con la concentración de carotenoides. Estos resultados sugieren que, con tres componentes principales, es posible explicar el 95.4 % de la variabilidad de los datos.

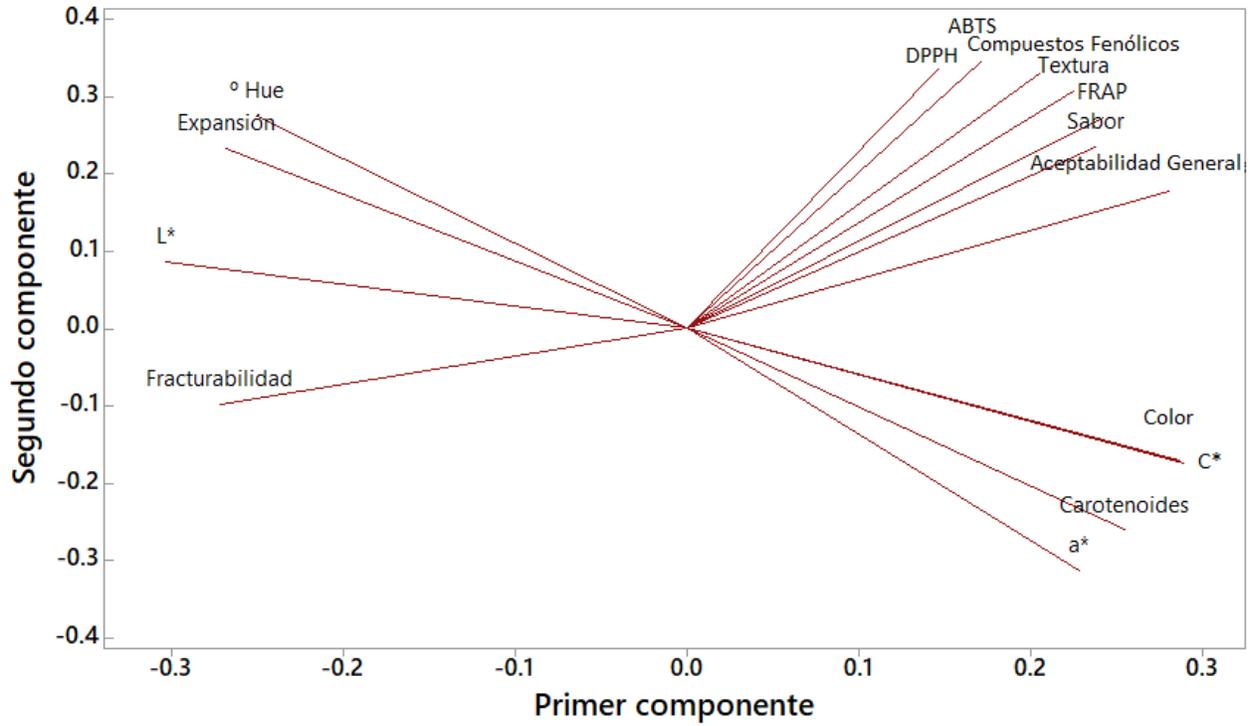
En la Figura 22 se muestra la gráfica de influencias, la cual permite identificar cuáles variables tienen un mayor efecto sobre cada componente, caracterizando cada uno de los componentes en términos de variables. Se observa que la concentración de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, textura, sabor, color, aceptabilidad general y los valores de  $a^*$  y  $b^*$  influyen positivamente en el primer componente, mientras que variables como la expansión y  $L^*$  influyen negativamente. Por otro lado, la concentración de compuestos fenólicos, capacidad antioxidante,  $L^*$ , expansión, sabor, textura y aceptabilidad general correlacionan positivamente con el segundo componente, mientras que la concentración de carotenoides, color y los valores de  $a^*$  y  $b^*$  influyen negativamente. De tal manera que los primeros dos componentes miden la mayor parte de las propiedades funcionales y organolépticas, sin embargo, el segundo componente se centra más en el color y la concentración de carotenoides de los extrudidos.

La gráfica de puntuaciones sobrepone los datos del presente estudio en un espacio tridimensional determinado por los primeros tres componentes. Como se muestra en la Figura 23, los extrudidos M15 % y M10 % P5 % se correlacionaron positivamente con la concentración de compuestos bioactivos, actividad antioxidante por los métodos DPPH, FRAP y ABTS, los valores de  $a^*$  y  $b^*$  y los atributos sensoriales (color, sabor, textura y aceptabilidad general), sin embargo, se correlacionaron negativamente con la concentración de carotenoides, color y los valores de  $a^*$  y  $b^*$ . Los extrudidos M15 % y M10 % P5 % presentaron mayor expansión y menor dureza, en comparación con los demás extrudidos (P15 %, M7.5 % P7.5 % y M5 % P10 %), los cuales se asociaron positivamente con la mayor concentración de carotenoides, valores de  $a^*$  y  $b^*$  y el atributo sensorial del color, además presentaron menor porcentaje de expansión, mayor dureza, menor  $L^*$  y menor concentración de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Resultados similares fueron reportados por Bertha et al., (2019), quienes reportan una correlación positiva entre bocadillos de trigo elaborados con 3.75 % y 7.5 % de cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’, y su capacidad antioxidante por los métodos de FRAP y ABTS. Estos resultados sugieren que añadir cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’, permite la elaboración de bocadillos con mayor concentración de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y mejores atributos sensoriales.

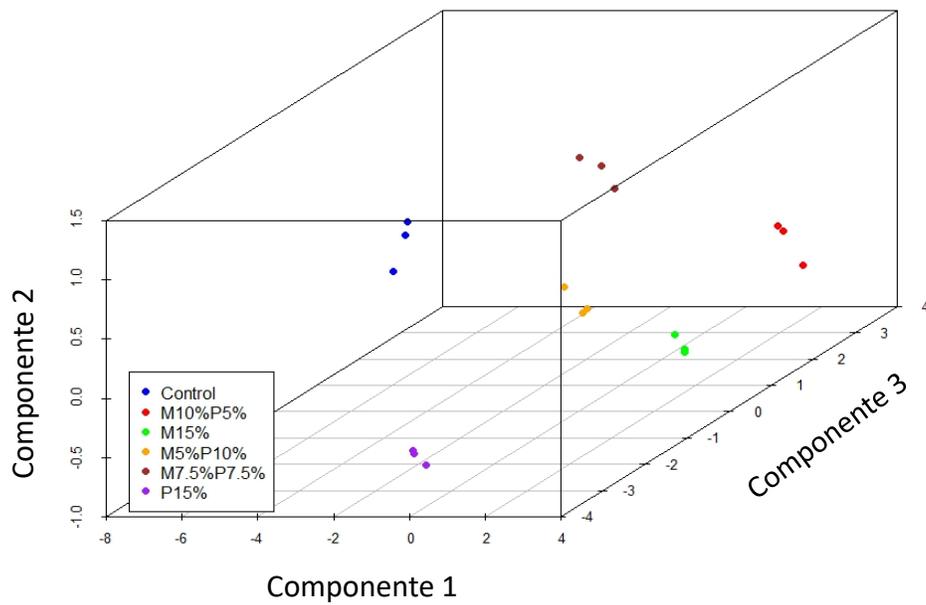
**Cuadro 11.** Análisis de los valores y vectores propios de la matriz de correlación.

<b>Valor Propio</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Proporción	8.938	3.978	0.442
Acumulada	0.638	0.923	0.954
<b>Vectores Propios</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Compuestos Fenólicos	0.205	0.329	-0.108
Carotenoides	0.255	-0.260	0.131
DPPH	0.146	0.337	-0.598
ABTS	0.171	0.346	-0.307
FRAP	0.242	0.274	-0.020
L*	-0.303	0.087	-0.048
a*	0.228	-0.313	-0.122
b*	0.286	-0.173	-0.205
C*	0.286	-0.170	-0.229
°Hue	-0.250	0.275	0.060
Fracturabilidad	-0.272	-0.097	-0.303
Expansión	-0.268	0.233	0.032
Color	0.289	-0.175	0.002
Sabor	0.238	0.235	0.453
Textura	0.225	0.308	0.296
Aceptabilidad General	0.280	0.179	0.134

CP1=Componente principal 1, CP2=Componente principal 2 y CP3=Componente principal 3.



**Figura 22.** Grafica de influencia entre las variables.



**Figura 23.** Grafica de puntuaciones en un espacio tridimensional.

## 7. CONCLUSIONES

Añadir hasta un 15 % de cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’ y papaya cv. ‘Maradol’ a extrudidos de maíz, incrementa su concentración de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y mejora los atributos de sabor, color y textura, haciéndolos más atractivos a un grupo de panelistas no entrenados. La mayor liberación y absorción aparente de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante durante las etapas de digestión *in vitro* ocurrió durante las etapas gástrica e intestinal, en los extrudidos adicionados con un mayor porcentaje de cáscara de mango cv. ‘Ataulfo’.

## 8. RECOMENDACIONES

Debido a que los extrudidos adicionados con cáscara de mango y papaya se evaluaron de forma *in vitro*, se sugiere realizar estudios con modelos *in vivo*. Por ejemplo, proporcionando extrudidos adicionados con subproductos a ratas, realizando muestras periódicas de sangre y orina para detectar metabolitos relacionados con los compuestos bioactivos y su distribución a los diferentes tejidos u órganos mediante técnicas de UPLC-DAD-MS. Por otro lado, sería interesante evaluar los atributos sensoriales de los extrudidos adicionados con la ayuda de un panel entrenado, de tal manera que se podrían mejorar aún más las propiedades organolépticas de los extrudidos y que estos sean más atractivos al consumidor.

## 9. REFERENCIAS

- AACC. 2000. Approved Methods of the AACC. AACC-Method 44-15.
- Ajila, C. M., Leelavathi, K., and 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.
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., and 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.
- Altan, A., McCarthy, K. L., and Maskan, M. (2008). Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 231–242.
- Arizaa M. T., Reboredo-Rodríguez P., Cervantes L., Soria C., Martínez-Ferria E., González-Barreiro C., Cancho-Grande B., Battino M, S.-G. J. (2018). Bioaccessibility and potential bioavailability of phenolic compounds from achenes as a new target for strawberry breeding programs. *Food Chemistry*, 248, 155–165.
- Ayala-Zavala, J. F., Rosas-Domínguez, C., Vega-Vega, V., and González-Aguilar, G. A. (2010). Antioxidant enrichment and antimicrobial protection of fresh-cut fruits using their own byproducts: Looking for integral exploitation. *Journal of Food Science*, 75(8), 175–181.
- Benzie, I. F. F., and Strain, J. J. (1999). Ferric reducing (antioxidant) power as a measure of antioxidant capacity: the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 299, 15–36.
- Bisharat, G. I., Oikonomopoulou, V. P., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K., and Maroulis, Z. B. (2013). Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53(1), 1–14.
- Blancas-Benitez, F. J., Mercado-Mercado, G., Quirós-Sauceda, A. E., Montalvo-González, E., González-Aguilar, G. A., and Sáyago-Ayerdi, S. G. (2015). Bioaccessibility of polyphenols associated with dietary fiber and in vitro kinetics release of polyphenols in Mexican ‘Ataulfo’ mango (*Mangifera indica* L.) by-products. *Food & Function*, 6(3), 859–868.
- Bohn, T., Mcdougall, G. J., Alegría, A., Alming, M., Arrigoni, E., Aura, A. M., ... Santos, C. N. (2015). Mind the gap-deficits in our knowledge of aspects impacting the bioavailability of phytochemicals and their metabolites-a position paper focusing on carotenoids and polyphenols. *Molecular Nutrition and Food Research*, 59(7), 1307–1323.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., Brennan, C. S., and Tiwari, B. K. (2012). Impact of dietary fibre-enriched ready-to-eat extruded snacks on the postprandial glycaemic response of non-diabetic patients. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56, 834–837.
- Brennan, M. A., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., and Brennan, C. S. (2013). Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 893–902.

- Brennan, M. A., Monro, J. A., and Brennan, C. S. (2008). Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration. *International Journal of Food Science and Technology*, *43*, 2278–2288.
- Camacho-Hernández, I. L., Zazueta-Morales, J. J., Gallegos-Infante, J. A., Aguilar-Palazuelos, E., Rocha-Guzmán, N. E., Navarro-Cortez, R. O., ... Gómez-Aldapa, C. A. (2014). Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks. *CYTA - Journal of Food*, *12*(4), 320–330.
- Can-Cauich, C. A., Sauri-Duch, E., Betancur-Ancona, D., Chel-Guerrero, L., González-Aguilar, G. A., Cuevas-Glory, L. F., ... Moo-Huchin, V. M. (2017). Tropical fruit peel powders as functional ingredients: Evaluation of their bioactive compounds and antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, *37*, 501–506.
- Cervantes-Paz, B., Ornelas-Paz, J. de J., Ruiz-Cruz, S., Rios-Velasco, C., Ibarra-Junquera, V., Yahia, E. M., and Gardea-Béjar, A. A. (2017). Effects of pectin on lipid digestion and possible implications for carotenoid bioavailability during pre-absorptive stages: A review. *Food Research International*, *99*, 917–927.
- Cheema, S., and Sommerhalter, M. (2015). Characterization of polyphenol oxidase activity in Ataulfo mango. *Food Chemistry*, *171*, 382–387.
- Cruz-Trinidad Bertha, Sanchez-Burgos Jorge Alberto, Juscelino Tovar, S. G. S.-A. & V. M. Z.-G. (2019). In vitro gastrointestinal digestion of mango by-product snacks : Potential absorption of polyphenols and antioxidant capacity. *International Journal of Food Science and Technology*, 1–8.
- Da Silva, L. M. R., De Figueiredo, E. A. T., Ricardo, N. M. P. S., Vieira, I. G. P., De Figueiredo, R. W., Brasil, I. M., and Gomes, C. L. (2014). Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, *143*, 398–404.
- Dar, A. H., Sharma, H. K., and Kumar, N. (2014). Effect of extrusion temperature on the microstructure, textural and functional attributes of carrot pomace-based extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*, *38*(1), 212–222.
- Davis, A. R., Collins, J., Fish, W. W., Tadmor, Y., Webber, C. L., and Perkins-Veazie, P. (2007). Rapid method for total carotenoid detection in canary yellow-fleshed watermelon. *Journal of Food Science*, *72*(5), 319–323.
- de Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., Zacarías, L., Rodrigo, M. J., Sáyago Ayerdí, S., Blancas Benítez, F. J., ... 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.
- de Lourdes García-Magaña, M., García, H. S., Bello-Pérez, L. A., Sáyago-Ayerdi, S. G., and de Oca, M. M. M. (2013). Functional Properties and Dietary Fiber Characterization of Mango Processing By-products (*Mangifera indica* L., cv Ataulfo and Tommy Atkins). *Plant Foods for Human Nutrition*, *68*(3), 254–258.
- Dehghan-Shoar, Z., Mandimika, T., Hardacre, A. K., Reynolds, G. W., and Brennan, C. S. (2011). Lycopene bioaccessibility and starch digestibility for extruded snacks enriched with tomato derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *59*, 12047–12053.

- Dorta, E., Lobo, M. G., and Gonzalez, M. (2012). Reutilization of mango byproducts: Study of the effect of extraction solvent and temperature on their antioxidant properties. *Journal of Food Science*, *77*(1), 80–88.
- Drozd, W., Tomaszewska-Ciosk, E., Zdybel, E., Boruckowska, H., Boruckowski, T., and Regiec, P. (2014). Effect of apple and rosehip pomaces on colour, total phenolics and antioxidant activity of corn extruded snacks. *Polish Journal of Chemical Technology*, *16*, 7–11.
- Escalante-Aburto, A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., López-Cervantes, J., De Figueroa-Cárdenas, J. D., Barrón-Hoyos, J. M., ... Gutiérrez-Dorado, R. (2014). Obtaining ready-to-eat blue corn expanded snacks with anthocyanins using an extrusion process and response surface methodology. *Molecules*, *19*(12), 21066–21084.
- Gayosso-García Sancho, L. E., Yahia, E. M., and González-Aguilar, G. A. (2011). Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) fruit determined by HPLC-DAD-MS/MS-ESI. *Food Research International*, *44*, 1284–1291.
- Gómez, M., and Martínez, M. M. (2017). Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *8398*, 1–17.
- Gondi, M., and Prasada Rao, U. J. S. (2015). Ethanol extract of mango (*Mangifera indica* L.) peel inhibits  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase activities, and ameliorates diabetes related biochemical parameters in streptozotocin (STZ)-induced diabetic rats. *Journal of Food Science and Technology*, *52*, 7883–7893.
- González, M., and González, V. (2010). Sample preparation of tropical and subtropical fruit biowastes to determine antioxidant phytochemicals. *Analytical Methods*, *2*(12), 1842–1866.
- Guven, O., Sensoy, I., Senyuva, H., and Karakaya, S. (2018). Food processing and digestion: The effect of extrusion process on bioactive compounds in extrudates with artichoke leaf powder and resulting in vitro cynarin and cynaroside bioaccessibility. *Food Science and Technology*, *90*, 232–237.
- Hervert-Hernández, D., and Goñi, I. (2011). Dietary polyphenols and human gut microbiota: A review. *Food Reviews International*, *27*, 154–169.
- Hole, A. S., Kjos, N. P., Grimmer, S., Kohler, A., Lea, P., Rasmussen, B., ... Sahlstrøm, S. (2013). Extrusion of barley and oat improves the bioaccessibility of dietary phenolic acids in growing pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(11), 2739–2747.
- Ignat, I., Volf, I., and Popa, V. I. (2011). A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, *126*(4), 1821–1835.
- J.J., Ornelas-Paz, E. M., Yahia, A. A., G. (2008). Changes in external and internal color during postharvest ripening of “Manila” and “Ataulfo” mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCI + -time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, *50*, 145–152.
- Jahurul, M. H. A., Zaidul, I. S. M., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F. Y., Nyam, K. L., Norulaini, N. A. N., ... Mohd Omar, A. K. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their

valuable components: A review. *Food Chemistry*, 183, 173–180.

- José Cols, M., and José, M. (2010). Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 11(1), 18–27.
- Kamiloglu, S., Toydemir, G., Boyacioglu, D., Beekwilder, J., Hall, R. D., and Capanoglu, E. (2016). A Review on the Effect of Drying on Antioxidant Potential of Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, 110–129.
- Kasprzak, K., Oniszczyk, T., Wójtowicz, A., Waksmundzka-hajnos, Olech, M., Nowak, R., ... Oniszczyk, A. (2018). Phenolic Acid Content and Antioxidant Properties of Extruded Corn Snacks Enriched with Kale. *Analytical Methods in Chemistry*, 2018, 1–7.
- Kim, H., Moon, J. Y., Kim, H., Lee, D. S., Cho, M., Choi, H. K., ... Cho, S. K. (2010). Antioxidant and antiproliferative activities of mango (*Mangifera indica* L.) flesh and peel. *Food Chemistry*, 121(2), 429–436.
- Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D., and 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.
- Lizárraga-Velázquez, C. E., Hernández, C., González-Aguilar, G. A., and 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.
- Lopez-Martinez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C. H., Parkin, K. L., and Garcia, H. S. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT - Food Science and Technology*, 42(6), 1187–1192.
- M. Wadhwa, Guru Angad Dev, M. P. S. B. (2013). *Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value added products* (Harinder P.S. Makkar, ed.).
- Manthey, J. A., and Penelope, P. V. (2009). Influences of harvest date and location on the levels of  $\beta$ -carotene, ascorbic acid, total phenols, the in vitro antioxidant capacity, and phenolic profiles of five commercial varieties of mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(22), 10825–10830.
- Mardero, S., Schmook, B., López-Martínez, J. O., Cicero, L., Radel, C., and Christman, Z. (2018). The Uneven influence of climate trends and agricultural policies on maize production in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Land*, 7(3), 1–20.
- Mehmood, K., Husain, M., Aslam, M., Ahmedani, M. S., Aulakh, A. M., and Shaheen, F. A. (2018). Changes in the nutritional composition of maize flour due to *Tribolium castaneum* infestation and application of carbon dioxide to manage this pest. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(19), 18540–18547.
- Mercado-Mercado G., Montalvo-Gonzalez E., Sánchez-Burgos J.A., Velázquez-Estrada, Álvarez-Parrilla, Gonzalez-Aguilar G.A., S.-A. S. G. (2013). Optimización de  $\beta$ -caroteno de los subproductos de mango (*Mangifera indica* L.) 'ataulfo' utilizando la extracción asistida por ultrasonido. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(3), 505–511.
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., ... Brodkorb, A.

- (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food-an international consensus. *Food & Function*, 5(6), 1113–1124.
- Mora-Rochin, S., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Saldivar, S. O., Sánchez-Peña, P., Reyes-Moreno, C., and Milán-Carrillo, J. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 502–508.
- Nazir, F., Naik, H. R., and Hussain, S. Z. (2016). Effect of extrusion conditions and apricot powder incorporation on colour parameters of rice based breakfast snacks. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 13(3), 1673–1678.
- Neunert, G., Górnaś, P., Dwiecki, K., Siger, A., and Polewski, K. (2015). Synergistic and antagonistic effects between alpha-tocopherol and phenolic acids in liposome system: spectroscopic study. *European Food Research and Technology*, 241(6), 749–757.
- Nicoletta Pellegrini et al. (1999). Antioxidant Activity Applying An Improved Abts Radical. *Free Radical Biology & Medicine*, 26(98), 1231–1237.
- Nieto Calvache, J., Cueto, M., Farroni, A., de Escalada Pla, M., and Gerschenson, L. N. (2016). Antioxidant characterization of new dietary fiber concentrates from papaya pulp and peel (*Carica papaya* L.). *Journal of Functional Foods*, 27, 319–328.
- O’Shea, N., Arendt, E., and Gallagher, E. (2014). Enhancing an Extruded Puffed Snack by Optimising Die Head Temperature, Screw Speed and Apple Pomace Inclusion. *Food and Bioprocess Technology*, 7(6), 1767–1782.
- Ortak, M., Caltinoglu, C., Sensoy, I., Karakaya, S., and Mert, B. (2017). Changes in functional properties and in vitro bioaccessibilities of  $\beta$ -carotene and lutein after extrusion processing. *Journal of Food Science and Technology*, 54(11), 3543–3551.
- Ovando-Martinez, M., López-Teros V., M., Tortoledo-Ortiz, O., Astiazarán-García, H., Ayala-Zavala, J. F., Villegas-Ochoa, M. A., and González-Aguilar, G. A. (2018). Effect of ripening on physico-chemical properties and bioactive compounds in papaya pulp, skin and seeds. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 9(1), 47–59.
- Pacheco-Ordaz, R., Antunes-Ricardo, M., Gutiérrez-Urbe, J. A., and González-Aguilar, G. A. (2018). Intestinal permeability and cellular antioxidant activity of phenolic compounds from mango (*Mangifera indica* cv. ataulfo) peels. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(2), 1–10.
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E., Islas-Osuna, M. A., Gutierrez-Martinez, P., Robles-Sánchez, M., and González-Aguilar, G. A. (2012). Effect of ripeness stage of mango fruit (*Mangifera indica* L., cv. Ataulfo) on physiological parameters and antioxidant activity. *Scientia Horticulturae*, 135, 7–13.
- Palafox-Carlos, H., Yahia, E. M., and González-Aguilar, G. A. (2012). Identification and quantification of major phenolic compounds from mango (*Mangifera indica*, cv. Ataulfo) fruit by HPLC-DAD-MS/MS-ESI and their individual contribution to the antioxidant activity during ripening. *Food Chemistry*, 135(1), 105–111.
- Park, Y. S., Cvikrová, M., Martincová, O., Ham, K. S., Kang, S. G., Park, Y. K., ... Gorinstein, S. (2015). In vitro antioxidative and binding properties of phenolics in traditional, citrus and

exotic fruits. *Food Research International*, 74, 37–47.

- Pathak, P. D., Mandavgane, S. A., and Kulkarni, B. D. (2019). Waste to Wealth: A Case Study of Papaya Peel. *Waste and Biomass Valorization*, 10(6), 1755–1766.
- Peksa, A., Kita, A., Carbonell-Barrachina, A. A., Miedzianka, J., Kolniak-Ostek, J., Tajner-Czopek, A., ... Drozd, W. (2016). Sensory attributes and physicochemical features of corn snacks as affected by different flour types and extrusion conditions. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 26–36.
- Phan, M. A. T., Paterson, J., Bucknall, M., and Arcot, J. (2018). Interactions between phytochemicals from fruits and vegetables: Effects on bioactivities and bioavailability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(8), 1310–1329.
- Quirós-Sauceda, A. E., Palafox-Carlos, H., Sáyago-Ayerdi, S. G., Ayala-Zavala, J. F., Bello-Perez, L. A., Álvarez-Parrilla, E., ... González-Aguilar, G. A. (2014). Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestion. *Food & Function*, 5(6), 1063–1072.
- Ramírez, J. S. (2012). Análisis Sensorial: Pruebas Orientadas Al Consumidor. *Revista ReCiTeIA*, 12, 83–102.
- Ribas-Agustí, A., Martín-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R., and Elez-Martínez, P. (2018). Food processing strategies to enhance phenolic compounds bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), 2531–2548.
- Ribeiro, S. M. R., and Schieber, A. (2010). Bioactive compounds in mango (*Mangifera indica* L.). In V. R. P. Ronald Ross Watson (Ed.), *Bioactive Foods in Promoting Health* (Primera ed, pp. 507–523).
- Robin, F., Schuchmann, H. P., and Palzer, S. (2012). Dietary fiber in extruded cereals : Limitations and opportunities. *Trends in Food Science and Technology*, 28, 23–32.
- Sacchetti, G., Pinnavaia, G. G., Guidolin, E., and Rosa, M. D. (2004). Effects of extrusion temperature and feed composition on the functional, physical and sensory properties of chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International*, 37(5), 527–534.
- SAGARPA. (2017a). Agrícola Nacional. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, I(1), 1–14.
- SAGARPA. (2017b). Aumenta 30 por ciento producción de papaya “Hecho en México” en la presente administración. Comunicado de Prensa.
- Saini, R. K., Nile, S. H., and Park, S. W. (2015). Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International*, 76, 735–750.
- Salazar-López, N. J., González-Aguilar, G. A., Rouzaud-Sáñez, O., and Robles-Sánchez, M. (2018). Bioaccessibility of hydroxycinnamic acids and antioxidant capacity from sorghum bran thermally processed during simulated in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2021–2030.
- Santos, C. M. dos, Abreu, C. M. P. de, Freire, J. M., Queiroz, E. de R., and Mendonça, M. M. (2014). Chemical characterization of the flour of peel and seed from two papaya cultivars. *Food Science and Technology*, 34(2), 353–357.

- Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., and 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.
- Schweiggert, R. M., Mezger, D., Schimpf, F., Steingass, C. B., and Carle, R. (2012). Influence of chromoplast morphology on carotenoid bioaccessibility of carrot, mango, papaya, and tomato. *Food Chemistry*, *135*(4), 2736–2742.
- Selani, M. M., Brazaca, S. G. C., Dos Santos Dias, C. T., Ratnayake, W. S., Flores, R. A., and Bianchini, A. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*, *163*, 23–30.
- Shahidi, F., and Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects - A review. *Journal of Functional Foods*, *18*, 820–897.
- Shi, N., Narciso, J. O., Gou, X., Brennan, M. A., Zeng, X. A., and Brennan, C. S. (2017). Manipulation of antioxidant and glycaemic properties of extruded rice based breakfast cereal products using pomelo fruit by-product material. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, *9*, 489–495.
- Sogi, D. S., Siddiq, M., Greiby, I., and 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.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., Ibanoglu, E., and Ibanoglu, S. (2008). Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, *87*(4), 554–563.
- Su, D., Li, N., Chen, M., Yuan, Y., He, S., Wang, Y., ... Zeng, Q. (2018). Effects of in vitro digestion on the composition of flavonoids and antioxidant activities of the lotus leaf at different growth stages. *International Journal of Food Science and Technology*, *53*(7), 1631–1639.
- Suárez, R. F., Morales, L. A., and Gálvez, A. (2013). Importance of Mexican Maize Landraces in the National Diet . an Essential Review. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *36*, 275–283.
- Supriya Veda, Kalpana Platel, and K. S. (2007). Varietal Differences in the Bioaccessibility of - Carotene from Mango (*Mangifera indica*) and Papaya (*Carica papaya*) Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *(7)*, 7931–7935.
- Tagliazucchi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D., and Conte, A. (2010). In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, *120*(2), 599–606.
- Tonyali, B., Sensoy, I., and Karakaya, S. (2016). The effect of extrusion on the functional components and in vitro lycopene bioaccessibility of tomato pulp added corn extrudates. *Food & Function*, *7*(2), 855–860.
- Trisat, K., Limpeanchob, N., and Ounaron, A. (2016). Guava, Papaya, Pineapple, and Pomelo juices Inhibit Pancreatic Lipase Activity and Cholesterol Micelle Solubility. *Thai Journal of Pharmacology*, *38*, 5–14.
- V. L. Singleton, J. A. R., and Vitic., A. J. E. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and*

Viticulture, *16*, 144–158.

- Varastegani, B., Zzaman, W., and Yang, T. A. (2015). Investigation on physicochemical and sensory evaluation of cookies substituted with papaya pulp flour. *Journal of Food Quality*, *38*(3), 175–183.
- Velderrain-Rodríguez, G. R., Palafox-Carlos, H., Wall-Medrano, A., Ayala-Zavala, J. F., Chen, C.-Y. O., Robles-Sánchez, M., ... González-Aguilar, G. A. (2014). Phenolic compounds : their journey after intake. *Food & Function*, *5*, 189–197.
- Verrijssen, T. A. J., Verkempinck, S. H. E., Christiaens, S., Van Loey, A. M., and Hendrickx, M. E. (2015). The effect of pectin on invitro  $\beta$ -carotene bioaccessibility and lipid digestion in low fat emulsions. *Food Hydrocolloids*, *49*, 73–81.
- Villalva, M. F. A., González-Aguilar, G., Sández, O. R., García, H. A., Osuna, A. I. L., López-Ahumada, G. A., and Robles-Sánchez, R. M. (2018). Bioprocessing of wheat (*Triticum aestivum* cv. kronstad) bran from northwest Mexico: Effects on ferulic acid bioaccessibility in breads. *CYTA - Journal of Food*, *16*(1), 570–579.
- Vinet, R., Araos, P., Gentina, J. C., Knox, M., and Guzm, L. (2014). p- Coumaric acid reduces high glucose-mediated impairment of endothelium-dependent relaxation in rat aorta. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, *13*, 232–237.
- White, B. L., Howard, L. R., and Prior, R. L. (2010). Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(7), 4037–4042.
- Zúñiga-Hernández, A. R. E., Serrano-Altamirano, V., Jiménez-De la Torre, L. B., Sánchez-Feria, C., and Salinas-Moreno, Y. (2012). Color in calyxes of roselle (*hibiscus sabdariffa* l.) and their relationship with physicochemical characteristics of their aqueous extracts. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, (3), 395–407.