



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**Evaluación de propiedades antioxidantes y
características físico-químicas de botanas extrudidas,
elaboradas a partir de mezclas compuestas por grits
de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*.**

T E S I S

**PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

PRESENTA

M.C. Lizbeth González Victoriano

Directora:

Dra. Norma Güemes Vera

Asesores:

Dr. Javier Piloni Martini

Dra. Aurora Quintero Lira

Dr. Sergio Soto Simental

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, Noviembre 2018.





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Agropecuarias
School of Forestry and Environmental Studies

COORDINACION DE POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias

Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: “Evaluación de propiedades antioxidantes y características fisicoquímicas de botanas extrudidas, elaboradas a partir de mezclas compuestas de grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*”, que desarrolla la estudiante M.C. Lizbeth González Victoriano.

Asistentes:

Dra. Norma Güemes Vera
Dr. Sergio Soto Simental
Dr. Javier Piloni Martini
Dra. Aurora Quintero Lira

Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a la estudiante M.C. Lizbeth González Victoriano, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. La estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de doctorado respectivo.

ATENTAMENTE

“AMOR, ORDEN Y PROGRESO”

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 13 de noviembre del 2018.

Dra. Norma Güemes Vera

Dr. Sergio Soto Simental

Dr. Javier Piloni Martini

Dra. Aurora Quintero Lira



Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda
Aquelzaipa, Tulancingo de Bravo, Hidalgo,
México: C.P. 43600
Teléfono: +52 (771) 71 72000 ext. 2460, 2461
icap@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de estudios de Doctorado.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAP) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por el soporte institucional dado para la realización de este proyecto.

Al Instituto Tecnológico de Celaya (ITC), al Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnología del Instituto Politécnico Nacional y a la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), por brindarme la oportunidad de realizar parte de esta investigación en sus instalaciones.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser la luz que ha guiado mi camino y haberme permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Con todo mi amor a mis padres por ser mi pilar fundamental, mostrándome su cariño y apoyo incondicional en todo momento, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron durante este trayecto, agradezco de todo corazón que estén a mi lado.

De manera muy especial a mi directora Dra. Norma Güemes Vera, por haberme guiado no solo en la realización de este proyecto, sino a lo largo de toda mi trayectoria universitaria, brindándome el apoyo necesario para desarrollarme profesionalmente. Su experiencia y dedicación han sido mi fuente de motivación durante estos años.

Con todo mi cariño a mis hermanas, por el apoyo brindado y por estar conmigo cuando más lo necesitaba, contribuyendo en todo momento con un granito de arena para culminar con éxito la meta propuesta.

A mis amigos que gracias a su apoyo moral me permitieron permanecer con empeño y dedicación, gracias por estar en otro momento importante de mi vida.

Hago extenso este reconocimiento a todos mis maestros, quienes me han dado las pautas para mi formación profesional, e influyeron con sus lecciones y experiencias, agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo.

Todos en conjunto me hicieron ver, que sin importar cuánto tiempo me tome, todo se puede si de verdad se quiere. Muchas gracias.

*“No te dejes abrumar por si tu objetivo parece demasiado grande.
Céntrate en dar un pequeño paso cada vez” (Confucio).*

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL	i
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
CAPITULO 1	
I	INTRODUCCIÓN 1
II	MARCO TEORICO 2
2.1	Aspectos generales de las botanas..... 2
2.1.1	Clasificación de las botanas..... 3
2.1.2	Botanas extrudidas..... 4
2.2	Proceso de extrusión..... 4
2.2.1	Tecnología de extrusión..... 6
2.3	Materias primas utilizadas en la elaboración de botanas..... 7
2.3.1	Características generales de los cereales..... 7
2.3.1.1	Composición química de los cereales..... 8
2.3.2	Características generales del maíz (<i>Zea mays</i>)..... 9
2.3.2.1	Estructura del grano de maíz 11
2.3.2.2	Composición química proximal y valor nutritivo del maíz..... 12
2.3.2.3	Producción, consumo y usos industriales del maíz..... 13
2.3.3	Características generales de raíces y tubérculos..... 15
2.3.3.1	<i>Oxalis tuberosa</i> 16
2.3.3.2	Composición química de <i>Oxalis tuberosa</i> 17
2.4	Compuestos antioxidantes y sus características..... 18
2.4.1	Clasificación de los antioxidantes..... 20
2.4.2	Compuestos fenólicos..... 20
2.5	Radicales libres..... 21
III	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 23

	CAPITULO 2	
	RESUMEN.....	30
I	INTRODUCCIÓN.....	31
II	MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
2.1	Reactivos utilizados.....	32
2.2	Materia prima.....	32
2.3	Preparación de mezclas.....	32
2.4	Análisis químico proximal de harinas.....	33
2.5	Caracterización física y actividad antioxidante de harinas compuestas por grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	33
2.5.1	Microscopia de luz óptica.....	33
2.5.2	Análisis de color.....	34
2.5.3	Cuantificación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu.....	34
2.5.4	Evaluación de actividad antioxidante mediante el radical DPPH.....	34
2.6	Pruebas mecánicas de masas elaboradas a partir de harinas compuestas por grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	35
2.6.1	Análisis de perfil de textura.....	35
2.6.2	Adhesividad de Hoseneý.....	36
2.7	Análisis estadístico.....	36
III	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	37
3.1	Composición química proximal.....	37
3.2	Características físicas y propiedades antioxidantes de harinas.....	38
3.2.1	Morfología y distribución del tamaño de partícula.....	38
3.2.2	Características de color.....	41
3.2.3	Contenido de fenoles totales.....	43
3.2.4	Capacidad antioxidante y EC ₅₀	44
3.3	Propiedades mecánicas.....	46
3.3.1	Perfil de textura en masas.....	46
3.3.2	Adhesividad Hoseneý de masas.....	48
3.4	Correlación entre dureza, color, fenoles totales y actividad antioxidante de harinas compuestas por grits de maíz y <i>Oxalis tuberosa</i>	49
IV	CONCLUSIONES.....	51
V	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

CAPITULO 3	
	RESUMEN..... 57
I	INTRODUCCIÓN..... 58
II	MATERIALES Y MÉTODOS..... 59
2.1	Materia prima..... 59
2.2	Elaboración de botanas por extrusión..... 59
2.3	Caracterización físico-química y actividad antioxidante de botanas extrudidas..... 60
2.3.1	Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua..... 60
2.3.2	Índice de expansión..... 61
2.3.3	Pruebas de fractura..... 61
2.3.4	Análisis de color..... 61
2.3.5	Calorimetría diferencial de barrido (DSC)..... 61
2.3.6	Cuantificación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu..... 62
2.3.7	Evaluación de la actividad antioxidante..... 62
2.3.8	Microscopia de fluorescencia..... 63
2.3.9	Electroforesis con dodecil sulfato de sodio y poliacrilamida (SDS-PAGE). 63
2.4	Análisis químico proximal de botanas..... 64
2.5	Análisis estadístico..... 64
III	RESULTADOS Y DISCUSIONES..... 64
3.1	Selección de las mejores formulaciones..... 64
3.2	Características físico-químicas y propiedades antioxidantes de botanas... 65
3.2.1	Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua..... 65
3.2.2	Índice de expansión..... 67
3.2.3	Fracturabilidad de botanas..... 68
3.2.4	Análisis de color..... 69
3.2.5	Calorimetría diferencial de barrido..... 69
3.2.6	Contenido de fenoles totales..... 71
3.2.7	Capacidad antioxidante..... 72
3.2.8	Microscopia de fluorescencia..... 74
3.2.9	Perfil de proteínas por SDS-PAGE..... 76
3.3	Composición química proximal de botanas..... 77

IV	CONCLUSIONES.....	78
V	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

INDICE DE CUADROS

CAPITULO 1

Cuadro 1	Composición química general de distintos tipos de maíz.....	12
Cuadro 2	Valor nutricional de <i>Oxalis tuberosa</i> y <i>Solanum tuberosa</i>	17
Cuadro 3	Contenido de antioxidantes de <i>Oxalis tuberosa</i>	18

CAPITULO 2

Cuadro 1	Formulación de mezclas, elaboradas a partir de grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	33
Cuadro 2	Factor de forma y relación de aspecto de harinas compuestas por grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	41
Cuadro 3	Efectos del color en harinas compuestas por grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	42
Cuadro 4	Contenido de fenoles totales en harinas compuestas por grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	44
Cuadro 5	Análisis de perfil de textura de masas elaboradas con grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	46
Cuadro 6	Efectos de la fuerza de adhesividad y adhesividad de masas elaboradas con grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	48
Cuadro 7	Correlación entre dureza, color, fenoles totales y actividad antioxidante de harinas compuestas por grits de maíz y harina <i>Oxalis tuberosa</i>	50

CAPITULO 3

Cuadro 1	Formulación de mezclas para la elaboración de botanas.....	60
Cuadro 2	Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de expansión en botanas extrudidas.....	66
Cuadro 3	Efecto de la sustitución de grits de maíz por <i>Oxalis tuberosa</i> sobre la fracturabilidad de botanas.....	68
Cuadro 4	Efectos del color en botanas elaboradas a partir de harinas compuestas por grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	69

Cuadro 5 Actividad antioxidante de botanas, obtenida mediante ABTS y FRAP. 74

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1

Figura 1	Representación esquemática de un extrusor de tornillo simple.....	7
Figura 2	Teorías relacionadas con la evolución del maíz	9
Figura 3	Principales partes estructurales del grano de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	11
Figura 4	Géneros de <i>Oxalis tuberosa</i>	16

CAPITULO 2

Figura 1	Relación entre el tamaño de partícula encontrada en granos de maíz y harina de <i>oxalis tuberosa</i> de acuerdo con el diámetro del gránulo y las micrografías obtenidas por microscopía óptica.....	39
Figura 2	Comparación de la actividad antioxidante de harinas compuestas por grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i> , mediante el ensayo de DPPH.....	45

CAPITULO 3

Figura 1	Termogramas obtenidos por DSC en función de la temperatura: (a) harinas compuestas por grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i> , (b) botanas extrudidas.....	71
Figura 2	Contenido de fenoles totales en botanas extrudidas.....	72
Figura 3	Comparación de la actividad antioxidante de botanas elaboradas a partir de harinas compuestas por grits de maíz y harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	73
Figura 4	Imágenes de botanas extrudidas, obtenidas por microscopía óptica de fluorescencia.....	75
Figura 5	Patrón de SDS-PAGE de harinas y botanas extrudidas.....	77

RESUMEN

El tubérculo de *Oxalis tuberosa*, comúnmente conocido como papa roja en México, es un producto escasamente utilizado como alimento de consumo popular, se caracteriza por su sabor agridulce, además de ser buena fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes naturales, entre los cuales destacan los compuestos fenólicos, por lo que podría considerarse un alimento nutritivo y completo. Por otra parte, el maíz es uno de los cereales más consumidos en el mundo, ya que es usado para la alimentación humana y animal o como materia prima en usos industriales, asimismo es un ingrediente principal para la elaboración de harinas y grits, los cuales son utilizados como materia prima en la industria de botanas, debido a que imparte características físicas y sensoriales aceptables por el consumidor. Sin embargo, estos alimentos presentan alto índice glucémico, son ricos en energía debido al alto contenido de almidón y carecen de valor nutricional. Por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de sustitución de grits de maíz por harina de *Oxalis tuberosa* en distintas relaciones: T1 (90:10), T2 (80:20), T3 (70:30), T4 (60:40) y T5 (50:50%) respectivamente, sobre las características físico-químicas y propiedades antioxidantes de harinas y botanas extrudidas.

De manera general los resultados obtenidos indicaron que, al remplazar grits de maíz por harina de *Oxalis tuberosa*, es posible obtener harinas con alta actividad antioxidante, las cuales podrían utilizarse para el desarrollo de productos que brinden propiedades funcionales benéficas para la salud. Asimismo, se observó que al adicionar harina de *Oxalis tuberosa* se obtuvieron botanas con características físicas aceptables y buenas propiedades funcionales debido a su alta capacidad antioxidante.

ABSTRACT

The tuber of *Oxalis tuberosa*, commonly known as the red potato in Mexico, is a product scarcely used as a popular food, it is characterized by its bittersweet taste, as well as being a good source of vitamins, minerals and natural antioxidants, among which are the phenolic compounds, so it could be considered a nutritious and complete food. On the other hand, corn is one of the most consumed cereals in the world, since it is used for human and animal food or as raw material in industrial uses, it is also a main ingredient for the preparation of flour and grits, which, they are used as raw material in the snack industry, because it imparts physical and sensory characteristics acceptable to the consumer. However, these foods have high glycemic index, are rich in energy due to the high content of starch and lack nutritional value. Therefore, the objective of this study was to evaluate the substitution effect of corn grits for *Oxalis tuberosa* flour in different ratios: T1 (90:10), T2 (80:20), T3 (70:30), T4 (60:40) and T5 (50: 50%) respectively, on the physico-chemical characteristics and antioxidant properties of flours and extruded snacks.

In general, the results obtained indicated that, by replacing corn grits with *Oxalis tuberosa* flour, it is possible to obtain flours with high antioxidant activity, which could be used for the development of products that provide functional properties beneficial to health. Likewise, it was observed that adding *Oxalis tuberosa* flour obtained snacks with acceptable physical characteristics and good functional properties due to its high antioxidant capacity.



Capítulo 1

Revisión

bibliográfica

I. INTRODUCCIÓN

Las botanas están diseñadas para ser menos perecederas y más atractivas que los alimentos naturales, son productos listos para el consumo (Mazumder *et al.*, 2007; Hirth *et al.*, 2014). Sin embargo, su aceptación es crítica debido a ciertos atributos de calidad que atraen al consumidor, como la apariencia, sabor, color y textura, siendo esta última una de las características más importante, y uno de los procesos industriales más comunes para obtener dichos alimentos es la extrusión (Dehghan *et al.*, 2010; Lazou & Krokida, 2010; Chalermchaiwat *et al.*, 2015). Generalmente los cereales son los ingredientes más utilizados en los procesos de extrusión por su capacidad de proporcionar textura, estructura, volumen y otras características de calidad deseadas en el producto. Pero a menudo este tipo de productos son considerados como comida chatarra, debido a su composición a base de carbohidratos y grasas principalmente. Por lo que, el desarrollo de botanas a partir de la mezcla de materias primas de almidón con otros productos, ha sido una alternativa para la obtención de alimentos con mejores características sensoriales, fisicoquímicas y funcionales (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011; Seth *et al.*, 2015).

El tubérculo de *Oxalis tuberosa* se caracteriza por poseer vitaminas, minerales, antioxidantes naturales, también puede contener cantidades significativas de retinol (vitamina A), por lo que podría considerarse un alimento nutritivo, que además presenta alta capacidad antioxidante, lo cual promueve la salud y antienvjecimiento en el cuerpo humano (Chirinos *et al.*, 2009; Espino, 2015). A pesar del contenido nutricional tiene bajo valor comercial ya que está sujeto a pérdidas nutricionales post-cosecha por su alto contenido de humedad o durante su procesamiento, dicho problema puede solucionarse mediante la transformación de este tubérculo a productos no perecederos como los alimentos tipo botana. Actualmente, algunos estudios se han centrado en la preparación de botanas a partir de mezclas de almidón de diferentes fuentes, tales como maíz y mandioca en combinación con otras materias primas (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). Por lo que el objetivo de este trabajo, es la caracterización de propiedades físico-

químicas de harinas y botanas extrudidas elaboradas a partir de grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*, así como el análisis de las propiedades antioxidantes, contenido de fenoles totales y la microestructura tanto de botanas como harinas.

II. MARCO TEORICO

2.1 Aspectos generales de las botanas

Los alimentos tipo botana son productos muy populares y conforman una parte integral de los hábitos alimenticios de la población mundial, ya que son ingeridos a cualquier hora del día, saciando temporalmente el apetito. Estos alimentos están diseñados para ser menos perecederos, más duraderos y atractivos que los alimentos naturales, e incluyen una gran variedad de productos de diversas formas, texturas y colores agradables. Sin embargo, contienen niveles elevados de grasas y carbohidratos, son pobres en proteínas, vitaminas y otros nutrientes, por lo que son considerados como comida chatarra (Hirth *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2018). En México, este tipo de alimentos son ampliamente consumidos por personas de todas las edades, pero su ingesta ha sido asociada con enfermedades crónico-degenerativas como arterosclerosis, hipertensión arterial y diabetes (Cruz, 2014).

El consumo de estos productos ha ido en aumento, y de acuerdo con datos emitidos por Euromonitor International, el mercado de botanas tuvo un valor total de \$3,400 millones de dólares en el 2016, esperando que para el año 2020 supere los \$4,000 millones. Dentro de la diversidad de este mercado la mayoría de las ventas corresponden a chips de papa, tortillas o vegetales en un 65%, mientras que el 35% restante corresponde a galletas saladas, frutos secos, maní y otras botanas similares (Industria alimenticia, 2017). Aunado a este nivel de consumo, existe preocupación sobre la calidad nutricional, ya que estos productos no son considerados como un alimento básico, por su bajo aporte nutricional; asimismo, la aceptabilidad por parte del consumidor también es un factor de interés y depende principalmente de las propiedades físicas y organolépticas del producto

final como: apariencia, sabor, color, aroma y textura, siendo esta última una característica fundamental de las botanas (Dehghan *et al.*, 2010).

2.1.1 Clasificación de las botanas

Antiguamente la industria alimentaria ofrecía pocos productos al consumidor; sin embargo en la actualidad ofrece una amplia gama de productos para diferentes tipos de personas; no obstante, para lograr tal desarrollo, la industria ha enfrentado problemas relacionados con la vida de anaquel de la materia prima principalmente, los cuales han ido resolviendo gradualmente apoyándose en la innovación e introducción de tecnología y materiales, dando pie a la creación de diferentes botanas (Gómez, 2013).

Debido a la variabilidad en las técnicas de elaboración, las botanas han sido clasificadas en tres generaciones:

- I. *Botanas de primera generación*: considera los productos convencionales, elaborados a partir del grano entero, usando combinaciones de humedad y temperatura (papas fritas, cacahuates enchilados, garapiñados, palomitas de maíz, entre otros).
- II. *Botanas de segunda generación*: para la elaboración de estos productos, la materia prima está involucrada en distintas etapas de preparación para la obtención de una masa, que es sometida a un proceso de cocción para obtener el producto final listo para ser consumido, los cuales son llamados productos directamente expandidos.
- III. *Botanas de tercera generación*: también conocidas como “pellets”, botanas semi-procesados o productos intermedios, es decir que el procesamiento únicamente consiste en un formado y la presentación final viene después de un freído, expansión por microondas o con aire caliente (Quintero, 2015).

2.1.2 Botanas extrudidas

Las botanas extrudidas tienen una gran demanda a nivel mundial debido a su conveniencia y, a sus atractivas características sensoriales y de textura, su popularidad radica en que son productos listos para consumir, y sus principales características que presentan son: textura crujiente, forma y color agradable. También cumplen con varias condiciones como: facilidad de manipulación, accesibilidad, raciones pequeñas y lo más importante, deben satisfacer la sensación de hambre por un momento (Hirth *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2018). Una técnica muy versátil para la fabricación de estos alimentos es mediante el proceso de extrusión, debido a su producción de alto rendimiento y flexibilidad para controlar la estructura y el diseño del producto (Koksel *et al.*, 2018). Esta tecnología ha sido utilizada para desarrollar diversos tipos de aperitivos, incluyendo pellets no expandidos o de tercera generación, los cuales son elaborados a partir de materiales con un alto contenido de humedad (entre 30 y 35%), moderadas temperaturas de corte y temperaturas de dado <100°C, seguido de enfriamiento y secado hasta 10-11% de humedad. Este tipo de productos son muy estables cuando son almacenados y tienen una alta densidad, lo cual facilita su manejo ya que grandes cantidades del producto ocupan pequeños volúmenes de almacenamiento (Gómez, 2013).

El diseño de productos extrudidos implica transformaciones moleculares complejas, como la gelatinización y fusión de materias primas en su mayoría a base de almidón, debido a que este componente, proporciona diversas características físico-químicas, es el principal constituyente de dichos productos y responsable de la mayor parte de sus atributos estructurales, y los cambios que sufre afectan la expansión, así como la textura final del producto (Dehghan *et al.*, 2010; Hirth *et al.*, 2014).

2.2 Proceso de extrusión

La extrusión es una tecnología industrial bien establecida llevada a cabo a altas temperaturas por un corto tiempo, aplicando un calentamiento continuo, donde la

mezcla de ingredientes es convertida en una "masa fundida" que fluye de manera forzada a través de una pequeña abertura hacia la matriz (Koksel *et al.*, 2018). Durante este proceso los materiales alimentarios son cocinados termo-mecánicamente en un conjunto de tornillo/barril mediante la combinación de humedad, presión y temperatura, todo este conjunto de condiciones conducen a la gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, degradación de vitaminas y pigmentos, ruptura de enlaces de hidrógeno, formación de complejos almidón-lípidos o lípido-proteína. Asimismo, provoca la cocción, mezcla, esterilización, secado, reestructuración de la materia prima y la creación de nuevas formas y texturas, así como transformaciones químicas, sensoriales y funcionales (Fiorda *et al.*, 2015; Pardhi *et al.*, 2017; Kumar *et al.*, 2018).

La cocción por extrusión puede sustituir los procesos convencionales en la industria alimentaria, por su gran variedad de ventajas como:

- Versatilidad, ya que permite cocer y procesar diferentes formulaciones de productos con el mismo equipo.
- Procesamiento rápido, menor costo y mayor flexibilidad
- Degradación mínima de nutrientes, porque el material está expuesto a alta temperatura y presión por cortos periodos
- Mejora la digestibilidad debido a la desnaturalización de proteínas
- Inactivación de enzimas, destrucción de compuestos anti-nutricionales, como inhibidores de ácido fítico y tripsina
- Reducción de los recuentos microbianos
- Capacidad de producción continua (Gómez, 2013; Lucas *et al.*, 2018).

En la formulación de extrudidos, algunas propiedades físicas como la expansión, dureza y densidad aparente son parámetros importantes en términos de aceptación sensorial (Lucas *et al.*, 2018). Sin embargo, las características de los productos basados en almidón dependen de factores, como humedad y contenido de lípidos; de las condiciones del proceso de extrusión (velocidad del tornillo, temperatura del cilindro y tipo de extrusor) o de las variables del equipo, como:

conformación mecánica, configuración de tornillo, tipo y dimensiones de la matriz (Fiorda *et al.*, 2015; Borah *et al.*, 2016). La estructura química de la materia prima, composición, distribución del tamaño de partícula del material de alimentación y aditivos igualmente afectan los parámetros de extrusión, y en consecuencia las propiedades del producto (Singh *et al.*, 2009). Esta tecnología prácticamente revolucionó a la industria de alimentos, por su eficiencia y versatilidad, por lo que en la actualidad se utiliza para manufacturar una gran gama de alimentos como cereales para el desayuno, alimentos pre-cocidos para bebés, alimentos instantáneos, harinas pre-gelatinizadas, aperitivos o botanas, productos de pasta, proteínas texturizadas, sopas, alimentos para animales, entre otros (Delgado-Nieblas *et al.*, 2015).

2.2.1 Tecnología de extrusión

La mayor parte de los extrusores realizan el mezclado y la conversión de los materiales en masas manejables que pueden fluir a través de la boquilla. Un extrusor está compuesto principalmente por la tolva de alimentación, barril de calentamiento donde se encuentran las diferentes zonas de temperatura y el tornillo, el cual puede variar dependiendo del tipo de extrusor, seguido por la matriz y la boquilla o dado de salida tal como se observa en la Figura 1 (Quintero, 2015).

Con relación al tipo de extrusores empleados para la producción de alimentos existen: extrusores de tornillo simple y de doble tornillo. Los primeros son extrusores comúnmente utilizados en la industria alimentaria; y la clasificación de estos puede definirse sobre la base de proceso o parámetros del equipo tales como: contenido de humedad, tornillo sólido o segmentado, grado deseado de corte y fuente de calor. Por otra parte, el extrusor de doble tornillo es usado para alimentos que requieran alta humedad, productos que contienen altas cantidades de componentes como fibras, grasas, entre otros (Gómez, 2013). Desde el punto de vista funcional, la extrusión puede subdividirse en dos grandes grupos: extrusión de productos expandidos y extrusión de comprimidos o pellets; en la

primera aplicación, el extrusor expande directamente el material de alimentación, el cual es un producto casi terminado. Para el proceso de producción de comprimidos generalmente recurren a dos extrusores; uno cocedor y otro formador, también hay equipos con rosca larga que pueden realizar las dos funciones (Serna, 2013).

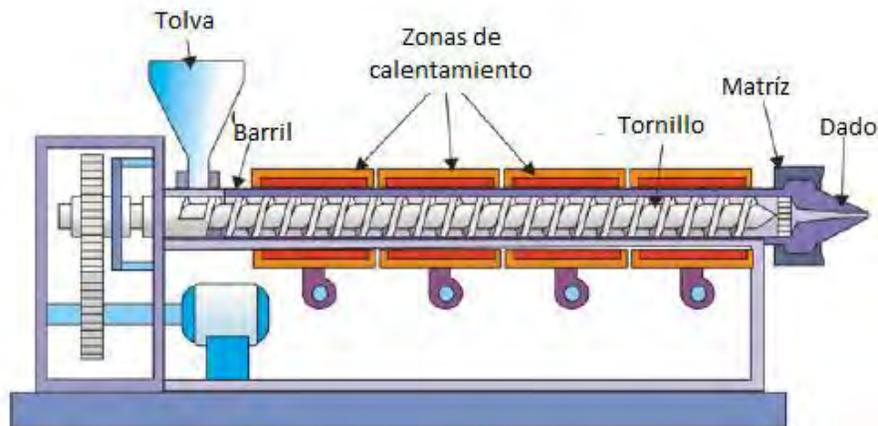


Figura 1. Representación esquemática de un extrusor de tornillo simple.

2.3 Materias primas utilizadas en la elaboración de botanas

2.3.1 Características generales de los cereales

Los cereales son granos monocotiledóneas y pertenecen a la familia de las gramíneas; su cotiledón (*escutelum* o escudo) está localizado en el germen del grano y su inflorescencia puede estar formada por un axis central (mazorca de maíz), por un raquis para formar una espiga (trigo, cebada, centeno y triticale) o bien por una panícula (avena, arroz, sorgo y mijo). Se han cultivado en varias partes del mundo desde hace miles de años y han sido fundamentales para el desarrollo de diferentes civilizaciones, ya que en diversas regiones del mundo crecieron y se domesticaron especies como: arroz y soya en Asia, trigo y chícharo en Europa, sorgo y mijo en África, maíz y frijol en América. Asimismo, constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para la humanidad, y son el alimento que contribuye al aporte energético con los nutrientes necesarios para el

organismo, es por ello que los cereales son la base de la alimentación mundial (Olguín, 2012; Aguilera, 2014; González, 2014).

El grano de los cereales es denominado botánicamente carióspside, el cual consta de tres partes anatómicas fundamentales: pericarpio, endospermo y germen, siendo el pericarpio la envoltura real del grano, que contiene la mayor parte de la fracción fibrosa. El endospermo es lo más abundante y voluminoso del grano, pudiendo llegar hasta 75% del peso total, está constituido por gránulos de almidón embebidos en una matriz proteica, estos gránulos pueden ser simples o compuestos, mientras que el germen encierra tanto al *escutelum* como al embrión, el cual contiene principalmente aceite y proteína (Olguín, 2012). Estos granos son las materias primas más empleadas en la fabricación de productos extrudidos, siendo el maíz el tercero de los cereales en importancia después del trigo y el arroz como alimento de primera necesidad, principalmente en América Latina (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

2.3.1.1 Composición química de los cereales

El grano maduro de los cereales está formado por carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, minerales, agua, pequeñas cantidades de vitaminas y enzimas. Los carbohidratos son cuantitativamente, los componentes más importantes entre 77 y 78% de la materia seca total, como: almidón, celulosa, hemicelulosa, dextrinas entre otros. Las proteínas son el segundo constituyente más abundante, siendo las albúminas y globulinas de la harina de trigo consideradas como proteínas solubles, mientras que las prolaminas y glutelinas conforman la fracción proteica insoluble. Por otra parte, la fibra cruda la constituyen carbohidratos estructurales insolubles en ácidos diluidos, y se encuentra en las glumas, el pericarpio o las paredes celulares del endospermo. El contenido lipídico va de 1 al 3%, es subdividido en polares y no polares, están ubicados principalmente en el germen; mientras que, las cenizas son todo aquel material inorgánico conformado por minerales (Kent, 1987; Serna, 2013).

2.3.2 Características generales del maíz (*Zea mays*)

El maíz es uno de los cultivos de cereales más importantes, y está fuertemente ligado a la cultura mexicana; al ser una fuente natural de carbohidratos, es utilizado para producir diversos alimentos, piensos y productos industriales desde hace varias décadas. México es el centro de origen y biodiversidad del maíz, esta planta que pertenece a la familia de las gramíneas, ha sido la más domesticada y evolucionada del reino vegetal, algunos reportes indican que su origen botánico podría provenir de: 1) una forma de maíz silvestre, 2) teocintle silvestre, 3) antepasado desconocido (ni maíz silvestre ni teocintle), o un híbrido natural entre el “teocintle” (*Z. mexicana*) y una gramínea afín ya extinguida (Figura 2). Cada teoría deduce su evidencia apoyándose en diferentes campos de investigación, desde la arqueología, los análisis bioquímicos, isoenzimáticos y moleculares, así como los citogenéticos, morfológicos y taxonómicos (Acosta, 2009; Gómez, 2013; Zabed *et al.*, 2016).

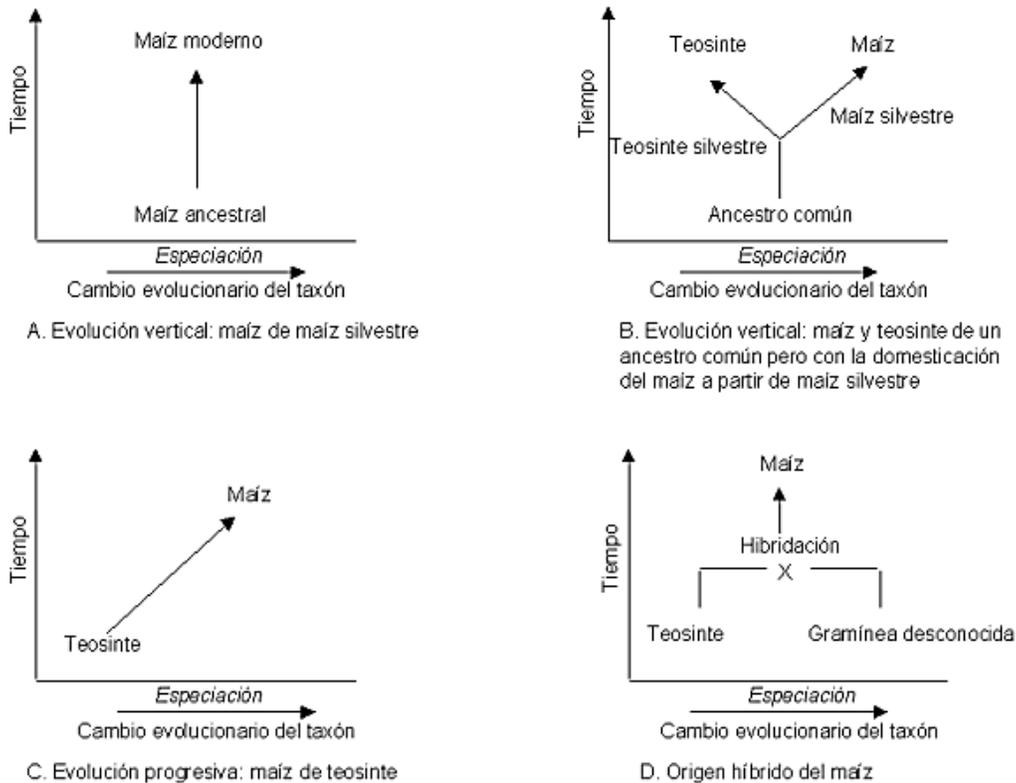


Figura 2. Teorías relacionadas con la evolución del maíz (Fuente: Acosta, 2009).

La planta del maíz se caracteriza por poseer tallos en forma de caña, es de aspecto robusto, fácil desarrollo y de producción anual, tiene un solo tallo de gran longitud, sin ramificaciones, que puede alcanzar hasta cuatro metros de altura, del tallo nacen dos o tres inflorescencias muy densas o mazorcas envueltas en espatas, en cada mazorca se ven las filas que puede variar de 8 a 30 granos. Las hojas son largas y extensas, con terminación en forma de lanza, o lanceoladas, de extremos cortantes con vellosidades en la parte superior; sus raíces son fasciculadas, y su misión es aportar un perfecto anclaje a la planta (Martínez, 2012). Todos los maíces pertenecen a la misma especie y los tipos o variedades que los diferencian corresponden a una simple clasificación utilitaria, no botánica, estos distintos tipos de maíz presentan una multiplicidad de formas, tamaños, colores, texturas y adaptación a diferentes ambientes, constituyendo numerosas variedades primitivas o tradicionales que son cultivadas actualmente (Gear, 2006). La primera clasificación del maíz, de acuerdo con la variación dentro del grano, la hizo Sturtevant de manera artificial, basado en la textura o estructura del endospermo. Sin embargo, en México los análisis han incluido otros caracteres, como la calidad industrial y algunos atributos para elaborar determinados alimentos por parte de las comunidades que conservan *in situ* las variedades locales de maíz (Acosta, 2009).

Por lo tanto y de acuerdo a sus propiedades funcionales la clasificación es la siguiente:

- Amarillo
- Blanco
- Azul y morado
- Dentado
- Cristalino
- Palomero (maíz reventador)
- Ceroso
- Alto en amilosa
- Pozolero o cuzco

2.3.2.1 Estructura del grano de maíz

El grano de maíz botánicamente es denominado cariósido o cariopsis y cada grano contiene el revestimiento de la semilla o cubierta seminal. En forma general este grano se divide en cuatro estructuras fundamentales (Figura 3): pericarpio y aleurona, pedicelo, endospermo y germen (Quintero, 2015).

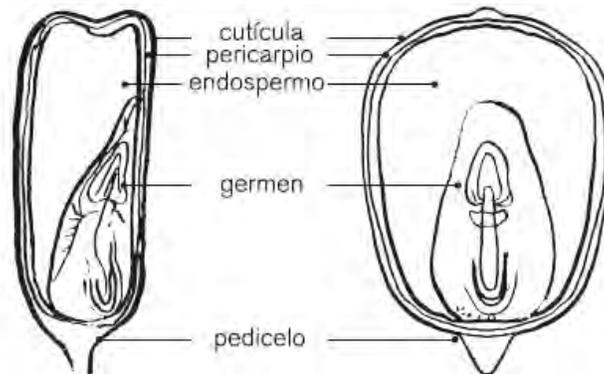


Figura 3. Principales partes estructurales del grano de maíz (*Zea mays L.*).

La diferenciación de estas estructuras podría basarse principalmente de acuerdo a su composición química en:

- I. **Pericarpio.** Es la verdadera cubierta o cáscara del grano, compuesta por todas las capas exteriores, está constituida por una capa de cutícula cerosa que cubre a la epidermis.
- II. **Pedicelo.** Estructura celular con la que el grano se encuentra unida al olote, está compuesto de haces vasculares que terminan en la porción basal del pericarpio, consta de una capa exterior de abscisión que sella la punta del grano maduro, y es responsable de la absorción de líquidos del pedicelo al pericarpio.
- III. **Endospermo.** Compuesto por células alargadas con delgadas paredes de material celulósico, empacadas con gránulos de almidón sumergidos en una continua matriz proteica, constituye aproximadamente el 82.3% del grano en peso seco y está compuesto principalmente por almidón.

IV. **Germen.** Es el embrión u órgano reproductor del grano, compuesto por plúmula, radícula y escutelo. (Gómez, 2013).

2.3.2.2 Composición química proximal y valor nutritivo del maíz

El maíz contiene casi todos los nutrimentos necesarios para la alimentación humana, encontrándose en México la mayor riqueza en diversidad genética de esta planta, por lo cual es considerado su centro de origen y de diversidad biológica, tienen una composición promedio del 70% de carbohidratos principalmente almidón, 8% de proteínas, 4% de minerales, 4% de lípidos y 3% de celulosa. La composición del grano de maíz así como el valor nutritivo dependen del genotipo, la variedad, el ambiente y condiciones de siembra, tal como se muestra en el Cuadro 1 (Gómez, 2013; Vázquez, 2013).

Cuadro 1. Composición química general de distintos tipos de maíz (g/100 g).

Especie	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra	Lípidos	Carbohidratos
Azul	----	0.17	8.33	----	0.52	84.15
Blanco	----	1.2	10.0	2.0	3.9	78.74
Salpor	12.2	1.2	5.8	0.8	4.1	75.9
Cristalino	10.5	1.7	10.3	2.2	5.0	70.3
Harinoso	9.6	1.7	10.7	2.2	5.4	70.4
Amilaseo	11.2	2.9	9.1	1.8	2.2	72.8
Dulce	9.5	1.5	12.9	2.9	3.9	69.3
Reventador	10.4	1.7	13.7	2.5	5.7	66.0

(Fuente: Quintero, 2015).

La calidad nutritiva del maíz está determinada en buena medida por las características de sus proteínas y ésta, a su vez, la establece el contenido de aminoácidos esenciales. En promedio, el contenido de proteína del maíz es de 10%, de la cual una buena parte está en el germen del grano; mientras que, el endospermo como el pedicelo presentan hasta 9% de proteínas, y éstas de acuerdo con su solubilidad se clasifican en: albúminas, las cuales son solubles en agua, globulinas que son solubles en soluciones de sales, prolaminas aquellas

solubles en soluciones alcohólicas y glutelinas, solubles en soluciones alcalinas o ácidas diluidas (Paredes *et al.*, 2009). Del total de la proteína del grano, alrededor del 52% son prolaminas mejor conocidas como zeínas, situadas principalmente en el endospermo, el resto lo constituyen las albúminas y globulinas (22%), localizadas en el germen, y glutelinas (25%) ubicadas tanto en germen como en endospermo, otro aspecto sobresaliente de la calidad de la proteína del maíz es su alto contenido de leucina (Olguín, 2012). En cuanto al contenido de lípidos, el grano de maíz contiene alrededor de 5%, principalmente en el germen, también se reporta que, el maíz amarillo contiene vitaminas solubles en grasa, β -caroteno o pro-vitamina A y α -tocoferol o vitamina E. El germen del grano contiene 78% de los minerales, probablemente porque son esenciales durante el crecimiento del embrión, como el fósforo ya que es el componente inorgánico más abundante, principalmente en las sales de potasio y magnesio del ácido fítico; el contenido de algunos minerales es muy variable y depende directamente del tipo de maíz. En relación con el almidón, el grano maduro presenta alrededor del 72%, y prácticamente la mayoría se encuentra en el endospermo; para un maíz normal el gránulo de almidón contiene alrededor de 27% de amilosa y 73% de amilopectina (Paredes *et al.*, 2009).

2.3.2.3 Producción, consumo y usos industriales del maíz

El maíz es el segundo cultivo del mundo por su producción después del trigo, se considera de gran importancia económica para alimento humano y animal o como materia prima en usos industriales. Actualmente la producción mundial de maíz está concentrada principalmente en cinco países que son: Estados Unidos, China, Brasil, la Unión Europea y Argentina, es importante mencionar que dicho cultivo se siembra en todos los países de América Latina (Vázquez, 2013; FIRA, 2016). En México es el principal cultivo y participa con el 18% del valor de producción del sector agrícola, y de acuerdo con un informe de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación durante el año comercial comprendido entre octubre 2015-septiembre 2016, la producción total de maíz fue de 25.7 millones de toneladas, de las cuales 2.3 millones de toneladas

corresponden a maíz blanco, destinado principalmente para consumo humano, mientras que el resto fue de maíz amarillo (utilizado para los sectores pecuario e industrial). En todo el país existe cierto nivel de producción, sin embargo, siete entidades concentran el 64.5% del volumen de producción, siendo Sinaloa el principal productor, al concentrar el 16.5% del total, seguido por Jalisco, Michoacán, Estado de México, Chiapas, Guerrero y Veracruz (SAGARPA, 2014; SAGARPA, 2016).

El maíz por su diversidad tiene múltiples usos, principalmente como alimento directo, en grano o pozole, tostado y molido, nixtamalizado para la elaboración de masa, tamales, frituras y tortillas, o bien como ingrediente en la fabricación de alimentos para consumo humano: aceites comestibles, frituras, etc. También se consume entero en la mazorca como elotes, es triturado y procesado para la elaboración de harinas y grits, que se utilizan como materia prima principal en la industria de botanas y cereales para desayuno (Vázquez, 2013). Una parte del maíz es consumido indirectamente por medio del almidón derivado de la industria de molienda húmeda o de refinación; este almidón se emplea en un sin número de productos alimenticios, en forma de snacks, agentes engrosantes/estabilizadores y enlatados o transformado enzimáticamente en edulcorantes, jarabes glucosados y fructosados, con diferentes grados de dulzor que constituyen la materia prima básica para la creciente industria de bebidas refrescantes (Grande & Orozco 2013).

La cadena del maíz está constituida por el proceso que sigue el grano desde la fase de producción, hasta la etapa de comercialización, donde el último eslabón es el consumidor final, y la fase de procesamiento industrial del grano es el punto intermedio para la generación de productos derivados, ya que los granos de maíz son un ingrediente principal para la elaboración de alimentos extrudidos; los cuales tienen características físicas y sensoriales aceptables por el consumidor. Sin embargo, presentan un alto índice glucémico, son ricos en energía debido al alto contenido de almidón y carecen de valor nutricional (Rodríguez-Miranda *et al.*,

2011; Vázquez, 2013; Liu *et al.*, 2017). Por lo que, en los últimos años diferentes estudios han sido realizados para evaluar el efecto de otros ingredientes alimentarios, derivados de diferentes frutas, verduras y almidones de fuentes no convencionales, para la elaboración de productos alimenticios que contengan compuestos de alto valor nutricional con propiedades que promueven la salud (Morales *et al.*, 2015).

2.3.3 Características generales de raíces y tubérculos

Los cultivos de raíces y tubérculos se siembran en todo el mundo principalmente en regiones cálidas y húmedas, sus plantas producen raíces amiláceas, rizomas, cormos, tallos y tubérculos, contienen entre 70-80% de agua, 16-24% de almidón y cantidades traza (<4%) de proteínas y lípidos. Son considerados importantes fuentes de carbohidratos que se utilizan como alimentos básicos en los países tropicales y subtropicales; también contienen componentes nutricionalmente benéficos como almidón resistente y antioxidantes (Reddy *et al.*, 2014). Existe una amplia variedad de tubérculos cultivados alrededor del mundo, pero sólo cinco especies representan casi el 99% de la producción mundial, entre los que están: la papa (*Solanum tuberosum*, 46%), yuca (*Manihot esculenta*, 28%), camote (*Ipomoea batatas*, 18%), ñame (*Dioscorea*spp., 6%) y taro (*Colocassia, Cytosperma, Xanthosoma* spp). Mientras que, tubérculos como sagu (*Canna edulis*), zulu (*Maranta sp.*), guapo (*Myrosma cannifolia*) y oca (*Oxalis tuberosa*), se cultivan principalmente en la región andina, estos tubérculos contienen almidón como componente principal; pero solo se consumen en fresco, cocidos o como un plato de verduras (Dubois *et al.*, 2007; González, 2014). A pesar de su contenido nutricional, el uso y consumo de raíces y tubérculos son limitados ya que están sujetos a grandes pérdidas pos-cosecha debido a su alto contenido de humedad, metabolismo sostenido y ataque microbiano, lo cual provoca daños durante la cosecha y almacenamiento. Una posible solución a este problema podría ser mediante la conversión de los tubérculos de productos perecederos a productos no perecederos a través de operaciones de procesamiento para la elaboración de nuevos productos alimenticios (Reddy *et al.*, 2014).

2.3.3.1 *Oxalis tuberosa*

Oxalis tuberosa pertenece a la familia *Oxalidaceae*, la planta está compuesta principalmente de tallos, hojas, flores, raíz y tubérculos, este último botánicamente se define como un “tallo subterráneo ensanchado” que constituyen el principal órgano de almacenamiento de nutrientes de reserva para la planta (Alcalde-Eon *et al.*, 2004). La forma del tubérculo oscila de ovoide a cilíndrica y formas claviformes, mientras que el color superficial varía del blanco a crema, amarillo, naranja, rosa o morado (Figura 4), su cosecha se lleva a cabo de seis a ocho meses. Esta familia incluye entre 5 y 7 géneros con aproximadamente 900 especies distribuidas en regiones templadas y tropicales de ambos hemisferios, su nombre más común es oca, pero dependiendo de la región recibe diferentes nombres: quiba, ibia, apilla, miquichi, (Espino, 2015).



Figura 4. Géneros de *Oxalis tuberosa*

Este tubérculo es una buena fuente de energía y su valor nutricional es semejante al de *Solanum tuberosa*, se cultiva principalmente en las tierras altas de Ecuador, Perú y Bolivia. También se encuentra en algunas partes de Chile, Argentina, Colombia y Venezuela, en esta región el tubérculo se consume en sopas, guisos, al vapor, hervidos o al horno; fuera de la región andina, se produce comercialmente en México y Nueva Zelanda (Alcalde-Eon *et al.*, 2004; Chirinos *et al.*, 2009); *Oxalis tuberosa* fue introducida a México hace unos 200 o 300 años,

actualmente es de gran importancia en la zona centro del país y suele consumirse de forma natural o en algunas preparaciones como atoles o sopas (Ramos, 2014).

2.3.3.2 Composición química de *Oxalis tuberosa*

De acuerdo al Consejo Nacional de Investigación de EE.UU, *Oxalis tuberosa* tiene un valor nutricional igual o mejor que *Solanum tuberosa* (Cuadro 2). El 14% de su contenido es atribuido a los carbohidratos, principalmente sacarosa, cuenta con un sabor agrdulce causado por su concentración de oxalatos, además puede considerarse una buena fuente de calcio y hierro (Valcárcel-Yamani *et al.*, 2013; Ramos, 2014).

Cuadro 2. Valor nutricional de *Oxalis tuberosa* y *Solanum tuberosa*.

Componente	<i>Oxalis tuberosa</i> (g/100 g)	<i>Solanum tuberosa</i> (g/100 g)
Proteína	5.7	2.0
Carbohidratos	8.5	14.7
Grasa	0.55	0.1
Cenizas	2.7	1.0
Fibra	4.55	2.2
Humedad	82.4	80
kcal/100 g	371.35	87
Calcio	(40-247 ppm MS)	7 mg/100 g
Hierro	(8-49 ppm MS)	4 mg/100 g

(Fuente: Ramos, 2014).

Generalmente, *Oxalis tuberosa* es caracterizada por ser una buena fuente de carbohidratos, presenta propiedades antibacterianas y antifúngicas, producidas por su proteína principal llamada ocatin y ofrece un amplio perfil antioxidante, debido a su contenido de ácidos fenólicos, flavonas y antocianinas, tal como se muestra en el Cuadro 3 (Chirinos *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Contenido de antioxidantes de *Oxalis tuberosa*.

Compuesto	Purpura claro	Purpura oscuro (morado)
Polifenoles (ácido gálico mg/100g)	241.7	505.4
Flavonoides (catequina mg/100g)	65.7	131.4
Antocianinas (mg/100g)	55.5	213.8

(Fuente: Kyu *et al.*, 2006).

La coloración de *Oxalis tuberosa* es causada por las antocianinas presentes en la cáscara como en la pulpa, estos compuestos son pigmentos hidrosolubles producidos durante el metabolismo secundario de las plantas, contribuyen a la capacidad antioxidante, y son responsables de las tonalidades que van desde naranja hasta rojo, azul o morado intenso. Otros estudios han reportado que independientemente de los parámetros fisicoquímicos fundamentales, la *Oxalis tuberosa* tiene cantidades significativas de retinol o vitamina A, y tubérculos recién cosechados contienen hasta 500 mg/100g de ácido oxálico (Espino, 2015).

2.4 Compuestos antioxidantes y sus características

En el estado normal del metabolismo, los niveles de oxidantes y antioxidantes en el cuerpo humano se mantienen en equilibrio, lo cual es importante para mantener las condiciones fisiológicas óptimas, pero la sobreproducción de oxidantes en determinadas condiciones puede producir un desequilibrio que conduce al daño oxidativo de diferentes biomoléculas como: lípidos, ADN, y proteínas. Las principales características de un compuesto o sistema antioxidante es, inhibir o retardar la oxidación de otras moléculas, inhabilitando la iniciación y/o propagación de las reacciones en cadena de los radicales libres, debido a su capacidad de donar electrones para estabilizar estos radicales y neutralizar sus efectos dañinos (Delgado *et al.*, 2010; García *et al.*, 2011; Leos-Rivas *et al.*, 2016).

Los antioxidantes presentes de forma natural en los alimentos tienen efectos que promueven la salud y anti-envejecimiento en el cuerpo; se encuentran en distintas partes de las plantas, incluidas las flores, frutas, semillas, hojas, raíces, cortezas y sus piezas de madera (Rytel *et al.*, 2014; Fusi *et al.*, 2018). Estos compuestos

tienen la capacidad de mejorar la calidad y la estabilidad de los alimentos, pueden actuar como nutracéuticos para terminar las reacciones en cadena de radicales libres en los sistemas biológicos, proporcionando así beneficios adicionales sobre la salud. Asimismo, brindan importantes propiedades sensoriales, ya que son responsables de impartir color, sabor y gusto, en muchas plantas (Zhao *et al.*, 2014; Nems *et al.*, 2015). La capacidad antioxidante de los alimentos está determinada por una mezcla de compuestos antioxidantes con diferentes mecanismos de acción; ya que pueden unirse a polímeros biológicos, como enzimas, transportadores de hormonas y ADN; quelar iones metálicos transitorios, como el hierro, cobre, zinc; catalizar el transporte de electrones, y depurar radicales libres (Cárdenas *et al.*, 2016).

Dentro de la industria alimentaria y farmacéutica, los antioxidantes son componentes vitales y se utilizan para prevenir el deterioro, la rancidez y la decoloración causada por la oxidación durante el procesamiento y el almacenamiento. Por lo anterior puede definirse como antioxidantes en el ámbito de los alimentos, aquellas sustancias que en bajas cantidades, actúan previniendo o retardando en gran medida la oxidación de compuestos fácilmente oxidables como las grasas (Martínez, 2007; Nirmala *et al.*, 2018). Además de sus propiedades biológicas, en la actualidad los fitoquímicos con gran potencial antioxidante han despertado el interés en la tecnología de alimentos, ya que pueden usarse como sustitutos de los antioxidantes sintéticos, proporcionando protección contra la degradación oxidativa de los radicales libres (Cárdenas *et al.*, 2016).

2.4.1 Clasificación de los antioxidantes

Existen dos tipos principales de antioxidantes, los cuales se han clasificado en: primarios y son el primer nivel de protección, responsables de la ruptura de la reacción en cadena o secuestrador de radicales libres, cuando este nivel de antioxidantes primarios ha sido rebasado, el organismo tiene un segundo nivel de protección “secundarios o preventivos”. Los mecanismos de antioxidantes

"secundarios" pueden incluir la desactivación de metales, inhibición de los hidroperóxidos lipídicos interrumpiendo la producción de volátiles indeseables, la regeneración de antioxidantes "primarios", eliminar el oxígeno singulete, atrapar radicales libres existentes, impidiendo así la iniciación de una cadena oxidativa o interrumpiendo su propagación (Martínez, 2007). Por otra parte, en base a su estructura pueden distinguirse dos categorías principales: sintéticos y naturales, los primeros son compuestos de estructuras fenólicas con varios grados de sustitución alquílica, mientras que los segundos pueden ser compuestos fenólicos como tocoferoles, flavonoides y ácidos fenólicos; compuestos nitrogenados entre ellos alcaloides, derivados de la clorofila, aminoácidos, y aminas o carotenoides (Leos-Rivas *et al.*, 2016).

2.4.2 Compuestos fenólicos

En la actualidad, el estudio de la actividad biológica de los polifenoles ha cobrado gran interés, especialmente la evaluación de la capacidad antioxidante asociada a ellos. Existen varias clases y subclases de polifenoles, los cuales están clasificados en diferentes grupos en función del número de anillos fenólicos que poseen y de los elementos estructurales que presentan estos anillos, siendo los principales grupos: ácidos fenólicos derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido hidroxicinámico; estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides (Quiñones *et al.*, 2012). Los polifenoles, incluyendo los ácidos fenólicos, flavonoides y taninos, son compuestos bioactivos que hacen que los metabolitos secundarios de la planta contribuyan a diversas actividades fisiológicas antimicrobianas, antiinflamatorias, antitumorales, efectos anticancerígenos y pueden prevenir enfermedades degenerativas, debido a su acción antioxidante (Valencia *et al.*, 2017). Tienen alto potencial redox, y actúan como agentes reductores, donantes de hidrógeno, desactivadores de oxígeno o agentes quelantes de metales como el hierro y el cobre, inhiben la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad, las cuales están implicadas en la patogénesis de enfermedades coronarias; estos fitoquímicos presentan diferentes mecanismos complementarios o sinérgicos en la neutralización de los agentes oxidantes,

estimulación del sistema inmune, regulación de la expresión de genes implicados en la proliferación o apoptosis celular, regulación del metabolismo de hormonas, presentan efecto antiviral y antibacteriano (Martínez, 2007; García *et al.*, 2011).

2.5 Radicales libres

Los radicales libres se definen como cualquier especie química capaz de existir de forma independiente y que en su estructura tienen uno o más electrones desapareados, son altamente reactivos y clave para formar otros radicales libres en cadena. Además, por la vida media de microsegundos ocurre una rápida propagación con moléculas aledañas y mayor daño potencial, estos radicales forman parte de las llamadas especies reactivas del oxígeno y especies reactivas del nitrógeno (Coronado *et al.*, 2015). A bajas concentraciones los radicales libres son indispensables para el buen funcionamiento celular, porque actúan como segundos mensajeros estimulando la proliferación celular y/o actuando como mediadores para la activación de las células, son esenciales para la regulación de las funciones fisiológicas normales implicadas en el desarrollo, como la progresión y proliferación del ciclo celular, la diferenciación, la migración y la muerte celular; juegan un papel importante en el sistema inmune y en el mantenimiento del equilibrio redox. Sin embargo, un exceso de estos radicales puede acumularse hasta niveles tóxicos produciendo diversas acciones sobre el metabolismo primario, causando daño oxidativo de macromoléculas biológicas como lípidos, carbohidratos y proteínas. Asimismo, dan lugar a la desintegración de la membrana celular, daño de la proteína de la membrana y la mutación del ADN, lo cual da inicio al desarrollo de enfermedades incluyendo el cáncer, diabetes, enfermedades neurodegenerativas, disfunciones cardiovasculares, procesos reumáticos y patologías gastroentéricas (Cárdenas *et al.*, 2016; Leos-Rivas *et al.*, 2016).

Por otra parte, los radicales libres oxidan a los aminoácidos que constituyen a las proteínas, produciendo diversas modificaciones como: la formación de grupos carbonilo, asociación de fragmentos proteicos por entrecruzamiento de enlaces

disulfuro, rompimiento de enlaces peptídicos, pérdida de la afinidad por los metales, incremento en la hidrofobicidad, ocasionando que las proteínas sufran cambios en su estructura, actividad y funcionalidad, ya que las proteínas que sufren un daño oxidativo presentan un deterioro en la actividad hormonal y enzimática, así como en el transporte de iones, y una mayor sensibilidad a la degradación proteolítica, atacan el DNA, dañando los genes que codifican a las proteínas necesarias impidiendo que lleven a cabo todas las funciones celulares (Delgado *et al.*, 2010). Estos radicales son liberados durante el metabolismo humano, también se producen por contaminantes ambientales como los atmosféricos, acuáticos o de suelos; radiaciones ultravioleta, gamma, hertziana, entre otros. Están relacionados con el uso o consumo de tóxicos como el alcohol, tabaco y drogas, o debido a una alimentación no adecuada, exposición a fertilizantes y/o pesticidas, metabolismo de algunos químicos y elevado estrés físico (Coronado *et al.*, 2015). Por lo que, las propiedades antioxidantes especialmente aquellas que tienen actividades de eliminación de radicales, son muy importantes para contrarrestar daños inducidos por los radicales libres en los alimentos y los sistemas biológicos (Ligen *et al.*, 2017).

III. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en cuba. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 113-120.
2. Aguilera, O.M., Reza, V.M. del C. Ramírez, B.P. (2014). El maíz azul (*Zea mays*) cultivado en la Comarca Lagunera como fuente de biocolorantes. En *Los alimentos en México y su relación con la salud*. Plaza y Valdez (Eds.). Madrid España: pp. 373-391.
3. Alcalde-Eon, C., Saavedra, G., de Pascual-Teresa, S., Rivas-Gonzalo, J. (2004). Liquid chromatography–mass spectrometry identification of anthocyanins of isla oca (*Oxalis tuberosa*, Mol.) tubers. *Journal of Chromatography A*, 1054, 211-215.
4. Borah, A., Lata Mahanta, C., Kalita, D. (2016). Optimization of process parameters for extrusion cooking of low amylose rice flour blended with seeded banana and carambola pomace for development of minerals and fiber rich breakfast cereal. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 221-32.
5. Cárdenas, B.G.D., Arrazola, P.G., Villalba, C.M.G. (2016). Frutas tropicales: fuente de compuestos bioactivos naturales en la industria de alimentos. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 17(33), 29-40.
6. Chalermchaiwat, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Charunuch, C., Prinyawiwatkul, W. (2015). Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. *LWT - Food Science and Technology*, 64, 490-496.
7. Chirinos, R., Betalleluz, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R., Campos, D. (2009). HPLC-DAD Characterization of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 113, 1243-1251.
8. Coronado, H.M., Vega y León, S., Gutiérrez, T.R. Vázquez, F.M., Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2), 206-212.

9. Cruz, V.R. (2014). Caracterización físico-química de botanas horneadas por radiación de microondas a partir de harinas de chayotextle (*Sechium edule*) y papa dulce (*Ipomoea batatas*). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
10. Dehghan, S.Z., Hardacre, A.K., Brennan, C.H.B. (2010). The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chemistry*, 123, 1117-1122.
11. Delgado-Nieblas, C.I., Zazueta-Morales, J.J., Gallegos-Infante, J.A., Aguilar-Palazuelos, E., Camacho-Hernández, I.L., Ordorica-Falomir, C.A., Pires de Melo M. Carrillo-López, A. (2015) Elaboration of functional snack foods using raw materials rich in carotenoids and dietary fiber: effects of extrusion processing. *CyTA - Journal of Food*, 13, 69-79.
12. Delgado, O.L., Betanzos, C.G., Sumaya, M.Ma.T. (2010). Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución de estrés oxidativo. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 50, 10-15.
13. Dubois, M., Savage, G.P., Martin, R.J. (2007). The effect of cooking on the composition and colour of New Zealand grown oca. *Food Chemistry*, 104, 768-773.
14. Espino, M.S.O. (2015). Elaboración de pan blanco de caja y pan dulce tipo concha libre de gluten utilizando harina pre-gelatinizada de *Oxalis tuberosa*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
15. Fiorda, F.A., Soares, M.S.J.R., Silva, F.A., Moura, C.M.A., Grosmann, M.V.E. (2015). Physical quality of snacks and technological properties of pre-gelatinized flours formulated with cassava starch and dehydrated cassava bagasse as a function of extrusion variables. *LWT - Food Science and Technology*, 62(2), 1112-1119.
16. FIRA (2016). Panorama Agroalimentario, Maíz. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, pp. 1-40.
17. Fusi, J., Bianchi, S., Daniele, S., Pellegrini, S., Martini, C., Galetta, F., Giovannini, L., Franzoni, F. (2018). An in vitro comparative study of the

- antioxidant activity and SIRT1 modulation of natural compounds. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 101, 805-819.
18. García, J.R., De la Rosa, L.A., Herrera, D.B., González, B.A.G., López, D.J.A., González, A.G.A., Ruiz, C.S., Álvarez, P.E. (2011). Cuantificación de polifenoles y capacidad antioxidante en duraznos comercializados en Ciudad Juárez, México. *Tecnociencia Chihuahua*, 5, 67-75.
 19. Gear, J.R.E. (2006). Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. *Recopilación de ILSI Argentina*, II, 4-10.
 20. Gómez, L.P. (2013). Obtención de productos directamente expandidos por extrusión y botanas de 3ª generación a base de chíá y almidón de maíz resistente AR4. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana.
 21. González, V.L. (2014). Evaluación de las propiedades físico-químicas de pastas con bajo contenido de gluten elaboradas a partir de sémola de trigo (*Triticum durum*) complementadas con harina de chayotextle (*Sechium edule*). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
 22. Grande, T.C., Orozco, C.B. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 11, 97-110.
 23. Hirth, M., Leiter, A., Beck, S.M., Schuchmann, H.P. (2014). Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch based food. *Journal of Food Engineering*, 125, 139-146.
 24. Industria Alimenticia, México. (2017). Informe anual de snacks y panificación.
 25. Kent N.L. (1987). *Tecnología de los Cereales, Introducción para Estudiantes de Ciencias de los Alimentos y Agricultura*. Ed. Acribia. 1a. ed. Zaragoza, España, pp. 133-142.
 26. Koksel, F., Masatcioglu, M.T. (2018). Physical properties of puffed yellow pea snacks produced by nitrogen gas assisted extrusion cooking. *LWT - Food Science and Technology*, 93, 592-598.

27. Kumar, R., Xavier, M.K.A., Lekshmi, M., Balange, A., Gudipati, V. (2018). Fortification of extruded snacks with chitosan: Effects on techno functional and sensory quality. *Carbohydrate Polymers*, 194, 267-273.
28. Kyu, H.H., Mitsuo, S., Ken, I.S., Makoto, H., Naoto, H., Takahiro, N., Hisashi, T., Michihiro, F. (2006). Anthocyanin-rich purple potato flake extract has antioxidant capacity and improves antioxidant potential in rats. *British Journal of Nutrition*, 96, 1125-1133.
29. Lazou, A., Krokida, M. (2010). Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 392-408.
30. Leos-Rivas, C., Rivas-Morales, C., García-Hernández, D. (2016). Actividad antioxidante y toxicidad. En *Investigación en plantas de importancia médica*. Barcelona, España: OmniaScience. pp. 41-76.
31. Ligen, Z., Yuanfeng, W., Yuke, S., Lei, Z., Mupunga, J., Jianwei, M., Shiwang, L. (2017). Broccoli seed extracts but not sulforaphane have strong free radical scavenging activities. *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 2374-2381.
32. Liu, L., Li, S., Zhong, Y., Li, Y., Qu, J., Feng, J., Xu, S., Zhang, R., Xue, J., Guo, D. (2017). Nutritional, physical and sensory properties of extruded products from high-amylose corn grits. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29(11), 846-55.
33. Lucas, F.B., Greque de Moraes, M., Santos, D.T., Costa, V.J.A. (2018). Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. *LWT - Food Science and Technology*, 90, 270-276.
34. Martínez, F.J.C. (2012). Propagación y técnicas de cultivo del Maíz forrajero (*Zea mays*). Recuperado de *Revista Vinculando*, <http://vinculando.org/mercado/agroindustria/propagacion-y-tecnicas-de-cultivo-del-maiz-forrajero-zea-mays.html>.
35. Martínez, V.J.B. (2007). Evaluación de la actividad antioxidante de extractos orgánicos de semillas de *Heliocarpusterebinthinaceus*. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca.

36. Mazumder, M., Roopa, B.S., Bhattacharya, S. (2007). Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. *Journal of Food Engineering*, 79, 511-516.
37. Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Cámara, R.M., Reis, F., Barros, L., Berrios, J.D.J., Ferreira, I., Cámara, M. (2015). Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, 19, 537–544.
38. Nems, A., Peksa, A., Kucharska, A.Z., Sokoł, L.A., Kita, A., Drozd, W., Hamouz, K. (2015). Anthocyanin and antioxidant activity of snacks with coloured potato. *Food Chemistry*, 172, 175-182.
39. Nirmala, C., Bisht, M.S., Bajwa, H.B., Santosh, O. (2018). Bamboo: A rich source of natural antioxidants and its applications in the food and pharmaceutical industry. *Trends in Food Science & Technology*, 77, 91-99.
40. Olguín, P.M. (2012). Fortificación de tortillas de maíz con harina de *Lupinus albus*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
41. Pardhi, S.D., Singh, B., Nayik, G.A., Dar, B.N. (2017). Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. DOI:10.1016/j.jssas.2016.11.006
42. Paredes, L.O., Guevara, L.F., Bello, P.L.A. (2009). La Nixtamalización. *Ciencias*, 92, 60-70.
43. Quintero, S.L.B. (2015). Desarrollo y optimización de una botana extrudida directamente expandida a partir de harina de maíz azul (*Zea mays* L.) y bagazo de naranja (*Citrus sinensis* L.). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
44. Quiñones, M., Miguel, M., Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27, 76-89.
45. Ramos, R.E.M. (2014). Estudio del efecto de la actividad antioxidante de harina de cáscara de (*Oxalis tuberosa*) para la disminución de acrilamida en

- productos de panificación fritos. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
46. Reddy, M.K., Kuna, A., Devi, N.L., Krishnaiah, N., Kaur, C., Nagamalleswari, Y. (2014). Development of extruded Ready-To-Eat (RTE) snacks using corn, black gram, roots and tuber flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1929-1937.
 47. Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, J.I., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C.E., Delgado-Licon, E., Vivar-Vera, M.A. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 673-680.
 48. Rytel, E., Tajner, C.A., Kita, A., Aniołowska, M., Kucharska, A.Z., Sokoł, L.A., Hamouz, K. (2014). Content of polyphenols in coloured and yellow fleshed potatoes during dices processing. *Food Chemistry*, 161, 224-229.
 49. SAGARPA, 2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
 50. SAGARPA, 2016. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
 51. Serna, S.S.R.O. (2013). *Química almacenamiento e industrialización de los cereales*. Ed. A.G.T. editor, S.A. 5ta ed. México, D.F. pp. 3-28.
 52. Seth, D., Badwaik, L.S., Ganapathy, V. (2015). Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-cornrice based snack food. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1830-1838.
 53. Singh, J., Kaur, L., McCarthy, O.J., Moughan, P.J., Singh, H. (2009). Development and characterization of extruded snacks from New Zealand Taewa (*Maori potato*) flours. *Food Research International*, 42, 666-673.
 54. Valcárcel-Yamani, B., Rondán-Sanabria, G.G.; Finardi-Flavio, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49, 453-464.

55. Valencia, Z., Cámara, F., Ccapa, K., Catacora, P., Quispe, F. (2017). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante de semillas de quinua peruana (*chenopodium quinoa w.*) *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83, 16-29.
56. Vázquez, L.L. (2013). Evaluación de mezclas de harina de malanga y maíz para elaborar tortillas. Tesis de Maestría. Colegio de postgraduados. Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Campus Tabasco.
57. Zabed, H., Boyce, A.N., Faruq, G., Sahu, J.N. (2016). A comparative evaluation of agronomic performance and kernel composition of normal and high sugary corn genotypes (*Zea mays L.*) grown for dry-grind ethanol production. *Industrial Crops and Products*, 94, 9-19.
58. Zhao, H., Zhang, H., Yang, S. (2014). Phenolic compounds and its antioxidant activities in ethanolic extracts from seven cultivars of Chinese jujube. *Food Science and Human Wellness*, 3, 183-190.



Capítulo 2

Evaluación de características físico-químicas y propiedades antioxidantes de harinas compuestas por gríes de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* para futuras aplicaciones en alimentos nutritivos

Resumen

La *Oxalis tuberosa* es un tubérculo nutritivo caracterizado por tener vitaminas, minerales y antioxidantes naturales. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del nivel de sustitución de grits de maíz por harina de *Oxalis tuberosa* en distintas relaciones: T1 (90:10), T2 (80:20), T3 (70:30), T4 (60:40) y T5 (50:50%) respectivamente, sobre las características físico-químicas y funcionales. Mediante microscopía óptica fue analizado el tamaño de partícula, así como la morfología de las harinas; además, de realizarse un análisis de color y contenido de fenoles totales, la actividad antioxidante fue determinada por medio de la técnica de DPPH, y las propiedades mecánicas de masas mediante un análisis de perfil de textura. En cuanto al tamaño de partícula, tres fracciones diferentes fueron halladas para grits de maíz (2-10, 10-20 y 20-40 μm) y dos en harina de *Oxalis tuberosa* (5-30 y 30-42 μm); el análisis de color mostró disminución sobre la luminosidad, observándose un aumento en el contenido de fenoles totales. En actividad antioxidante, la harina de *Oxalis tuberosa* presentó mayor porcentaje de inhibición (50.62%) con 15 g de muestra, y para T5 fue de 51,14% (0.30 g de muestra). Asimismo, la dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad aumentaron en función del porcentaje de sustitución, de acuerdo con el análisis químico proximal, la harina de *Oxalis tuberosa* presentó alto porcentaje de fibra y menor contenido de lípidos (5.30 y 0.99 g/100 g, respectivamente). Los resultados obtenidos indicaron que, al remplazar grits de maíz por harina de *Oxalis tuberosa*, es posible obtener harinas con alta actividad antioxidante, las cuales podrían utilizarse para el desarrollo de productos que, además de nutrir, brinden propiedades funcionales benéficas para la salud.

Palabras clave: Morfología, Análisis de perfil de textura, Fenoles, Actividad antioxidante

I. INTRODUCCIÓN

La investigación sobre cultivos locales para desarrollar nuevos productos tiene un renovado interés en todo el mundo y representa una oportunidad para mejorar las economías regionales y promover la salud, ya que el consumidor es atraído no solo por alimentos con buenas características sensoriales, sino también por aquellos que aportan componentes benéficos para la salud (Rytel *et al.*, 2014; Mosso *et al.*, 2016). La papa (*Solanum tuberosum*) es una materia prima de particular interés ya que ofrece cada vez más una amplia gama de semi-productos útiles para la fabricación de diversos productos como son: fritos, frescos, refrigerados, congelados o listos para el consumo. En la región andina existe una gran variedad de tubérculos; sin embargo *Solanum tuberosum* es la más conocida en todo el mundo, seguida de la oca (*Oxalis tuberosa*), la cual fuera de la región andina solamente se produce en México y Nueva Zelanda (Condori *et al.*, 2008; Mosso *et al.*, 2016). La *Oxalis tuberosa* se caracteriza por contener buena fuente de carbohidratos, vitaminas, minerales y antioxidantes naturales; también presentan propiedades antibacterianas y antifúngicas producidas por su proteína ocatin y ofrecen un amplio perfil antioxidante (Chirinos *et al.*, 2009). Las papas generalmente son una fuente rica de compuestos antioxidantes tales como polifenoles, ácido ascórbico, α -tocoferol y β -caroteno; además los compuestos fenólicos proporcionan importantes propiedades sensoriales en los alimentos y son responsables del color, el sabor o la textura; ayudan a reducir el riesgo de desarrollar enfermedades como arterioesclerosis, hipertensión, enfermedades coronarias, enfermedades neurológicas degenerativas y algunos cánceres (Nems *et al.*, 2015; Isidro *et al.*, 2016).

Estudios previos han demostrado que raíces y tubérculos proporcionan una gran cantidad de almidón, por lo que el desarrollo de productos compuestos mediante la mezcla de almidón de diferentes fuentes como el maíz y la mandioca en combinación con otras materias primas ha sido una alternativa para la elaboración de alimentos con buenas características físico-químicas, sensoriales y nutricionales (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). Asimismo, el desarrollo de

productos alimenticios que satisfagan las necesidades nutricionales del consumidor es una prioridad para la industria alimentaria, esto ha promovido la búsqueda de nuevos ingredientes como una alternativa para la producción de alimentos como la elaboración de pan sin gluten a partir de harina de *Oxalis tuberosa* (Güemes *et al.*, 2018). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades funcionales y físico-químicas de harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*, para futuras aplicaciones en la elaboración de alimentos de mejor calidad nutricional y buenas propiedades funcionales.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Reactivos utilizados

Ácido sulfúrico concentrado, sulfato de sodio, sulfato cúprico pentahidratado, hidróxido de sodio, ácido bórico, ácido clorhídrico concentrado, indicador rojo de metilo, eter de petróleo, reactivo de Folin-Ciocalteu, ácido gálico, carbonato de sodio, etanol, DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), entre otros. Todos los solventes y productos químicos fueron adquiridos en Sigma-Aldrich México (Toluca, México).

2.2 Materia prima

Tubérculos de *Oxalis tuberosa* y grits de maíz (*Zea mays*) fueron adquiridos en la ciudad de Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México (20°05'09"N y 98°21'48"O). Para la obtención de harina de *Oxalis tuberosa* los tubérculos fueron cortados en rodajas de 2 a 3 mm y se deshidrataron en un horno de secado (Muebles Inoxidables Luckie SA, CDMX, México) a temperaturas de 50 a 60°C durante 6 h. Seguido de una trituración y tamizado (tamiz malla cuadrada, marca Tyler, No. 40-425 µm) para homogeneizar el tamaño de partícula (Hirth *et al.*, 2014).

2.3 Preparación de mezclas

La obtención de mezclas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* fue a partir de distintas relaciones (Cuadro 1), las cuales posteriormente fueron comparadas contra un control (Cerón *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Formulación de mezclas, elaboradas a partir de grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*.

Tratamiento	Formulación (%)	
	Harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	Grits de maíz
Control	0	100
T1	10	90
T2	20	80
T3	30	70
T4	40	60
T5	50	50
HP	100	0

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

2.4 Análisis químico proximal de harinas

Tanto la harina de *Oxalis tuberosa* como grits de maíz fueron evaluados por medio de un análisis químico proximal utilizando los métodos oficiales recomendados por la AOAC (2002); el contenido de humedad, cenizas y fibra total fue determinado por los métodos 925.10, 923.03 y 985.29 respectivamente. El cálculo de proteínas fue a partir del contenido de nitrógeno usando un factor de conversión de 6.25 mediante el método 920.87 y 920.39 para grasas; mientras que los carbohidratos se calcularon por diferencia. Todos los análisis son expresados como la media del análisis por triplicado.

2.5 Caracterización física y actividad antioxidante de harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*

2.5.1 Microscopia de luz óptica

Mediante esta técnica fueron obtenidas algunas imágenes para determinar el tamaño de partícula, en este ensayo muestras de harina fueron dispersadas en una gota de alcohol isopropílico, dejando secar a temperatura ambiente ($25\pm 1^\circ\text{C}$);

y posteriormente observadas en un microscopio óptico (10x, Nikon, Eclipse 50i, Japón) acoplado a una cámara digital (Nikon Digital Sight DS-2Mv, Tv lentex0.55, Japón) para la adquisición de imágenes RGB (NIS-Elements F 2.30 software). El análisis de imágenes fue realizado con el software ImageJ v.1.42q (Bethesda, USA). Obteniendo parámetros de circularidad o factor de forma y relación de aspecto (Protonotariou *et al.*, 2014).

2.5.2 Análisis de color

Con un colorímetro (MicroOptix S560 i-LAB, USA), se determinaron parámetros colorimétricos (L^* , a^* y b^*), donde el coeficiente de luminosidad L^* tiene un intervalo de negro a blanco (0-100). Los espectros de cromaticidad son representados por las coordenadas cromáticas de a^* y b^* , coordenadas verde-rojo y azul-amarillo, respectivamente (Kim *et al.*, 2015).

2.5.3 Cuantificación de fenoles totales por el método de Folin Ciocalteu

Los extractos acuosos se obtuvieron pesando de 0.025 a 0.2 g de muestra seca, las cuales tras diluirse en 10 ml de agua destilada, fueron sometidas a agitación en vórtex durante 1 min y centrifugadas a 4000 rpm durante 10 min. El contenido de fenoles totales fue determinado mediante la técnica colorimétrica de Folin Ciocalteu según lo descrito por Ondo & Ryu (2013), con las siguientes modificaciones: tras mezclar alícuotas de 1.58 ml de extracto, con reactivo de Folin-Ciocalteu y carbonato de sodio al 20% (Na_2CO_3), estas fueron calentadas durante 15 min a 50°C, para finalmente medir la absorbancia a 765 nm frente a un blanco. Los resultados son expresados como mg de ácido gálico por g de materia seca (MS), haciendo mediciones por triplicado.

2.5.4 Evaluación de actividad antioxidante mediante el radical DPPH

Los extractos utilizados en esta prueba fueron obtenidos diluyendo 0.1 g de muestra en 1.5 mL de agua destilada, seguido de agitación durante 1 min, y finalmente centrifugado a 3000 rpm durante 10 min. La capacidad antioxidante fue determinada a través de la actividad de barrido de radicales libres de DPPH (2,2-

difenil-1-picrilhidracilo), de acuerdo a la técnica descrita por Ondo & Ryu (2013), con algunas modificaciones: una vez mezclados 50 μ L de extracto con 1.95 mL de solución de metanol DPPH (0.1 mM), prosiguió el monitoreo de absorbancia de las mezclas durante una hora en intervalos de 10 min a 517 nm. Cada ensayo fue realizado por triplicado, los resultados son expresados en porcentaje de inhibición. También se determinó EC_{50} (concentración efectiva media), así como TEC_{50} (tiempo requerido para alcanzar EC_{50}). EC_{50} pudo obtenerse tras graficar el porcentaje de DPPH reducido contra concentración y representa la cantidad de muestra necesaria para secuestrar el 50% del radical inicial de DPPH. Los resultados son expresado en g de muestra/g DPPH (Palomino & Del Bianchi, 2015).

2.6 Pruebas mecánicas de masas elaboradas a partir de harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*

El análisis de perfil de textura, así como la adhesividad de masas, fue realizado con un analizador de textura (CT3 Texture Analyzer-Brookfield, Alemania), para esto, se prepararon 100 g de masa de cada uno de los tratamientos. El proceso de amasado consistió en mezclar harina con cantidades específicas de agua (de 30 a 60 mL), durante 20 min y posteriormente dividir la masa en porciones correspondientes a la cantidad requerida para cada ensayo.

2.6.1 Análisis de perfil de textura

El Análisis de Perfil de Textura de masas (TPA), consistió en colocar 25 g de muestra en un cilindro de acrílico, para comprimirse durante 15 min con una sonda de aluminio de 36 mm de profundidad y 40 mm de longitud (TA-AACC36), enseguida se aplicaron dos ciclos de compresión a una velocidad de 10 mm/s hasta un 20% de deformación. Obteniéndose resultados de dureza, representada por la altura del pico máximo del gráfico, cohesividad que es la razón entre las áreas de la curva correspondiente solo a las bajadas del embolo, adhesividad y elasticidad, definida como la altura que recobra el alimento durante el tiempo que

pasa entre el final de la primera comprensión y el máximo de la segunda (Güemes-Vera *et al.*, 2014).

2.6.2 Adhesividad de Hoseneý

Una propiedad textural muy importante durante el procesamiento y transformación de la masa es la pegajosidad, la cual se define como la fuerza de adhesión que resulta cuando dos superficies son puestas en contacto. Este parámetro se determinó utilizando el aditivo de adhesión de masa SMS/Chen-Hoseneý, como sigue: 10 g de masa fueron presionados para obtener pequeños filamentos (aproximadamente 4 mm de diámetro), los cuales se dejaron en reposo durante 1 min. Posteriormente, el cilindro fue colocado en el analizador de textura para comprimir la muestra con una sonda acrílica de 2.54 cm de diámetro, a una velocidad de ensayo de 2 mm/s, obteniendo valores del trabajo necesarios para superar la fuerza de atracción entre los filamentos de la masa y la sonda, mediante la curva de fuerza contra distancia (Güemes *et al.*, 2009; Güemes-Vera *et al.*, 2014).

2.7 Análisis estadístico

El efecto de mezclar diferentes concentraciones de harina de *Oxalis tuberosa* con grits de maíz fue determinado mediante un análisis de varianza, expresando los resultados como media \pm DE (desviación estándar). Para APT, adhesividad de Hoseneý, análisis de color y fenoles totales, se determinó la diferencia significativa entre los tratamientos mediante la comparación de medias de Duncan, utilizando el paquete estadístico (NCSS 10 Data Analysis, EE. UU.), con un nivel de significación de $p < 0.05$ (Mosso *et al.*, 2016). Además, se realizó un análisis de correlación lineal de Pearson con el software XLSTAT versión 2009.3.02 (Addinsoft, USA), para estudiar la relación de las variables entre masas y harinas. Todos los ensayos fueron por triplicado.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Composición química proximal

La caracterización de la materia prima es importante para determinar los distintos tratamientos, por lo que se llevó a cabo un análisis químico proximal; los resultados obtenidos indicaron que harina de *Oxalis tuberosa* tiene mayor contenido de humedad, cenizas y fibra (7.51 ± 0.01 , 5.11 ± 0.01 y 5.30 ± 0.29 g/100 g, respectivamente) en comparación con grits de maíz; ya que tuvo valores de humedad de 6.99 ± 0.03 , cenizas de 1.25 ± 0.10 y fibra de 1.35 ± 0.20 g/100 g. Por otro lado, el contenido proteico y de grasa fue menor en harina de *Oxalis tuberosa* (6.60 ± 0.16 y 0.99 ± 0.01 g/100g, respectivamente), mientras que en grits de maíz fue de 8.71 ± 0.17 g/100g de proteína y 8.03 ± 0.50 g/100 g de grasa. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, tanto harina de *Oxalis tuberosa* como grits de maíz mostraron valores de humedad más bajos que el valor máximo permitido para este tipo de productos (15 g/100 g). En cuanto al contenido de proteínas y grasas, los resultados fueron similares a lo reportado por García *et al.* (2012) en un estudio sobre tubérculos como ñame (*Dioscorea alata* L.), taro (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) y mapuey (*Dioscorea trifida* L.), ya que el contenido proteico osciló entre 4.84 y 6.77 g/100 g, esto podría deberse a que tanto tubérculos como rizomas, incluidos varios tipos de papa, yuca y malanga, son relativamente bajos en proteínas. El contenido de grasa también es bajo en varios cultivos de tubérculos, y están compuestos principalmente por lípidos de la membrana celular y es variable entre los cultivares (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). La cantidad de carbohidratos para grits de maíz fue de 73.67 ± 1.03 g/100 g, mientras que en harina de *Oxalis tuberosa* de 74.49 ± 1.03 g/100 g, los altos valores de estos compuestos pueden estar directamente relacionados con el contenido de almidón principalmente, ya que en un estudio realizado por Juneja *et al.* (2017) indicaron que el contenido de almidón en grits de maíz fue de 86.5% en base seca. En general, los resultados obtenidos concuerdan con un estudio realizado en harina de maíz y harina de taro (*Colocasia esculenta*), donde reportaron que harina de taro tiene mayor contenido de cenizas y carbohidratos (3.78 y 82.42 g/100 g) en comparación con harina de maíz (1.34 y

71.27 g/100 g). Mientras que harina de maíz mostró mayor contenido de grasa y proteína (4.47 y 9.42 g/100 g) con respecto a harina de taro (0.74 y 5.37 g/100 g), los autores mencionan que los cereales normalmente contienen mayor cantidad de grasa y proteínas que los tubérculos e indican que las propiedades químicas de los tubérculos dependen en gran medida de las características del suelo del cual se recolectaron, o de factores ambientales como la sequía o la falta de nutrientes (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

3.2 Características físicas y propiedades antioxidantes de harinas

3.2.1 Morfología y distribución del tamaño de partícula

Mediante un análisis de tamaño de partícula pudieron determinarse las características del gránulo en cada una de las harinas, encontrándose varios tamaños de diámetro en grits de maíz, los cuales se clasificaron en tres fracciones principales correspondientes a tamaños entre 2-10, 10-20 y 20-40 μm (Figura 1A); mientras que en harina de *Oxalis tuberosa* los diámetros encontrados fueron de 5 a 30 μm en la fracción uno y de 30 a 42 μm en la fracción dos (Figura 1B). Asimismo, en los tratamientos T1, T2 y T3 se encontraron diámetros similares al grits de maíz, mientras que para T4 y T5 los gránulos fueron idénticos a los de harina de *Oxalis tuberosa* (2-28 y 28-40 μm para ambas muestras). Protonotariou *et al.* (2014), reportaron que harinas de cereales pueden clasificarse en tres fracciones principales de acuerdo al diámetro del gránulo: diámetros $>35 \mu\text{m}$; celdas pertenecientes al endospermo entero, fragmentos de celdas del endospermo, aglomeraciones de gránulos y proteínas; entre 15-35 μm ; gránulos grandes y medianos o algunos unidos a proteínas y $<15 \mu\text{m}$ pequeñas fracciones proteicas y gránulos separados. Por otra parte, Stasiak *et al.* (2013), encontraron que almidones de cereales y de papa difieren notablemente en su morfología, ya que observaron que gránulos de almidón de papa eran dos veces más grandes y oblongos con un coeficiente de forma aproximadamente dos veces mayor, con respecto a gránulos de almidón de maíz. En un estudio realizado por Lan *et al.* (2015), reportaron que el almidón de taro contiene gránulos individuales que típicamente variaban de 1 a 2 μm ,; almidón de Canna y papa también mostraron

variaciones significativas en el tamaño, el cual oscila entre 20-40 μm y 10-20 μm respectivamente, mientras que los gránulos más grandes mostraron intervalos entre 40-70 μm para canna y 20-55 μm para papa. Estos resultados indican que la diferencia en el tamaño del gránulo puede estar directamente relacionada con la fuente de obtención, dicho parámetro es un factor importante ya que estas características sirven como criterio taxonómico para identificar la fuente vegetal de este polisacárido. Asimismo, el tamaño del gránulo sugiere algunas posibles aplicaciones, ya que gránulos de menos de 60 μm son útiles como agentes encapsulantes de sabores, colorantes y esencias, debido a su gran capacidad de absorción de agua, por lo que, harinas con estos tamaños de gránulo podrían considerarse polímeros útiles e interesantes en la industria alimentaria (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007).

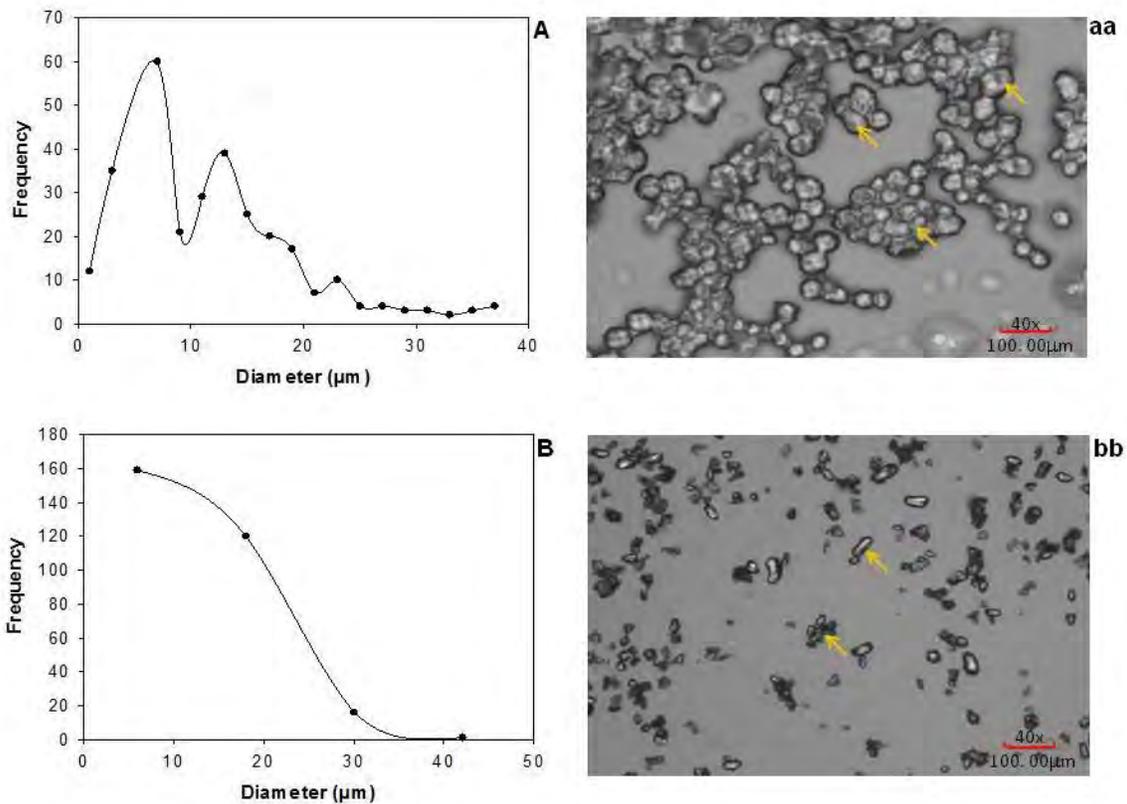


Figura 1. Relación entre el tamaño de partícula encontrada en (A) granos de maíz y (B) harina de *oxalis tuberosa* de acuerdo con el diámetro del gránulo y las micrografías obtenidas por microscopía óptica (aa, bb).

Del análisis de imágenes pudieron determinarse otros parámetros acerca de la morfología del gránulo, entre ellos el factor de forma (FF); este parámetro describe numéricamente la forma que tiene una partícula independientemente del tamaño, en contexto un objeto perfectamente redondo tendrá un valor igual a 1, y objetos alargados o rectos tendrán valores cercanos a cero. Así como, la relación de aspecto (RA), la cual da a conocer la relación entre el diámetro mínimo y máximo, e indica que valores cercanos a 1 corresponde a objetos equidimensionales, mientras que valores que tienden a infinito para objetos extendidos. El Cuadro 2 muestra los resultados del FF y RA, observándose que grits de maíz con valores de 0.80 ± 0.07 en FF y 1.23 ± 0.17 para AR, indican que tienen forma redonda o poliédrica (Figura 1aa); para la harina de *Oxalis tuberosa* los valores obtenidos fueron: FF de 0.72 ± 0.08 y 1.69 ± 0.39 para RA, lo que confirma que en estos gránulos predominan las formas alargadas o elípticas (Figura 1bb). En un estudio llevado a cabo por Valcárcel-Yamani *et al.* (2013) en diferentes tubérculos, observaron que gránulos de almidón de oca presentaron una morfología cilíndrica, elíptica u ovalada, gránulos de olluco mostraron formas asimétricas e irregulares con forma elíptica, ovalada, cónica o prismática y gránulos de almidón de mashua entre formas ovaladas o esféricas, de tamaños más pequeños con respecto a otros tubérculos.

Las características morfológicas encontradas para grits de maíz fueron similares a las reportadas por Muñoz *et al.* (2015) donde analizaron la morfología de cuatro almidones nativos, como almidón de maíz, el cual presentó forma poliédrica, mientras que el almidón de papa mostró formas esféricas y ovaladas; en almidón de trigo hallaron dos tipos de gránulos, una en forma lenticular (gránulos grandes) y forma esférica para gránulos pequeños. La variación en la morfología del gránulo de almidón se atribuye al origen biológico, lo cual depende de la bioquímica de cloroplastos o amiloplastos y fisiología vegetal; sin embargo, existen otros factores que pueden afectar las características del gránulo como factores ambientales (temperatura y almacenamiento), ya que estas influyen sobre las propiedades físico-químicas y térmicas del gránulo (Valcárcel-Yamani *et al.*, 2013).

Cuadro 2. Factor de forma y relación de aspecto de harinas compuestas a partir de grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*.

Tratamiento	Factor de forma (FF)	Relación de aspecto (RA)
Control	0.80 ± 0.07	1.23 ± 0.17
HP	0.72 ± 0.08	1.69 ± 0.39
T1	0.82 ± 0.05	1.22 ± 0.17
T2	0.83 ± 0.05	1.22 ± 0.17
T3	0.86 ± 0.04	1.22 ± 0.18
T4	0.86 ± 0.03	1.23 ± 0.19
T5	0.83 ± 0.05	1.43 ± 0.31

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

3.2.2 Características de color

En cuanto a los efectos del color por la adición de harina de *Oxalis tuberosa*, existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos con respecto al control, encontrándose la disminución de luminosidad (L^*) y amarillamiento (b^*), así como el aumento del enrojecimiento a^* (Cuadro 3). A partir de estos resultados podría considerarse a T1 como el mejor tratamiento debido a que presentó valores de L^* , a^* y b^* de 93.05 ± 1.33 , 1.21 ± 0.35 y 19.92 ± 1.15 , los cuales son similares a los del control (94.86 ± 0.58 , 22.62 ± 0.89 , -1.54 ± 0.24 respectivamente). Por otra parte, T5 mostró los valores más bajos de L^* y b^* (84.50 ± 0.51 y 12.64 ± 0.79 respectivamente) y el valor más alto de a^* (1.01 ± 0.13) con respecto al control; estos resultados indican que el color de harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* tiende hacia el espacio púrpura, mientras que en el control predomina el color amarillo, mostrando una mayor luminosidad en comparación con las harinas compuestas. Estos cambios de color podrían atribuirse al grado de sustitución por harina de *Oxalis tuberosa*, así como a la presencia de pigmentos y polifenoles, los cuales están situados principalmente en la cascara del tubérculo (Chirinos *et al.*, 2009). Estudios recientes donde analizaron el color en galletas adicionadas con harina de cascara

de sésamo, notaron que al incorporar hasta 50% de esta harina existió una disminución en los valores de L* de 64.07 ± 0.66 a 36.23 ± 0.27 y b* de 38.7 ± 0.54 a 11.42 ± 0.07 , mientras que los valores de a* incrementaron (4.27 ± 0.03 a 10.79 ± 0.62). Los autores sugieren que el cambio de color podría estar relacionado con los diferentes niveles de adición de harina de cáscara de sésamo, así como por la presencia de pigmentos naturales en el sésamo y el contenido polifenoles (598.2 mg/100 materia seca), ya que existe mayor contenido de estos compuestos en la capa de estas semillas (Zouari *et al.*, 2016). Resultados similares son reportados para productos sustituidos con harina de bellota, donde el mayor valor de L* fue hallado en la muestra control; otros parámetros de color también fueron afectados, ya que el control tuvo valores de a* negativo, pero al adicionar harina de bellota hubo un cambio hacia a* positivo, lo cual indica predominio del rojo sobre el verde en el color del pan. En todos los casos el valor de b* fue positivo, lo que significa que el color amarillo es más intenso que el azul tanto en muestras de pan sustituidas con harina de bellota, así como para el control (Korus *et al.*, 2015).

Cuadro 3. Efectos del color en harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*.

Tratamiento	L*	a*	b*
Control	94.86 ± 0.58^a	-1.54 ± 0.24^a	22.62 ± 0.89^a
T1	93.05 ± 1.33^b	-1.21 ± 0.35^b	19.92 ± 1.15^b
T2	90.42 ± 1.48^c	-0.79 ± 0.35^c	18.03 ± 1.12^c
T3	89.02 ± 1.93^d	0.62 ± 0.18^d	14.67 ± 0.68^d
T4	87.92 ± 1.43^d	0.66 ± 0.31^d	13.33 ± 1.10^e
T5	84.50 ± 0.51^e	1.01 ± 0.13^d	12.64 ± 0.79^e
HP	83.03 ± 0.81^e	0.80 ± 0.27^d	10.81 ± 0.80^f

^{abcdef} Literales distintas por columna indican diferencias significativas (Método de Duncan $p < 0.05$).

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

3.2.3 Contenido de fenoles totales

En cuanto al contenido de fenoles totales todos los tratamientos mostraron diferencias significativas con respecto al control (0.69 ± 0.02 mg de AG/g de muestra), encontrándose mayor contenido de estos compuestos en harina de *Oxalis tuberosa* (2.54 ± 0.03 mg de AG/g de muestra), en comparación con los demás tratamientos, tal como se muestra en el Cuadro 4. Resultados similares fueron reportados por Nems *et al.* (2015) en un análisis de distintos tipos de papa, con contenidos de fenoles totales de 2.47 y 4.27 mg GA/g de muestra, siendo los tubérculos de variedad azul los que mostraron mayor contenido de estos compuestos. Asimismo, Kita *et al.* (2015) reportaron que cultivares de papa púrpura tienen mayor contenido de fenoles que la papa roja, siendo la variedad púrpura Vitelotte la que mostró altos valores de equivalentes de ácido gálico (1.35 mg AG/g de muestra), con respecto a las variedades Blaue Galler, Blue Congo y Blaue Elise (1.01, 0.96 y 0.84 mg AG/g de muestra respectivamente), mientras que entre las variedades de papa roja: Highland Burgundy Red y Herbie 26 son las que contienen altos niveles de fenoles totales (0.60 y 0.57 mg AG/g de muestra) en comparación con Rosalinde y Rote Emma (0.55 y 0.52 mg AG/g de muestra). La diferencia en el contenido total de fenoles entre estas variedades podría depender principalmente del año de cosecha, condiciones climáticas y factores que afectan a la planta de papa durante su crecimiento y maduración, tales como daños mecánicos, la acción de los rayos del sol, enfermedades o plagas, lo cual afecta directamente a los tubérculos (Rytel *et al.*, 2014).

Los resultados del contenido de fenoles totales (Cuadro 4) también mostraron que, al incorporar distintos porcentajes de harina de *Oxalis tuberosa*, la cantidad de compuestos fenólicos aumentó proporcionalmente, lo cual podría deberse a que este tubérculo contiene sustancias fitoquímicas como: los ácidos fenólicos, flavonas y antocianinas (Chirinos *et al.*, 2009). Un comportamiento similar fue reportado para harinas adicionadas con harina de jengibre, donde el contenido de compuestos fenólicos incrementó al aumentar la concentración de esta harina; observándose que, con niveles de 4.5% de harina de jengibre la cantidad de

compuestos fenólicos presentes fue mayor (0.427 ± 0.071 mg de AG/g de muestra) con respecto al control, el cual tuvo 0.143 ± 0.002 mg de AG/g de muestra (Ragaee *et al.*, 2006; Balestra *et al.*, 2011).

Cuadro 4. Contenido de fenoles totales en harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*.

Tratamiento	mg ácido gálico/g muestra seca
Control	0.69 ± 0.02^a
T1	0.75 ± 0.001^a
T2	0.93 ± 0.05^b
T3	1.16 ± 0.007^c
T4	1.35 ± 0.02^d
T5	1.47 ± 0.02^e
HP	2.54 ± 0.03^f

^{abcd} Literales distintas por columna indican diferencias significativas (Método de Duncan $p < 0.05$).

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

3.2.4 Capacidad antioxidante y EC_{50}

Para la evaluación de la actividad antioxidante, concentraciones de muestra de 0.1 a 0.30 g fueron utilizadas, con la finalidad de inhibir el 50% de radical de DPPH inicial. Los resultados obtenidos indicaron que T5 y harina de *Oxalis tuberosa*, mostraron alto porcentaje de inhibición del radical DPPH (51.14 y 57% respectivamente) tal como lo muestra la Figura 2. El incremento de la actividad antioxidante fue directamente proporcional a la concentración de harina de *Oxalis tuberosa* en cada tratamiento, y podría atribuirse a las propiedades anti-oxidativas que poseen los tubérculos del género *Oxalis tuberosa*, debido a la presencia de ácidos fenólicos, flavonas y antocianinas; estas últimas se localizan tanto en cáscara como en pulpa, son responsables de la coloración y contribuyen a la capacidad antioxidante (Chirinos *et al.*, 2009). Al determinar EC_{50} , los valores encontrados demostraron que 131.60 g de muestra/g de DPPH de harina de

Oxalis tuberosa, y 225.78 g muestra/g de DPPH para T5 son necesarios para alcanzar EC_{50} , estos resultados señalan que, harina de *Oxalis tuberosa* tiene mayor actividad antioxidante en comparación con T5, ya que existe una relación inversamente proporcional, es decir, cuanto mayor es el valor de EC_{50} , menor es la actividad antioxidante (Padilla *et al.*, 2008). Al expresar esta actividad en TEC_{50} pudo observarse que harina de *Oxalis tuberosa* logra el 50% de inhibición al minuto 10, mientras que para T5 fue entre 50 y 60 min. Stajcic *et al.* (2013), mencionan que el comportamiento cinético de los compuestos fenólicos con respecto al tiempo de acción pueden clasificarse en: rápidos (<5 min), intermedios (5-30 min) y lentos (> 30 min). De acuerdo a lo anterior podría decirse que harina de *Oxalis tuberosa* tiene compuestos antioxidantes con un tiempo de acción intermedia, sin embargo, al mezclar harina de *Oxalis tuberosa* con grits de maíz en diferentes proporciones, el tiempo de acción aumenta, lo cual indica que grits de maíz contiene antioxidantes de acción lenta, es importante mencionar que tanto la alta actividad antioxidante como el tiempo de reacción es atribuido a la acción conjunta de antioxidantes de muy variada reactividad, ya que cada componente polifenólico actúa de manera diferente sobre la capacidad antioxidante (Vergara-Valencia *et al.*, 2007).

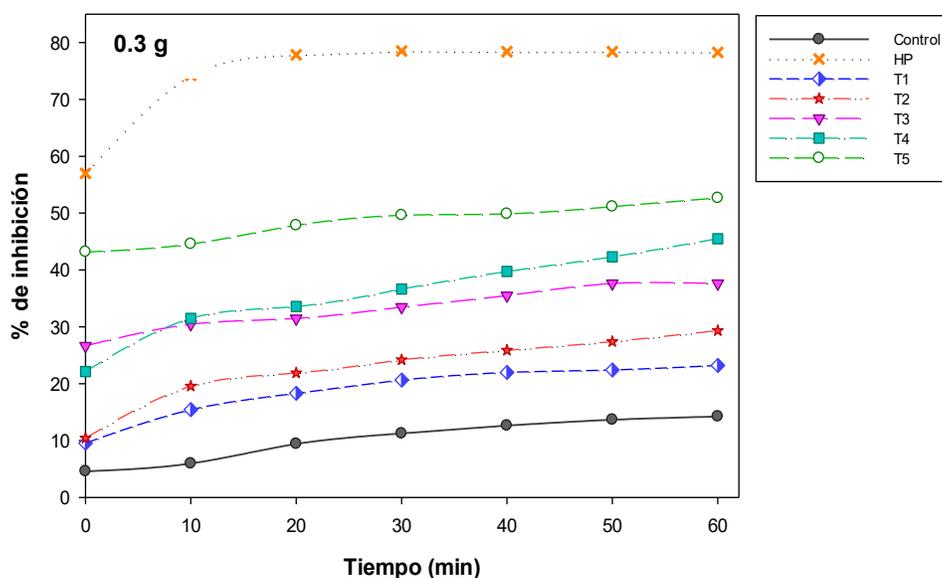


Figura 2. Comparación de la actividad antioxidante de harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*, mediante el ensayo de DPPH.

3.3 Propiedades mecánicas

3.3.1 Perfil de textura en masas

El cuadro 5 muestra los resultados APT, y en cuanto a dureza, los tratamientos T5 (3.53 ± 0.01 N) y HP (5.09 ± 0.01 N) mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) con respecto al control; observándose un incremento en el valor de este parámetro al aumentar la concentración de harina de *Oxalis tuberosa*. Tal comportamiento concuerda con un TPA realizado en masas para la elaboración de galletas, donde reportaron un aumento significativo en la dureza al incorporar harina de cáscara de sésamo en distintas proporciones, ya que al agregar hasta 40% de esta harina dio como resultado una mayor dureza, así como el incremento sobre la resistencia a la rotura de la masa (Zouari *et al.*, 2016). Este incremento pudo ser provocado por la sustitución de la harina por fibras provenientes de distintas fuentes, ya que estas cambian significativamente la capacidad de manipulación de la masa y comportamiento sobre los parámetros viscoelásticos de la misma, afectando propiedades mecánicas, lo cual depende estrechamente de la naturaleza de la fibra en la mezcla o del grado de sustitución de harina (Collar *et al.*, 2007).

Cuadro 5. Análisis de perfil de textura de masas elaboradas con grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*.

Tratamiento	Dureza (N)	Adhesividad (mJ)	Cohesividad (-)	Elasticidad (mm)
Control	2.84 ± 0.02^a	0.54 ± 0.37^a	0.19 ± 0.01^a	0.28 ± 0.03^a
T1	3.04 ± 0.02^{ab}	1.47 ± 0.61^{abc}	0.18 ± 0.01^a	0.27 ± 0.03^a
T2	3.23 ± 0.01^{ab}	1.67 ± 0.24^{abc}	0.21 ± 0.01^{ab}	0.28 ± 0.02^a
T3	3.23 ± 0.03^{ab}	2.19 ± 1.14^{bc}	0.21 ± 0.02^{ab}	0.34 ± 0.08^a
T4	3.33 ± 0.02^{ab}	2.45 ± 0.27^{bc}	0.23 ± 0.01^{bc}	0.35 ± 0.01^a
T5	3.53 ± 0.01^b	2.88 ± 0.17^c	0.25 ± 0.01^c	0.36 ± 0.08^a
HP	5.09 ± 0.01^c	1.07 ± 0.78^{ab}	0.33 ± 0.02^d	0.34 ± 0.04^a

^{abcd} Literales distintas por columna indican diferencias significativas (Método de Duncan $p < 0.05$).

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

En los resultados de adhesividad (Cuadro 5), algunos tratamientos presentaron diferencias significativas con respecto al control (0.54 ± 0.37 mJ), y los datos obtenidos determinan que la adhesividad es directamente proporcional a la concentración de harina de *Oxalis tuberosa*. En un estudio realizado sobre masas adicionadas con harina de linaza, en proporciones de 0 hasta 15%, reportaron que la pegajosidad de la masa incrementó al adicionar esta harina, lo cual está directamente relacionado con la absorción de agua (Marpalle *et al.*, 2014). El aumento de la adhesividad también es causado por el incremento de almidón, derivado de la sustitución por *Oxalis tuberosa*, ya que la adhesión es una propiedad fuertemente relacionada con las características estructurales de la fracción de almidón, en particular por el estado de agregación de la amilosa (Brunnschweiler *et al.*, 2006).

Los resultados de cohesividad mostrados en el Cuadro 5, indican que los tratamientos T4 (0.23 ± 0.01), T5 (0.25 ± 0.01) y HP (0.33 ± 0.02) muestran diferencias significativas con respecto al control (0.19 ± 0.01), y de acuerdo a lo reportado por Kaur *et al.* (2005), esto podría atribuirse a un mayor grado de polimerización en amilosa, dando como resultado un gel relativamente débil con tendencia hacia una textura gomosa y cohesiva, así como mayor lixiviación de gránulos de la fracción de amilosa o tipo de almidón; otro de los factores que afecta la adhesividad es el aumento de absorción de agua, obteniéndose masas más cohesivas, con estructura interna resistente a las altas fuerzas de estrés (Collar *et al.*, 2007). Para los resultados de elasticidad (Cuadro 5), no existieron diferencias significativas con respecto al control (0.28 ± 0.03 mm). Sin embargo, la elasticidad aumentó en función de la concentración de harina de *Oxalis tuberosa*, ocasionado por el incremento de la capacidad de hidratación del material debido a la mayor concentración de almidón, ya que este polisacárido es la principal fuente de carbohidratos del tubérculo. Según lo reportado por Witczak *et al.* (2012), la capacidad de hidratación es el factor más importante para el incremento de la elasticidad, y depende del tamaño de partícula, cantidad de almidón dañado que pudiera existir como resultado de la trituration, contenido proteico, así como los

cambios en la unión del agua; los cuales conducen a cambios estructurales en la masa debido a la hidratación del almidón.

3.3.2 Adhesividad Hosene y de masas

En la mayoría de los sistemas alimentarios, las fuerzas de adhesión son la combinación de una fuerza adhesiva y cohesiva, por lo que si la fuerza adhesiva es mayor que la cohesiva se conoce como un estado pegajoso (Rodríguez *et al.*, 2005). Al adicionar harina de *Oxalis tuberosa* también afecto las propiedades de adhesividad (Cuadro 6); encontrándose diferencias significativas en todos los tratamientos con respecto al control (22.80 ± 3.28), solo para la fuerza de adhesividad. No obstante, ambos parámetros disminuyeron al incrementar la concentración de harina de *Oxalis tuberosa*, lo cual implica menor adherencia de la masa sobre la superficie de los equipos de procesamiento, facilitando así su maleabilidad. Esto es un aspecto deseable ya que reduce el tiempo de residencia de la materia prima en el equipo, disminuyendo así costos de producción además de no afectar las reacciones de caramelización durante el proceso y consecuentemente las propiedades de color (Güemes *et al.*, 2009).

Cuadro 6. Efectos de la fuerza de adhesividad y adhesividad de masas elaboradas con grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*.

Tratamiento	Fuerza de adhesividad (g)	Adhesividad (mJ)
Control	22.80 ± 3.28^a	0.08 ± 0.02^a
T1	10.30 ± 2.92^b	0.06 ± 0.03^a
T2	7.93 ± 2.72^b	0.04 ± 0.01^a
T3	5.55 ± 0.50^b	0.03 ± 0.02^a
T4	4.55 ± 0.87^b	0.04 ± 0.01^a
T5	4.05 ± 0.29^b	0.03 ± 0.01^a
HP	8.68 ± 0.85^b	0.10 ± 0.04^a

^{ab} Literales distintas indican diferencias significativas (Método de Duncan $p < 0.05$).

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

3.4 Correlación entre dureza, color, fenoles totales y actividad antioxidante de harinas compuestas por grits de maíz y *Oxalis tuberosa*

Los coeficientes de correlación hallados entre los análisis físicos y químicos aparecen en el Cuadro 7, mostrando una alta correlación entre dureza ($r = 0.971$), fenoles totales y actividad antioxidante ($r = 0.974$ y $r = 0.928$ respectivamente), es decir que, existe una relación directa entre estos parámetros. Al analizar dos genotipos de sorgo, Luthria & Liu (2013) informaron que la concentración y el tipo de compuestos fenólicos extraídos de las cáscaras eran significativamente más altos que los encontrados en las partes comestibles del grano, e indicaron que los ácidos fenólicos tienen la capacidad de influir en ciertas propiedades organolépticas, entre ellas: sabor, astringencia y dureza (Kita *et al.*, 2013). En este sentido, Rytel *et al.* (2014) mencionan que los compuestos fenólicos no están distribuidos uniformemente en frutas, verduras y granos, encontrándose en mayor cantidad en la piel, justo debajo de su superficie. También explicaron que los polifenoles presentes en las plantas no solo participan en su reproducción y crecimiento, sino que también influyen sobre cualidades sensoriales, como la textura. Por otra parte, hubo una correlación negativa entre luminosidad (L^*), fenoles totales y actividad antioxidante ($r = -0.910$, $r = -0.898$ y $r = -0.962$, respectivamente), esto implica una relación inversamente proporcional, es decir, que a mayor contenido de fenoles totales L^* es menor.

A partir de estos resultados, podría decirse que la capacidad antioxidante de harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* está altamente correlacionada con el contenido fenoles ($r = 0.981$), siendo los compuestos fenólicos del tubérculo de *Oxalis tuberosa*, los responsables de dicho comportamiento (Chirinos *et al.*, 2009). Los resultados concuerdan con un estudio realizado por Kita *et al.* (2013) donde reportaron alta actividad antioxidante en papas moradas y rojas; mientras que variedades con menor concentración de fenoles mostraron un bajo potencial antioxidante.

Cuadro 7. Correlación entre dureza, color, fenoles totales y actividad antioxidante de harinas compuestas por grits de maíz y harina *Oxalis tuberosa*.

Variables	Dureza	Adhesividad	Cohesividad	Elasticidad	Fuerza de cohesividad	Adhesividad	L	a*	b*	Fenoles totales	Actividad antioxidante
Dureza	1										
Adhesividad	-0.093	1									
Cohesividad	0.971	0.040	1								
Elasticidad	0.474	0.674	0.622	1							
Fuerza de cohesividad	-0.315	-0.794	-0.333	-0.564	1						
Adhesividad	0.333	-0.895	0.273	-0.331	0.772	1					
L	-0.812	-0.484	-0.890	-0.833	0.658	0.177	1				
a*	0.581	0.687	0.692	0.969	-0.711	-0.395	-0.910	1			
b*	-0.742	-0.573	-0.817	-0.892	0.743	0.292	0.967	-0.965	1		
Polifenoles totales	0.974	0.079	0.989	0.659	-0.395	0.221	-0.898	0.736	-0.855	1	
Actividad antioxidante	0.928	0.268	0.963	0.748	-0.547	0.037	-0.962	0.832	-0.932	0.981	1

Los valores en negrita son diferentes a 0 con un nivel de significación ($\alpha = 0.05$)

IV. CONCLUSIONES

Mediante este estudio pudo observarse que gránulos de grits de maíz presentaron forma poliédrica, hallando 3 fracciones distintas de gránulo, mientras que gránulos de harina de *Oxalis tuberosa* mostraron 2 fracciones, de forma elíptica, dicha diferencia entre formas y tamaños podría atribuirse a la fuente de obtención de la harina. Para el análisis de color existieron variaciones lo cual está en función del porcentaje de sustitución, notando una disminución de luminosidad y amarillez al incrementar la concentración de harina de *Oxalis tuberosa*, así como el incremento de enrojecimiento. Sin embargo, los resultados de actividad antioxidante indicaron que, al agregar harina de *Oxalis tuberosa* es posible obtener harinas compuestas con buenas propiedades antioxidantes, y que al incrementar el porcentaje de sustitución existe un aumento en el porcentaje de inhibición del radical DPPH (valores menores de EC_{50}), lo cual está directamente relacionado con el contenido de fenoles, ya que a altas concentraciones de estos compuestos mayor es la actividad antioxidante.

En cuanto al perfil de textura en masas, los parámetros de dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad aumentaron al incrementar el grado de sustitución. A su vez adhesividad y la fuerza de adhesividad disminuyeron en función de la concentración de harina de *Oxalis tuberosa*, siendo este un aspecto deseable para los procesos de manufactura. Es importante conocer como la adición de otros ingredientes afecta características físicas y funcionales de las harinas, debido a que estos atributos son importantes para predecir el comportamiento de la materia prima durante la manufactura así como calidad del producto terminado, permitiendo el diseño de nuevas tecnologías de proceso.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AOAC International (2002). Official methods of analysis of AOAC International. Arlington, Virginia: AOAC.
2. Balestra, F., Cocci, E., Pinnavaia, G., Romani, S. (2011). Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 700-705.
3. Brunnschweiler, J., Mang, D., Farah, Z., Escher, F., Conde, P.B. (2006). Structure-texture relationships of fresh pastes prepared from different yam (*Dioscorea* spp.) varieties. *LWT-Food Science and Technology*, 39, 762-769.
4. Cerón, A.F., Hurtado, A., Osorio, O., Buchely, M. (2011). Study of the formulation the potato flour from parda pastusa variety (*Solanum tuberosum*) as partial substitute of wheat flour in bakery. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9, 105-111.
5. Chirinos, R., Betalleluz, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R., Campos, D. (2009). HPLC-DAD Characterization of phenolic compounds from Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 113, 1243-1251.
6. Collar, C., Santos, E., Rosell, C.M. (2007). Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 78, 820-826.
7. Condori, B., Mamani, P., Botello, R., Patiño, F., Devaux, A., Ledent, J.F. (2008). Agrophysiological characterisation and parametrisation of Andean tubers: Potato (*Solanum* sp.), oca (*Oxalis tuberosa*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*) and papa lisa (*Ullucus tuberosus*). *European Journal of Agronomy*, 28, 526-540.
8. García, A., Pérez, E., Dávila, R. (2012). Características físicas, químicas y funcionales de las harinas obtenidas por secado del ñame, ocumo y mapuey. *Agronomía Tropical*, 62, 51-67.

9. Güemes, V.N., Totosaus, A., Hernández, J.F., Soto, S.S., Aquino, B.E.N. (2009). Texture properties of dough and sweet bread “Concha” type fortified with milk whey protein. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29, 70-75.
10. Güemes-Vera, N., González-Victoriano, L., Soto-Simental, S., Hernández-Chavez, J.F., Reyes-Santamaria, M.I. (2014). Mechanical properties of cottage cheese-fortified wheat dough and loaf bread. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 2797-2802.
11. Güemes, V.N., Espino, M.S.O., Hernández, H.H.M. (2018). Use of Oxalis tuberosa in gluten-free baked goods manufacture. En *Alternative and Replacement Foods*. Elsevier (Edit). United State of America: pp. 167-175.
12. Hirth, M., Leiter, A., Beck, S.M., Schuchmann, H.P. (2014). Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch based food. *Journal of Food Engineering*, 125, 139-146.
13. Isidro, S.M.A., Assaid, S.A., Rezende, M.T., Aparecida, S.A., Duarte, C.A. (2016). Efeito de diferentes métodos de extração sobre a atividade antioxidante e o perfil de compostos fenólicos da folha de mandioca. *Brazilian Journal of Food Technology*, 19, 6715-6723.
14. Jiménez-Hernández, J., Salazar-Montoya, J.A., Ramos-Ramirez, E.G. (2007). Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers*, 68, 679-686.
15. Juneja, A., Kumar, D., Singh, V. (2017). Germ soak water as nutrient source to improve fermentation of corn grits from modified corn dry grind process. *Bioresources and Bioprocessing*, 4, 38.
16. Kaur, L., Singh, J., Singh, N. (2005). Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches. *Food Hydrocolloids*, 19, 839-849.
17. Kim, M.K., Lee, J.M., Do, J.S., Bang, W.S. (2015). Antioxidant activities and quality characteristics of Omija (*Schizandra chinensis* Baillon) cookies. *Food Science and Biotechnology*, 24, 931-937.

18. Kita, A., Bakowska-Barczak, A., Hamouz, K., Kulakowska, K., Lisinskaa, G. (2013). The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 32, 169-175.
19. Kita, A., Bakowska-Barczak, A., Lisinska, G., Hamouz, K., Kulakowska, K. (2015). Antioxidant activity and quality of red and purple flesh potato chips. *LWT-Food Science and Technology*, 62, 525-531.
20. Korus, J., Witczak, M., Ziobro, R., Juszczak, L. (2015). The influence of a corn flour on rheological properties of gluten-free dough and physical characteristics of the bread. *European Food Research and Technology*, 240, 1135-1143.
21. Lan, X., Li, Y., Xie, S., Wang, Z. (2015). Ultrastructure of underutilized tuber starches and its relation to physicochemical properties. *Food Chemistry*, 188, 632-640.
22. Luthria, D.L., Liu, K. (2013). Localization of phenolic acids and antioxidant activity in sorghum kernels. *Journal of Functional Foods*, 5, 1751-1760.
23. Marpalle, P., Sonawane, S.K., Subhash, A.S. (2014). Effect of flaxseed flour addition on physico-chemical and sensory properties of functional bread. *LWT-Food Science and Technology*, 58, 614-619.
24. Mosso, A.L., Lobo, M.O., Samman, N.C. (2016). Development of a potentially probiotic food through fermentation of Andean tubers. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 184-189.
25. Muñoz, L.A., Pedreschi, F., Leiva, A., Aguilera, J.M. (2015). Loss of birefringence and swelling behavior in native starch granules: Microstructural and termal properties. *Journal of Food Engineering*, 152, 65-71.
26. Nems, A., Peksa, A., Kucharska, A.Z., Sokoł, L.A., Kita, A., Drozd, W., Hamouz, K. (2015). Anthocyanin and antioxidant activity of snacks with coloured potato. *Food Chemistry*, 172, 175-182.
27. NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o

- semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba. Secretaria de Salud. Estados Unidos Mexicanos, 2 de junio 2008.
28. Ondo, S.E., Ryu, G.H. (2013). Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn meal with natural cocoa powder. *Food Science and Biotechnology*, 22, 167-175.
29. Padilla, F.C., Rincón, A.M., Bou, R.L. (2008). Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 58, 303-308.
30. Palomino, G.L.R., Del Bianchi, V.L. (2015). Antioxidant capacity of residues of coffee industry. *Brazilian Journal of Food Technology*, 18, 307-313.
31. Protonotariou, S., Drakos, A., Evageliou, V., Ritzoulis, C., Mandala, I. (2014). Sieving fractionation and jet mill micronization affect the functional properties of wheat flour. *Journal of Food Engineering*, 134, 24-29.
32. Ragaei, S., Abdel-Aal, E.S.M., Noaman, M. (2006). Antioxidant activity and nutrient composition of selected cereals for food use. *Food Chemistry*, 98, 32-38.
33. Rodríguez, E., Fernández, Q.A., Ayala, P.A. (2005). Rheology and texture of doughs: applications on wheat and corn. *Revista ingeniería e investigación*, 57, 72-78.
34. Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I.I., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C.E., Delgado-Licon, E., Vivar-Vera, M.A. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 673-680.
35. Rytel, E., Tajner, C.A., Kita, A., Aniołowska, M., Kucharska, A.Z., Sokoł, L.A., Hamouz, K. (2014). Content of polyphenols in coloured and yellow fleshed potatoes during dices processing. *Food Chemistry*, 161, 224-229.
36. Stajčić, S.M., Četković, G.S., Djilas, S.M., Čanadanović-Brunet, J.M. (2013). Kinetic study of the DPPH antiradical activity of lipophilic tomato waste extracts. *Acta Periodica Technologica*, 44, 1-312.

37. Stasiak, M., Molenda, M., Opaliński, I., Błaszczak, W. (2013). Mechanical properties of native maize, wheat, and potato starches. *Czech Journal of Food Sciences*, 31, 347-354.
38. Valcárcel-Yamani, B., Rondán-Sanabria, G.G., Finardi-Filfo, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49, 453-464.
39. Vergara-Valencia, N., Granados-Pérez, E., Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Ruales, J., Bello-Pérez, L.A. (2007). Fibre concentrate from mango fruit: Characterization associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. *LWT-Food Science and Technology*, 40, 722-729.
40. Witczak, M., Juszcak, L., Ziobro, R., Korus, J. (2012). Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: Rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids*, 28, 353-360.
41. Zouari, R., Besbes, S., Ellouze, C.S., Ghribi, A.D. (2016). Cookies from composite wheat–sesame peels flours: Dough quality and effect of *Bacillus subtilis* SPB1 biosurfactant addition. *Food Chemistry*, 194, 758-769.



Capítulo 3

Actividad antioxidante y características físico-químicas de
botanas extrudidas elaboradas a partir de harinas
compuestas por gríts de maíz y harina *Oxalis tuberosa*

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar las propiedades fisicoquímicas y funcionales de botanas extrudidas elaboradas a partir de harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* en relaciones de: T1 (90:10), T2 (80:20), T3 (70:30), T4 (60:40) y T5 (50:50%) respectivamente. Los resultados obtenidos indicaron que la inclusión de la harina de papa alteró parámetros como el índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua, índice de expansión y la fracturabilidad de las botanas, lo cual está directamente relacionado con el grado de sustitución. El análisis de color mostró variaciones en función de la concentración de harina de *Oxalis tuberosa*, reduciendo la luminosidad en las botanas de 44.37 ± 0.87 a 25.06 ± 1.74 . De manera similar, las botanas adicionadas con harina de *Oxalis tuberosa* presentaron mayor contenido de fenoles totales con respecto al control (0.44 ± 0.02 y 1.20 ± 0.03 mg AG/g muestra seca para control y T5, respectivamente); así como un incremento en la actividad antioxidante, la cual se determinó mediante ensayos DPPH, ABTS y FRAP (45,44%, 532,83 y 412,57 $\mu\text{mol Trolox / g MS}$, para T5, respectivamente). El perfil electroforético e imágenes obtenidas por microscopia de fluorescencia proporcionaron información acerca del contenido proteico del producto final, siendo el tratamiento sustituido con 10% de harina de *Oxalis tuberosa* el que mostró mayor contenido de proteínas (7.78 g/100g). A partir de este estudio, se podría concluir que al adicionar harina de *Oxalis tuberosa* es posible desarrollar botanas con características físicas aceptables y buenas propiedades funcionales.

Palabras clave: Harinas compuestas, Extrusión, Botanas funcionales, Actividad antioxidante, Electroforesis

I. INTRODUCCION

Las botanas son uno de los alimentos más populares, ya que son del agrado de un alto porcentaje de consumidores, se ingieren entre comidas regulares e incluyen una variedad de productos de diversas texturas. En este grupo de alimentos, los productos extrudidos juegan un papel importante debido a su alta estabilidad y durabilidad (Hirth *et al.*, 2014; Kolniak-Ostek *et al.*, 2017). Y uno de los procesos industriales más comunes para obtener dichos alimentos es la extrusión, la cual se ha convertido en un proceso muy importante en la fabricación de botanas debido a su facilidad de operación y capacidad para producir una variedad de tamaños, formas y texturas (Chalermchaiwat *et al.*, 2015). No obstante, la calidad de esta botanas puede verse afectada por algunos factores, como la concentración y el tipo de ingredientes incorporados en su formulación (Day & Swanson, 2013; Rodríguez-Vidal *et al.*, 2016). Generalmente los cereales son los ingredientes más utilizados en los procesos de extrusión debido su capacidad de proporcionar textura, estructura, volumen y otras características de calidad deseadas en el producto final (Seth *et al.*, 2015). Sin embargo, estudios previos han demostrado que las raíces y tubérculos proporcionan una gran cantidad de almidón, por lo que el desarrollo de productos compuestos mediante la mezcla de almidón de diferentes fuentes como el maíz y la mandioca en combinación con otras materias primas ha sido una alternativa para la elaboración de alimentos con buenas características físico-químicas, sensoriales y nutricionales (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

La *Oxalis tuberosa* es un tubérculo considerado como fuente de carbohidratos, también presenta propiedades antibacterianas y antifúngicas producidas por su proteína (ocatin) y ofrecen un amplio perfil antioxidante (Chirinos *et al.*, 2009). Comúnmente se cultiva para el consumo humano y es ingerido en diferentes formas; frescas, hervidas, fritas, cocidas al horno, estofadas, sopas, comidas obtenidas después de la deshidratación, entre otros (Dubois *et al.*, 2007). Existen algunos estudios sobre el valor nutricional de *Oxalis tuberosa*, los cuales indican que este tubérculo podría ser una alternativa para el uso en la industria de

alimentos (Condori *et al.*, 2008). Por lo que, el objetivo del presente estudio fue investigar la idoneidad de mezclar grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* para la elaboración de botanas extrudidas, así como evaluar características fisicoquímicas y propiedades funcionales del producto final.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia prima

Tubérculos de *Oxalis tuberosa* y grits de maíz (*Zea mays*) fueron adquiridos en la ciudad de Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México (20°05'09"N y 98°21'48"O). Para la elaboración de harina de *Oxalis tuberosa*, los tubérculos cortados en rodajas de 2 a 3 mm se deshidrataron en un horno de secado (Muebles Inoxidables Luckie SA, CDMX, México) a una temperatura promedio de 55°C durante 6 h. Seguido de una trituración y tamizado con una malla cuadrada de 425 µm, para homogeneizar el tamaño de partícula.

2.2 Elaboración de botanas por extrusión

Previo a la elaboración de botanas se formularon 5 mezclas a partir de grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* (Cuadro 1); las cuales fueron hidratadas con agua destilada, hasta obtener un contenido de humedad de 30 a 35%; finalmente fueron empacadas en bolsas herméticas y refrigeradas por 12 h para equilibrar la distribución de agua. Posteriormente el proceso de extrusión se llevo a cabo en un extrusor de doble tornillo (PRISM USALAB 16 Thermo, Electron Corporation, Newington, NH, USA); con diámetro del cilindro y su relación longitud/diámetro (L/D) de 16 mm y 25:1, respectivamente; equipado con 6 zonas de temperatura en el cilindro y una matriz de 3 mm, funcionando a una velocidad de tornillo de 130 rpm, con una velocidad de alimentación de 28 g/min. Las temperaturas de extrusión utilizadas para tratamientos (T1, T2, T3, T4 y T5) y control fueron de: 98-102, 135-130 y 100-90°C; y para harina *Oxalis tuberosa* de 85-100, 115-110 y 93-82°C. Una vez finalizado el proceso, los extrudidos se dejaron secar a temperatura ambiente durante 48 h.

Cuadro 1. Formulación de mezclas para la elaboración de botanas.

Tratamiento	Formulación (%)	
	Harina de <i>Oxalis tuberosa</i>	Grits de maíz
Control	0	100
T1	10	90
T2	20	80
T3	30	70
T4	40	60
T5	50	50
HP	100	0

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

2.3 Caracterización físico-química y actividad antioxidante de botanas extrudidas

2.3.1 Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua

La determinación del índice de absorción de agua (IAA) se realizó de acuerdo a la técnica descrita por Peksa *et al.* (2016) con algunas modificaciones: un gramo de muestra previamente molida, fue disuelta en 10 mL de agua destilada, enseguida la mezcla obtenida estuvo en agitación constante sobre un vórtex durante 30 min, y centrifugada a 1500 rpm por 15 min. Los resultados fueron obtenidos a partir del incremento en el peso final del sedimento. El índice de solubilidad de agua (ISA), pudo determinarse usando la parte líquida decantada obtenida en el IAA, tras colocar el líquido en una charola de aluminio y llevarlo a evaporación en una estufa a 100°C durante 24 h; el ISA fue el resultado del peso de los sólidos secos presentes en el sobrenadante expresado en porcentaje del peso original de la muestra (Fiorda *et al.*, 2015).

2.3.2 Índice de expansión

El cálculo de índice de expansión de botanas, consistió en dividir el diámetro del producto y el diámetro de la matriz usada. La medición de ambos diámetros fue con un vernier digital (Marca Fowler, modelo 0-6-0-150, México), tomando la media de 10 réplicas como resultado (Philipp *et al.*, 2017).

2.3.3 Pruebas de fractura

La fuerza máxima de ruptura por compresión del producto fue determinado en una máquina universal para pruebas mecánicas (Universal Testing System, Instron modelo 4411). Cada extrudido de 5 cm de longitud se colocó horizontalmente en el plato de metal y fue comprimido a una velocidad de ensayo de 10 mm/min con una sonda de compresión de 8 mm de diámetro, usando una celda de carga de 4900 N (Pérez-Navarrete *et al.*, 2006).

2.3.4 Análisis de color

Los parámetros de color en botanas fueron evaluados con un colorímetro (Minolta, CM-508D, Osaka, Japón), obteniendo resultados en coordenadas CIEL*a* b*, las cuales definen el color en un espacio tridimensional. L* indica luminosidad tomando valores de 0-100; a* y b* son las coordenadas cromáticas, coordenadas verde-rojo y azul-amarillo, respectivamente (Peksa *et al.*, 2016).

2.3.5 Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El análisis de DSC en harinas y botanas, fue de acuerdo a la técnica descrita por Moreira *et al.* (2015), con las siguientes modificaciones: en una canastilla de aluminio se colocó una pequeña cantidad de muestra previamente molida (15-30 mg). Las propiedades térmicas de las muestras fueron analizadas con un calorímetro diferencial de barrido (Star System DSC1, Mettler Toledo Ltd., Victoria, Australia), el ensayo consistió en equilibrar la muestra a 30°C y enseguida calentar hasta 250°C, a una velocidad de calentamiento constante de 10°C/min. Temperaturas de inicio, máxima y final, así como los cambios asociados con las transiciones térmicas fueron determinadas a partir de una curva endotérmica.

2.3.6 Cuantificación de fenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu

Los extractos se obtuvieron pesando de 0.025 a 0.2 g de muestra seca, las cuales tras diluirse en 10 mL de agua destilada, fueron sometidas a agitación en vórtex durante 1 min y centrifugadas a 4000 rpm durante 10 min. La cuantificación del contenido de fenoles totales de los extractos fue mediante la técnica colorimétrica de Folin Ciocalteu, de acuerdo a lo descrito por Ondo & Ryu (2013). Alícuotas de 1.58 mL, se oxidaron con el reactivo de Folin-Ciocalteu, después de 8 min la reacción fue neutralizada con carbonato de sodio al 20%, para calentarla durante 15 min a 50°C. Finalmente la absorbancia fue leída a 765 nm frente a un blanco, expresando los resultados como mg de ácido gálico por g de muestra seca (MS).

2.3.7 Evaluación de la actividad antioxidante

La actividad antioxidante fue determinada por la capacidad de barrido de radicales libres DPPH y ABTS. Los extractos para la técnica de DPPH se obtuvieron diluyendo diferentes niveles de muestra (0.1, 0.15, 0.2 y 0.3 g), en 1.5 mL de agua destilada, seguido de centrifugación a 3000 rpm durante 10 min. Para ABTS y FRAP, los extractos fueron obtenidos a partir de 0.1 g de muestra. En el caso de DPPH, tras hacer reaccionar 0.5 mL de extracto con 1.95 mL de solución de metanol DPPH (0.1 mM), fue trazada una cinética de reacción leyendo la absorbancia cada 10 min, durante 1 h a 517 nm (Balestra *et al.*, 2011). Los resultados son expresados en porcentaje de inhibición.

El radical libre ABTS pudo obtenerse siguiendo la técnica descrita por Rotta *et al.* (2017). Una vez generado el radical, prosiguió el ensayo como lo describe Oyeyinka *et al.* (2017): diluyendo 50 µL de extracto con 1450 µL de ABTS, se dejó reaccionar en ausencia de luz a temperatura ambiente durante 30 min, para finalmente leer la absorbancia a 732 nm. La prueba de FRAP está basada en el poder reductor de un antioxidante que reduce el ion férrico (Fe^{3+}) al ion ferroso (Fe^{2+}); previo al ensayo el reactivo de FRAP fue preparado tal como lo indica Safdar *et al.* (2017). El análisis se realizó de acuerdo a lo descrito por Rotta *et al.* (2017), una alícuota de extracto de 100 µL es mezclada con 300 µL de agua

destilada y 3 mL del reactivo FRAP, después de 30 min la absorbancia fue medida a 593 nm. Los resultados de ABTS y FRAP son expresados en términos de μmol de Trolox por g de muestra seca.

2.3.8 Microscopia de fluorescencia

El análisis de microestructura fue de acuerdo a la técnica descrita por Peighambardoust & Dadpour (2010) como sigue: muestras de botanas previamente molidas se dispersaron sobre un portaobjetos, enseguida fueron teñidas con fluoresceína sódica y rodamina B (solución al 10%); el exceso de los marcadores fluorescentes fue evaporado al colocar los portaobjetos en un horno de secado Riossa modelo H-33 a 50°C durante 15 min. Posteriormente, las muestras teñidas se visualizaron en un microscopio de fluorescencia (Nikon Eclipse Ti-U, Japón) con emisores de luz fluorescente, acoplado a una cámara digital y un disco de filtro de 3 posiciones RGB rojo, verde y azul. La observación de la interacción proteínas-carbohidratos fue mediante RGB de rojo-verde, utilizando el objetivo 10X. Para la cuantificación de proteínas y carbohidratos, fueron seleccionadas 15 imágenes con alta fluorescencia, de las cuales solamente una región de interés de 80x80 μm fue tomada. Posteriormente, convirtiendo a escala de grises estas regiones, pudieron determinarse los valores de fluorescencia tanto de proteínas, como de carbohidratos, la media de estos valores se obtuvo a partir de un histograma elaborado con el software ImageJ v.1.42q (Bethesda, USA).

2.3.9 Electroforesis con dodecil sulfato de sodio y poliacrilamida (SDS-PAGE)

El análisis de SDS-PAGE fue realizado según lo descrito por Mena *et al.* (2011), con algunas modificaciones: a partir de las muestras secas y previamente molidas se llevo a cabo la extracción de proteínas con un tampón de muestra (Tris-HCl pH 6.8, SDS 2% y azul de bromofenol 0.03%). Seguido de la separación de proteínas mediante un sistema de gel vertical Mini-Protean 3 (Bio-Rad Laboratories, Inc., Hercules, CA, USA); utilizando un gel de poliacrilamida al 8%, a 120 V durante 1 h.

Después de la electroforesis, el gel fue teñido con azul de Coomassie durante 12 h, transcurrido este tiempo se destiño con ácido acético al 7% y etanol al 30% en una solución de agua destilada. Los pesos moleculares fueron estimados usando marcadores de peso molecular de amplio rango.

2.4 Análisis químico proximal de botanas

De las formulaciones seleccionadas, mediante los procedimientos de la AOAC, (2002) se determinó el porcentaje de humedad (método 925.10), grasas (método 920.39), cenizas (método 923.03), fibra total (985.29) y nitrógeno (método 920.87). La proteína fue calculada a partir del contenido de nitrógeno usando un factor de conversión de 6.25, mientras que, los carbohidratos se determinaron por diferencia.

2.5 Análisis estadístico

El efecto de mezclar harina de *Oxalis tuberosa* con grits de maíz, sobre las propiedades físico-químicas de una botana extrudida fue determinado mediante un análisis de varianza, y los resultados son expresados como media \pm desviación estándar. Para conocer la diferencia entre tratamientos se llevó a cabo la comparación de medias de Tukey al nivel de significancia ($p < 0.05$) con el paquete estadístico (NCSS 10 Data Analysis, USA). Todos los experimentos fueron realizados por triplicado (Mosso *et al.*, 2016).

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Selección de las mejores formulaciones

Mediante pruebas físicas, se analizaron botanas elaboradas con distintas concentraciones de harina de *Oxalis tuberosa* y grits de maíz, encontrándose un aumento en ISA, IE y fracturabilidad de botanas. Sin embargo, los valores de IAA disminuyeron, Ramírez-Jiménez *et al.* (2018) indicaron que, la retención de agua es una característica importante para predecir las propiedades de textura del producto final. En cuanto al análisis de color existió disminución de L* mostrando

que botanas con mayor porcentaje de harina de *Oxalis tuberosa* ($T5=25.06\pm 1.74$) presentaron un color más oscuro en comparación con el control (44.37 ± 0.87). El contenido de fenoles totales y actividad antioxidante también fueron evaluados, notando que a mayor concentración de harina de *Oxalis tuberosa* existe un incremento de compuestos fenólicos, y de la capacidad antioxidante en los distintos tratamientos con respecto al control, observándose que botanas sustituidas hasta con 50% de harina de *Oxalis tuberosa* presentaron alta actividad antioxidante. Basado en lo anterior y para simplificar ensayos posteriores como el análisis químico proximal, DSC, perfil de proteínas y microscopía de epifluorescencia, pudo concluirse que T1 y T5 fueron los mejores tratamientos, debido a que T1 no mostró diferencias significativas con respecto al control en términos de características físicas. Mientras que, T5 tuvo mayor contenido de fenoles totales y alta actividad antioxidante, en comparación con los demás tratamientos.

3.2 Características físico-químicas y propiedades antioxidantes de botanas

3.2.1 Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua

El ISA e IAA son parámetros que muestran la magnitud de la interacción entre las cadenas de almidón dentro de las secciones amorfas y cristalinas, estas interacciones son afectadas por la relación amilosa/amilopectina y por las características de la amilosa y amilopectina, en términos de peso/distribución, grado y longitud de ramificación o conformación (Moisio *et al.*, 2015). Sin embargo, la transformación del almidón durante la extrusión también puede afectar tanto el IAA como el ISA, grado de expansión, densidad del producto y la estructura o textura (Peksa *et al.*, 2016). Los datos mostrados en el Cuadro 2 indican que para el IAA no existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al control (3.40 ± 0.22), observándose una relación inversamente proporcional a la concentración de harina de *Oxalis tuberosa*. Resultados similares fueron reportados por Cruz-Tirado *et al.* (2017), quienes desarrollaron películas a base de almidón de *Oxalis tuberosa* adicionados con fibra, los autores informaron que, la adición de fibra a concentraciones $>20\%$, condujo a la disminución de la

capacidad de absorción de agua, y mencionan que una alta concentración de fibra disminuye el contenido de almidón en la mezcla, obteniendo así una estructura más compacta de mayor densidad y menor capacidad de absorción de agua. Este comportamiento también podría deberse al mayor contenido de polisacáridos solubles liberados de las cadenas del polímero de almidón después del proceso de extrusión, ya que el número de grupos hidroxilo disponible para formar enlaces de hidrógeno con el agua depende del grado de gelatinización, afectando la disminución o aumento de los valores de IAA (Becker *et al.*, 2014; Peksa *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de expansión en botanas extrudidas.

Tratamiento	IAA	ISA (%)	Exp (mm)
Control	3.40 ± 0.22 ^a	6.18 ± 0.30 ^a	3.02 ± 0.04 ^a
T1	3.34 ± 0.21 ^a	7.43 ± 0.54 ^b	3.07 ± 0.05 ^{ab}
T2	3.22 ± 0.14 ^a	8.77 ± 0.13 ^c	3.11 ± 0.07 ^{ab}
T3	3.22 ± 0.14 ^a	9.32 ± 0.42 ^c	3.14 ± 0.20 ^{ab}
T4	3.11 ± 0.51 ^a	11.11 ± 0.53 ^d	3.21 ± 0.16 ^{ab}
T5	3.04 ± 0.18 ^a	13.03 ± 0.11 ^e	3.18 ± 0.19 ^b
HP	3.28 ± 0.19 ^a	20.19 ± 0.72 ^f	4.21 ± 0.32 ^c

^{abcdef} Literales distintas entre columnas indican diferencias significativas (Método de Tukey p<0.05).

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

El ISA es un parámetro que indica la gravedad de la degradación sufrida por almidón procesado y determina la cantidad de componentes moleculares lixiviado del gránulo de almidón, es decir la medida indirecta de la cantidad de gránulos de almidón intactos y totalmente gelatinizados (Moisio *et al.*, 2015). En el Cuadro 2, es posible apreciar que todos los tratamientos mostraron diferencias significativas con respecto al control (6.18±0.30%), siendo botanas elaboradas con harina de *Oxalis tuberosa* las que tuvieron el mayor valor de ISA (20.19±0.72%). Los resultados obtenidos, coinciden con un estudio realizado por Rodríguez-Sandoval

et al. (2012) donde reportaron mayor ISA para almidón de papa comparado con harina de trigo (2.09 ± 0.26 , 7.45 ± 0.72 , respectivamente); e indican que el mayor poder de absorción del almidón de papa puede deberse, al alto contenido de grupos fosfato en la amilopectina, los cuales generan una repulsión en las cadenas adyacentes, incrementando la hidratación por el debilitamiento de los enlaces dentro de la parte cristalina del gránulo. El incremento del ISA también pudo ser ocasionado por la degradación del almidón debido a una mayor exposición del producto a altas temperaturas dentro del barril, y a una mayor acción de cizallamiento de la mezcla en el extrusor, o por la cantidad de polisacáridos liberados de los gránulos de almidón después de la adición de agua en exceso; ya que contenidos de humedad superiores al 18% contribuyen a que los polisacáridos se disuelvan fácilmente en la matriz de alimentos, aumentando así el ISA (Seth *et al.*, 2015).

3.2.2 Índice de expansión

Es un parámetro importante en la producción de alimentos expandidos en términos de aceptabilidad del producto final (Rodríguez-Vidal *et al.*, 2016). Este estudio reveló que el índice de expansión es mayor para botanas elaboradas con harina de *Oxalis tuberosa* (4.21 ± 0.32), con respecto a la botana control (3.02 ± 0.04), y el incremento de este parámetro es directamente proporcional al porcentaje de sustitución (Cuadro 2). Resultados similares fueron encontrados en un estudio realizado por Rodríguez-Miranda *et al.* (2011) quienes reportaron que al incrementar la concentración de harina de taro en las mezclas, existió un aumento del contenido total de carbohidratos en el material de alimentación, específicamente para el contenido de almidón, lo cual condujo a una mayor expansión. Por otra parte, el bajo índice de expansión presentado por la botana control podría atribuirse a la composición de la materia prima, ya que en un estudio Seth *et al.* (2015), observaron que porcentajes mayores de proteína y fibra en el maíz afectaron la expansión de extrudidos, debido a que una mayor concentración de proteína puede dar como resultado fluctuaciones en la presión y la temperatura a medida que el material fluye a través del barril de extrusión,

afectando negativamente la expansión del producto (Sumargo *et al.*, 2016). El grado de expansión máximo de botanas extrudidas no sólo está relacionado con su contenido de almidón, sino también con el contenido de amilosa y el grado de gelatinización del almidón durante la extrusión (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

3.2.3 Fracturabilidad de botanas

Los productos extrudidos consisten en burbujas llenas de aire que están encerradas por paredes frágiles, y estas paredes de burbujas pueden fracturarse con la aplicación de una fuerza externa (Philipp *et al.*, 2017). El Cuadro 3 muestra los resultados de fracturabilidad de botanas y se observa que los tratamientos T4, T5 y *Oxalis tuberosa* mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al control (201.58 ± 1.64). En su estudio Singh *et al.* (2009), en botanas extrudidas, informaron que al incrementar la concentración de harina de tubérculo (25% a 50%) dio como resultado un aumento en la firmeza del producto final, e indican que las diferencias en características de textura fue causado por la variación en la materia y el contenido de almidón, ya que la dureza de las botanas mostró una correlación positiva con el contenido de fécula de harinas.

Cuadro 3. Efecto de la sustitución de grits de maíz por harina de *Oxalis tuberosa* sobre la fracturabilidad de botanas.

Tratamiento	Carga máxima (N)
Control	201.58 ± 1.64^a
T1	214.32 ± 1.15^a
T2	219.61 ± 1.88^a
T3	225.69 ± 1.69^a
T4	267.73 ± 1.85^b
T5	304.68 ± 0.99^c
HP	495.68 ± 1.22^d

^{abcd} Literales distintas entre columnas indican diferencias significativas (Método de Tukey $p < 0.05$).

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

3.2.4 Análisis de color

En cuanto a los resultados sobre los efectos del color por la adición de harina de *Oxalis tuberosa*, existieron diferencias significativas de los tratamientos con respecto al control, cabe destacar que hubo una disminución de los parámetros L* a* y b* en cada uno de los tratamientos, siendo las botanas elaboradas con harina de *Oxalis tuberosa* las que presentaron los valores más bajos de L* a* y b* (25.65±0.84, 3.83±0.64 y 7.91±1.58 respectivamente), comparados con el control (44.37±0.87, 8.56±0.59 y 31.48±1.66, respectivamente), estos datos indican que a medida que incrementa la concentración de harina de *Oxalis tuberosa* en cada uno de los tratamientos, el color de las botanas tiende hacia tonalidades purpura, mientras que en el control predominan las coloraciones amarillas, tal como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Efectos del color en botanas elaboradas a partir de harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*.

Tratamiento	L*	a*	b*
Control	44.37 ± 0.87 ^a	8.56 ± 0.59 ^a	31.48 ± 1.66 ^a
T1	36.36 ± 1.19 ^b	7.01 ± 0.45 ^b	20.13 ± 1.56 ^b
T2	30.73 ± 1.65 ^c	6.00 ± 0.55 ^c	13.93 ± 0.87 ^c
T3	27.89 ± 1.40 ^d	5.28 ± 0.67 ^c	10.75 ± 1.24 ^d
T4	26.02 ± 1.27 ^{de}	5.81 ± 0.19 ^c	9.32 ± 0.84 ^{de}
T5	25.06 ± 1.74 ^e	4.43 ± 0.84 ^{cd}	8.60 ± 1.63 ^e
HP	25.65 ± 0.84 ^e	3.83 ± 0.64 ^d	7.91 ± 1.58 ^e

^{abcde} Literales distintas entre columnas indican diferencias significativas (Método de Tukey p<0.05).

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

3.2.5 Calorimetría diferencial de barrido

La gelatinización es una transición irreversible que sufren los gránulos de almidón cuando son sometidos a calentamiento en presencia de un alto contenido de humedad. La Figura 1 muestra las temperaturas de gelatinización de harinas y botanas, se observa que no existió algún cambio en la temperatura de transición

térmica (118°C) para el control, pero si sobre la temperatura inicial y final, con valores de 102.19 y 172.04°C, respectivamente para la harina control, mientras que en la botana fue de 100.15 y 132.54°C, respectivamente. La extrusión también afecto a T1 ya que la materia prima presentó una temperatura inicial, máxima y final de 82.08, 100.28 y 137.62°C, respectivamente (Figura 1a); sin embargo, estas temperaturas aumentaron considerablemente en las botanas extrudidas, mostrando temperaturas de 142.01, 142.86 y 163.83°C respectivamente (Figura 1b). Después del proceso de extrusión para T5 disminuyó tanto la temperatura inicial (123.39 a 117.79°C), como la de transición térmica (133.12 a 130.05°C).

Las temperaturas de gelatinización obtenidas en este estudio fueron altas de acuerdo a lo informado en la literatura, lo cual podría atribuirse al bajo contenido de humedad de las muestras analizadas (10-15%), debido a que esta transición generalmente es efectuada en un intervalo de temperatura de 60 a 75°C, a altos contenidos de humedad (>35%). Algunos autores explican que a estas temperaturas, los polímeros de bajo peso molecular como la amilosa principalmente empiezan a separarse del gránulo de almidón y al aumentar la temperatura, los gránulos comienzan a colapsarse hasta que la parte amorfa está completamente solubilizada, mientras que la parte cristalina se mantiene en la solución acuosa, pero cuando el contenido de humedad es restringido, la gelatinización puede posponerse parcialmente a temperaturas más altas debido a la fusión de los cristales de amilopectina restantes. Las altas temperaturas de gelatinización también podría deberse a las interacciones amilosa-amilosa, amilosa-amilopectina, así como a los enlaces químicos o interacciones que se producen durante un proceso térmico. (Pineda-Gómez *et al.*, 2011; Alzate *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2015). Es importante determinar la entalpía de gelatinización, ya que indica la cantidad de energía requerida para producir la interrupción de la estructura del almidón, la cual depende de factores como el tipo de almidón, la humedad durante su determinación, entre otros. (Pineda-Gómez *et al.*, 2011). Sin embargo, el estudio de las transiciones del almidón en las pastas de cereales como en masas de harina de maíz es más complejo que el estudio del almidón

aislado, debido a la presencia de otros bio-polímeros como proteínas y lípidos, que en conjunto con el tamaño de partícula de la harina afecta significativamente la absorción de agua. (Moreira *et al.*, 2015).

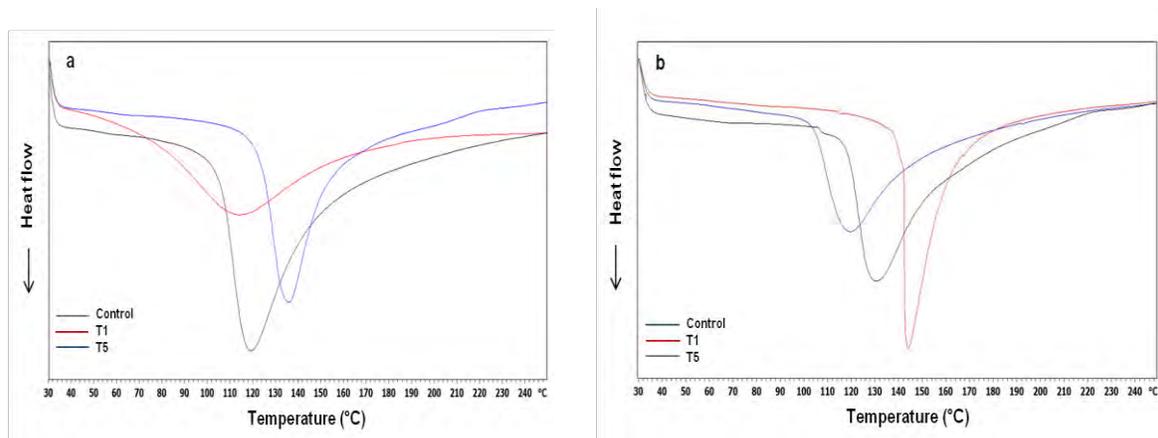


Figura 1. Termogramas obtenidos por DSC en función de la temperatura: **(a)** harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa*; **(b)** botanas extrudidas elaboradas a partir de harinas compuestas.

3.2.6 Contenido de fenoles totales

En cuanto al contenido de fenoles totales la Figura 2 indica que botanas elaboradas con harina de *Oxalis tuberosa* presentaron mayor cantidad de estos compuestos (2.88 mg AG/g de muestra seca) comparado con el control (0.44 mg AG/g de muestra seca). Estos resultados son similares a lo reportado por Nems *et al.* (2015), donde al analizar masas enriquecidas con harina de papa colorada destinadas para la extrusión de pellets, encontraron mayor contenido de fenoles totales en comparación con masas que contenían sólo harina de papa industrial. Asimismo, Nemés & Peksa (2018) al desarrollar botanas con harina de papa de tres variedades purpura (Salad Blue, Blue Congo y Valfi) y una variedad roja (Herbie 26), observaron que botanas elaboradas con Herbie 26 mostraron mayor contenido de fenoles con respecto al control (15.5 mg y 12.9 mg de AG/100 g muestra seca, respectivamente). Independientemente de las altas temperaturas de extrusión, el contenido de compuestos fenólicos puede preservarse porque este proceso induce la hidrólisis de fibras y/o residuos de proteínas unidas a

polifenoles, cambiando el estado de polifenoles no extraíbles a extraíbles (Morales *et al.*, 2015).

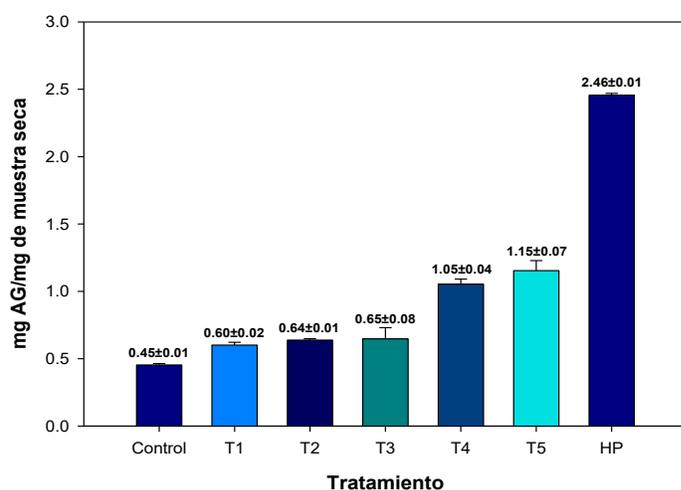


Figura 2. Contenido de fenoles totales en botanas extrudidas. **Control:** Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

3.2.7 Capacidad antioxidante

Los compuestos fenólicos contribuyen en la actividad antioxidante y existe una fuerte correlación entre la concentración fenólica y la actividad de eliminación de radicales libres, particularmente para el radical DPPH (Do *et al.*, 2014). La Figura 3a presenta la capacidad antioxidante al utilizar 0.15 g de muestra, observando que botanas elaboradas con harina de *Oxalis tuberosa* mostraron alto porcentaje de inhibición (52.42%). De la misma forma, en la cinética obtenida con 0.3 g de muestra (Figura 3b), es posible apreciar un incremento de actividad antioxidante en todos los tratamientos en función del porcentaje de sustitución, siendo T5 el de mayor porcentaje de inhibición (45.44%) Sin embargo, a esta concentración de muestra la harina de *Oxalis tuberosa* mostró 67.80% de inhibición, mientras que para el control fue de 11.91%. Resultados similares fueron reportados por Nems *et al.* (2015), e informaron que botanas elaboradas con harina de papa Blue Congo, Valfilos y productos que no fueron sustituidos con harina de papa purpura tuvieron baja actividad antioxidante. En contraste, hallaron un aumento del 50% en la

capacidad antioxidante después de la adición de harina de papa purpura de la variedad Salad Blue y Herbie 26. Los autores explican que estas diferencias podrían deberse a una mayor degradación de los polifenoles totales en botanas suplementadas con harina de papa Blue Congo y Valfilos (35% del total de fenoles) que en bocadillos suplementados con harina de papa Salad Blue y Herbie 26, aproximadamente 25% del total de fenoles.

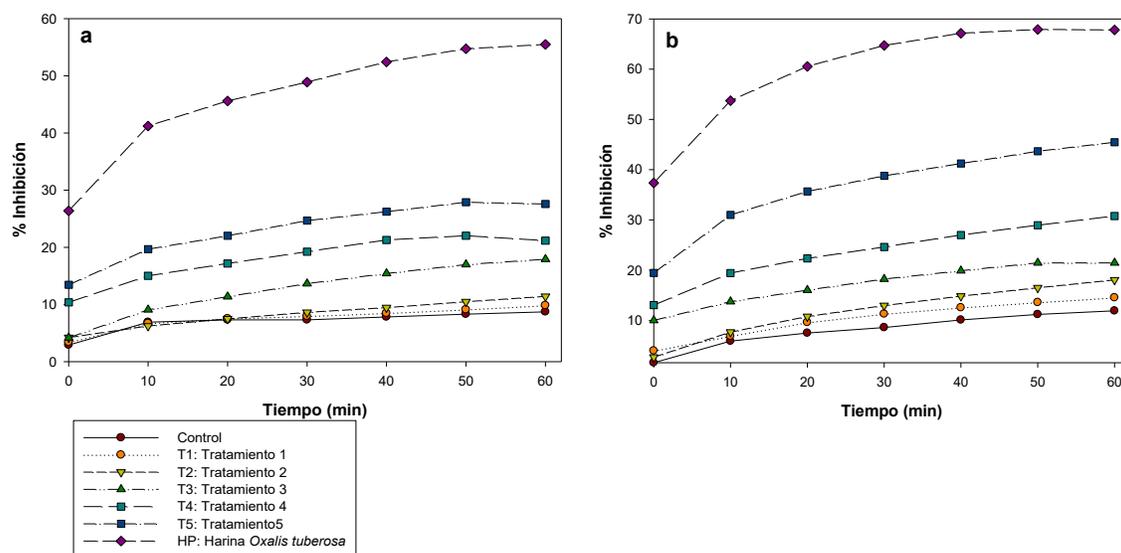


Figura 3. Comparación de la actividad antioxidante de botanas elaboradas a partir de harinas compuestas por grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* (a) 0.15; (b) 0.30 g de muestra.

En cuanto a la evaluación de actividad antioxidante mediante ABTS, las botanas elaboradas con harina de *Oxalis tuberosa* mostraron mayor actividad antioxidante ($532.83 \pm 0.009 \mu\text{mol Trolox/g MS}$), frente al radical ABTS en comparación con los demás tratamientos (Cuadro 5). Este mismo comportamiento se encontró en el poder antioxidante/reductor férrico de los extractos (FRAP), donde la botana control presentó una capacidad antioxidante de $80.81 \pm 0.52 \mu\text{mol Trolox/g}$ de muestra seca, la cual fue menor en comparación de botanas elaboradas con harina de *Oxalis tuberosa* ($412.57 \pm 2.34 \mu\text{mol Trolox/g}$ de muestra seca). En un estudio realizado por Kolniak-Ostek *et al.* (2017), reportaron que tanto harina como extrudidos de alcachofa de Jerusalén contenían niveles altos de polifenoles, lo cual repercutió en una mayor actividad antioxidante medida por FRAP. Asimismo,

existen estudios que indican que además de la adición de harina vegetal, los compuestos antioxidantes y el cambio de la actividad antioxidante en productos extrudidos es atribuido a la liberación de compuestos fenólicos de las paredes celulares, la interacción de fenoles con proteínas y la formación de productos de reacción de Maillard como consecuencia de las altas temperaturas de extrusión (Bisharat *et al.*, 2013).

Cuadro 5. Actividad antioxidante de botanas, obtenida mediante ABTS y FRAP.

Tratamiento	ABTS ($\mu\text{mol Trolox/g MS}$)	FRAP ($\mu\text{mol Trolox/g MS}$)
Control	148.38 \pm 0.005 ^a	80.81 \pm 0.52 ^a
T1	307.27 \pm 0.005 ^b	104.99 \pm 0.65 ^b
T2	377.83 \pm 0.002 ^c	163.24 \pm 0.97 ^c
T3	437.83 \pm 0.003 ^d	175.18 \pm 1.04 ^{cd}
T4	498.94 \pm 0.007 ^e	180.27 \pm 0.03 ^d
T5	515.61 \pm 0.002 ^e	208.87 \pm 1.22 ^e
HP	532.89 \pm 0.009 ^f	412.57 \pm 2.34 ^f

^{abcdef} Literales distintas entre columnas indican diferencias significativas (Método de Tukey $p < 0.05$).

Control: Grits de maíz **T1:** Tratamiento 1 **T2:** Tratamiento 2 **T3:** Tratamiento 3 **T4:** Tratamiento 4 **T5:** Tratamiento 5 **HP:** Harina de *Oxalis tuberosa*.

3.2.8 Microscopia de fluorescencia

La microscopía de fluorescencia depende de la autofluorescencia de los componentes dentro de una muestra o la adición de fluorocromos selectivos para evaluar la presencia, organización estructural y distribución espacial de algunos componentes específicos dentro de un producto (Corradini & McClements, 2017). Las imágenes de botanas, obtenidas por microscopía de fluorescencia mostraron que proteínas y carbohidratos pueden distinguirse por diferentes espectros de emisión, y a partir de la fluorescencia de proteínas (Figura 4a) y carbohidratos (Figura 4b) fue posible determinar la ubicación relativa de estos compuestos, ya que no existe una dispersión uniforme de los mismos. La fluorescencia de proteínas fue muy intensa para el control y T1, lo cual está directamente

relacionado con un mayor contenido de proteínas, presentando valores de fluorescencia de 99.89 ± 2.3 y 97.94 ± 2.3 , respectivamente, mientras que para T5 fueron de 76.75 ± 2.7 . Asimismo, la fluorescencia de carbohidratos fue menor en el control (77.89 ± 3.7) comparado con T1 (88.48 ± 3.6) y T5 (87.47 ± 1.9).

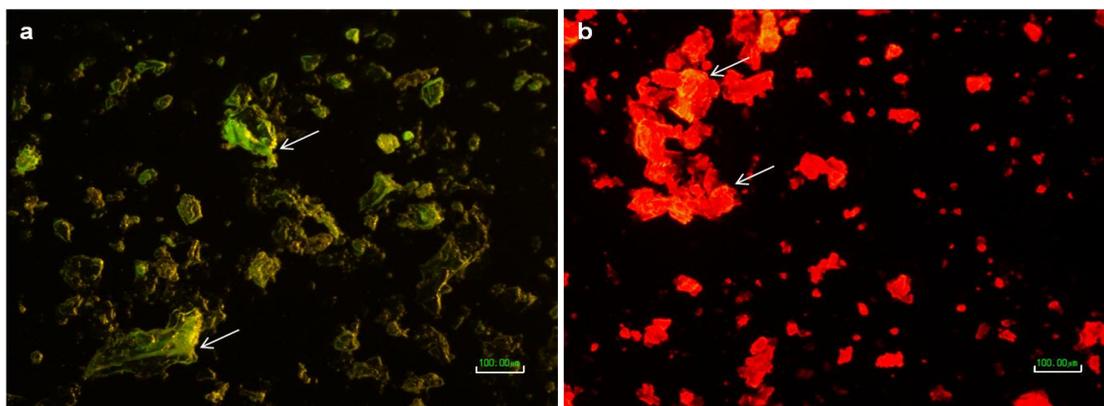


Figura 4. Imágenes de botanas extrudidas, obtenidas por microscopía óptica de fluorescencia. Canales espectrales de: **(a)** color verde: fluorescencia de proteína y **(b)** color rojo: fluorescencia de carbohidratos.

La falta de uniformidad en la dispersión de estos compuestos podría ser consecuencia de las altas temperaturas de extrusión, tal como lo reporta un estudio llevado a cabo por Hu *et al.* (2017), donde el tratamiento con vapor de agua sobrecalentado en harina de trigo, condujo a la agregación de proteínas, causando que los gránulos de almidón se agruparan en pequeños grumos, mostrando así un estado de interacción conjunta entre la red de proteínas y los grumos de almidón. Por lo que ellos aplicaron colorante de fluorescencia mezclado con Rodamina B para marcar la fase de almidón y de proteína. Por otra parte, Struck *et al.* (2018) reportaron que, masas de trigo presentaron una red de proteínas pronunciada con gránulos de almidón incrustados, y mencionaron que esto pudo deberse a que, durante el amasado y la adición de agua, las proteínas comienzan a interactuar entre sí a través de enlaces de hidrógeno, enlaces iónicos, hidrofóbicos y covalentes que conducen a la formación de una red reticulada.

3.2.9 Perfil de proteínas por SDS-PAGE

La separación de proteínas mediante SDS-PAGE dio como resultado diferentes gamas de bandas proteicas, tal como lo muestra la Figura 5. Con respecto a las fracciones de la harina control pudieron distinguirse 3 grupos principales de proteína con pesos moleculares de 15 kDa, 18-25 kDa y de 37 a 60 kDa. En T1 las proteínas dominantes presentaron pesos de 15 kDa, 20 kDa y 45-60 kDa; mientras que T5 solamente mostró 2 grupos, bandas de 20 kDa y 45-60 kDa. En investigaciones realizadas por Santos *et al.* (2014), reportaron que en la región de bajo peso molecular pueden distinguirse bandas correspondientes a las prolaminas, representado por los monómeros de α -zeína (19 y 22 kDa), β -zeína (14 kDa), δ -zeína (10 kDa) y bandas de γ -zeína (16 y 27 kDa). Por otra parte, en T5 destacaron proteínas de alto peso molecular principalmente, lo que podría indicar la presencia de dímeros, tal como lo reporta Drochioiu *et al.* (2016), donde encontraron una gran banda característica de dímeros de α -zeína, visibles por debajo de 50 kDa. Es importante mencionar que T1 y T5 también contienen harina de *Oxalis tuberosa* (10 y 50% respectivamente), por lo que algunas fracciones proteicas distinguidas en estos tratamientos podrían pertenecer a este tubérculo, como la ocatina que tiene un peso molecular aparente de 18 kDa (Monteghirfo & Yarleque-Chocas, 2007).

En el perfil electroforético de las muestras extrudidas, no se hallaron bandas de proteínas en ninguno de los tratamientos, este fenómeno podría atribuirse a las altas temperaturas aplicadas durante el proceso de extrusión, ya que a temperaturas superiores a 100°C, están involucrados algunos cambios como la desnaturalización de proteínas, asociación, disociación y agregación de subunidades por enlaces covalentes y no covalentes. Los resultados obtenidos concuerdan con lo informado por Chao & Aluko (2018) en muestras de aislado proteico de guisantes, debido a que, en carriles correspondientes a muestras sometidas a temperaturas de calentamiento de 80, 90 y 100°C, no identificaron bandas de proteínas, esto lo atribuyeron a la presencia de agregados proteicos inducidos por el tratamiento térmico e indicaron que los agregados eran

demasiado grandes para poder entrar en el gel. La solubilidad de las proteínas también pudo afectar la identificación de bandas proteicas, porque al aumentar la temperatura de extrusión, existe la formación de agregados proteicos insolubles en SDS como consecuencia de la reticulación de proteínas por enlaces disulfuro (Kristiawan *et al.*, 2018), por lo que hubiera sido conveniente utilizar un agente reductor como el mercaptoetanol para la extracción de tales proteínas.

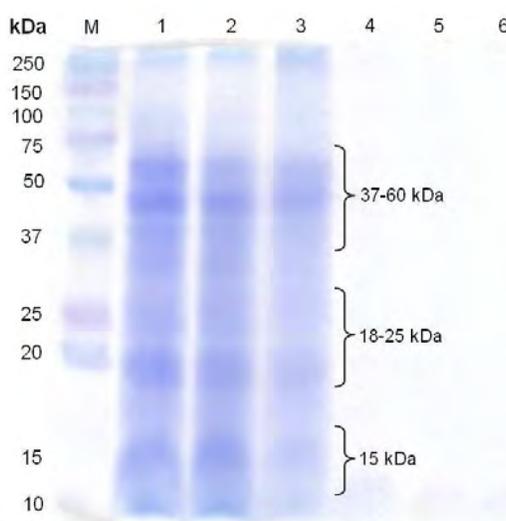


Figura 5. Patrón de SDS-PAGE de harinas y botanas extrudidas. Carriles: **M**, estándar de peso molecular; **1-3** harina control, T1 y T5 respectivamente; **4-6**, botana control, T1 y T5, respectivamente.

3.3 Composición química proximal de botanas

La evaluación de la composición química fue en botanas correspondientes a los tratamientos T1 y T5; observándose que T1 mostró un contenido de proteínas, grasa, fibra, carbohidratos y cenizas de 7.78, 0.90, 2.18, 77.8 y 0.16 g/100 g, respectivamente. Para T5 la composición varió, presentando valores de 6.0, 0.10, 1.51, 82.4 and 0.25 g/100 g, respectivamente. Esta diferencia podría deberse a la composición de los tratamientos principalmente, porque T1 está compuesto en su mayoría por grits de maíz, mientras que T5 contiene grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* en proporciones similares. No obstante, estos resultados concuerdan con lo reportado por algunos autores, Singh *et al.* (2016) hallaron en

grits de maíz, un contenido de proteínas, grasas y cenizas de 7.6, 1.1 y 1.7 g/100 g respectivamente. Por otra parte, Charoenkul *et al.* (2011) informaron que en harina de tubérculos de yuca el contenido proteico oscilo entre 0.32-1.18, grasa de 0.10 a 0.72, cenizas 1.50-2.34 y de fibra 1.53-2.48.

IV. CONCLUSIONES

La importancia de este trabajo fue investigar el efecto de mezclar grits de maíz y harina de *Oxalis tuberosa* sobre las propiedades físicas, químicas y antioxidantes de botanas extrudidas, observándose que al adicionar harina de *Oxalis tuberosa* se obtuvieron botanas con menor IAA de agua, de color marrón y poco fracturables. Sin embargo, existió un incremento del ISA, índice de expansión y el contenido de fenoles totales, tales cambios fueron directamente proporcionales a la concentración de harina de *Oxalis tuberosa*. Para DSC los resultados mostraron altas temperaturas de transición térmica, lo cual indica la presencia de almidón con estructuras cristalinas más estables. Asimismo, los extractos de las botanas mostraron alta capacidad para donar hidrógenos y reducir el ion ferroso, lo cual está directamente relacionado con el contenido de fenoles totales, por lo que podría considerarse como un producto con buenas propiedades funcionales, debido a su capacidad antioxidante. En base a estos análisis, podría concluirse que, es interesante conocer el efecto de la adición y uso de harinas no convencionales para el procesamiento de botanas, debido a que tanto la calidad como la estructura de este tipo de productos dependen básicamente de la materia prima utilizada para su elaboración.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álzate, C.E.N., Quintero C.V.D., Lucas, A.J.C. (2013). Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de Chachafruto (*Erytina Edulis Triana Ex Micheli*). *Temas Agrarios*, 18, 21-35.
2. AOAC International (2002). Official methods of analysis of AOAC International. Arlington, Virginia: AOAC.
3. Balestra, F., Cocci, E., Pinnavaia, G., Romani, S. (2011). Evaluation of antioxidant, rheological and sensorial properties of wheat flour dough and bread containing ginger powder. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 700-705.
4. Becker, F.S., Eifert, E.daC., Soares, S.M., Tavares, S.J-A., Carvalho, A.V. (2014). Physical and functional evaluation of extruded flours obtained from different rice genotypes. *Ciência e Agrotecnologia*, 38, 367-374.
5. Bisharat, G.I., Oikonomopoulou, V.P., Panagiotou, N.M., Krokida, M.K., Maroulis, Z.B. (2013). Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53, 1-14.
6. Chalermchaiwat, P., Jangchud, K., Jangchud, A., Charunuch, C., Prinyawiwatkul, W. (2015). Antioxidant activity, free gamma-aminobutyric acid content, selected physical properties and consumer acceptance of germinated brown rice extrudates as affected by extrusion process. *LWT - Food Science and Technology*, 64, 490-496.
7. Chao, D., Aluko, R.E. (2018). Modification of the structural, emulsifying, and foaming properties of an isolated pea protein by thermal pretreatment. *CyTA- Journal of Food*, 16, 357-366.
8. Charoenkul, N., Uttapap, D., Pathipanawat, W., Takeda, Y. (2011). Physicochemical characteristics of starches and flours from cassava varieties having different cooked root textures. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1774-1781.
9. Chirinos, R., Betalleluz, I., Huamán, A., Arbizu, C., Pedreschi, R., Campos, D. (2009). HPLC-DAD Characterization of phenolic compounds from

- Andean oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) tubers and their contribution to the antioxidant capacity. *Food Chemistry*, 113, 1243-1251.
10. Condori, B., Mamani, P., Botello, R., Patiño, F., Devaux, A., Ledent, J.F. (2008). Agrophysiological characterisation and parametrisation of Andean tubers: Potato (*Solanum* sp.), oca (*Oxalis tuberosa*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*) and papa lisa (*Ullucus tuberosus*). *European Journal of Agronomy*, 28, 526-540.
 11. Corradini, M.G., McClements, D.J. (2017). Microscopy applications, Food. In *Encyclopedia of Analytical Science* (Second Edition), Elsevier, Oxford, 50-57.
 12. Cruz-Tirado, J.P., Siche, R., Cabanillas, A., Díaz-Sánchez, L., Vejarano, R., Tapia-Blácido, D.R. (2017). Properties of baked foams from oca (*Oxalis tuberosa*) starch reinforced with sugarcane bagasse and asparagus peel fiber. *Procedia Engineering*, 200, 178-185.
 13. Day, L., Swanson, B.G. (2013). Functionality of Protein-Fortified Extrudates. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12, 546-564.
 14. Do, Q.D., Angkawijaya, A.E., Tran-Nguyen, P.L., Huynh, L.H., Soetaredjo, F.E., Ismadji, S., Ju, Y.H. (2014). Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatic*. *Journal of Food and Drug Analysis*, 22, 296-302.
 15. Drochioiu, G., Ciobanu, C.I., Bancila, S., Ion, L., Petre, B.A., Andries, C., Gradinaru, R.V., Murariu, M. (2016). Ultrasound-based protein determination in maize seeds. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 93-103.
 16. Dubois, M., Savage, G.P., Martin, R.J. (2007). The effect of cooking on the composition and colour of New Zealand grown oca. *Food Chemistry*, 104, 768-773.
 17. Fiorda, F.A., Soares, M.S.J.R., Silva, F.A., Moura, C.M.A., Grosmann, M.V.E. (2015). Physical quality of snacks and technological properties of pre-gelatinized flours formulated with cassava starch and dehydrated cassava bagasse as a function of extrusion variables. *LWT - Food Science and Technology*, 62, 1112-1119.

18. Hirth, M., Leiter, A., Beck, S.M., Schuchmann, H.P. (2014). Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch based food. *Journal of Food Engineering*, 125, 139-146.
19. Hu, Y., Wang, L., Li, Z. (2017). Modification of protein structure and dough rheological properties of wheat flour through superheated steam treatment. *Journal of Cereal Science*, 76, 222-228.
20. Kolniak-Ostek, J., Kita, A., Pęksa, A., Wawrzyniak, A., Hamułka, J., Jeznach, M., Danilčenko, H., Jariene, E. (2017). Analysis of the content of bioactive compounds in selected flours and enriched extruded corn products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 64(2), 147-155.
21. Kristiawan, M., Micard, V., Maladira, P., Alchamieh, C., Maigret, J.E., Réguerre, A.L., Emin, M.A., Della Valle, G. (2018). Multi-scale structural changes of starch and proteins during pea flour extrusion. *Food Research International*, 108, 203-215.
22. Mena, M.L., Moreno-Gordaliza, E., Moraleja, I., Cañas, B., Gómez-Gómez, M.M. (2011). OFFGEL isoelectric focusing and polyacrylamide gel electrophoresis separation of platinum-binding proteins. *Journal of Chromatography A*, 1218, 1281-1290.
23. Moio, T., Forsell, P., Partanen, R., Damerau, A., Hill, S.E. (2015). Reorganisation of starch, proteins and lipids in extrusion of oats. *Journal of Cereal Science*, 64, 48-55.
24. Monteghirfo, M., Yarleque-Chocas, A. (2007). Caracterización de las proteínas totales de tres ecotipos de maca (*Lepidium peruvianum* G. Chacón), mediante electroforesis unidimensional y bidimensional. *Anales de la Facultad de Medicina*, 68, 301-306.
25. Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Cámara, R.M., Reis, F., Barros, L., Berrios, J.D.J., Ferreira, I., Cámara, M. (2015). Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods*, 19, 537-544.

26. Moreira, R., Chenlo, F., Arufe, S. (2015). Starch transitions of different gluten free flour doughs determined by dynamic thermal mechanical analysis and differential scanning calorimetry. *Carbohydrate Polymers*, 127, 160-167.
27. Mosso, A.L., Lobo, M.O., Samman, N.C. 2016. Development of a potentially probiotic food through fermentation of Andean tubers. *LWT-Food Science and Technology*, 71, 184-189.
28. Nems, A., Peksa, A., Kucharska, A.Z., Sokoł, L.A., Kita, A., Drozd, W., Hamouz, K. (2015). Anthocyanin and antioxidant activity of snacks with coloured potato. *Food Chemistry*, 172, 175-182.
29. Nemš, A., Pęksa, A. (2018). Polyphenols of coloured-flesh potatoes as native antioxidants in stored fried snacks. *LWT - Food Science and Technology*, 97, 597-602.
30. Ondo, S.E., Ryu, G.H., (2013). Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn meal with natural cocoa powder. *Food Science and Biotechnology*, 22, 167-175.
31. Oyeyinka, T.A., Pillay, K., Tesfay, S., Siwela, M. (2017). Physical, nutritional and antioxidant properties of Zimbabwean bambara groundnut and effects of processing methods on their chemical properties. *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 2238-2247.
32. Peighambardoust, S.H., Dadpour, M.R., Dokouhaki, M. (2010). Application of epifluorescence light microscopy (EFLM) to study the microstructure of wheat dough: a comparison with confocal scanning laser microscopy (CSLM) technique. *Journal of Cereal Science*, 51, 21-27.
33. Peksa, A., Kita, A., Carbonell-Barrachina, A.A., Miedzianka, J., Kolniak-Ostek, J., Tajner-Czopek, A., Rytel, E., Siwek, A., Miarka, D., 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.
34. Pérez-Navarrete, C., Cruz-Estrada, R.H. Chel-Guerrero, L., Betancur-Ancona, D. (2006). Caracterización física de extrudidos preparados con

- mezclas de harinas de maíz QPM (*Zea mays* L.) y frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 5, 145-155.
35. Pineda-Gómez, P., Coral, D.F., Ramos-Rivera, D., Rosales-Rivera, A. (2011). Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alkalino. *Ingeniería y Ciencia*, 7, 119-142.
36. Philipp, C., Oey, I., Silcock, P., Beck, S.M., Buckow, R. (2017). Impact of protein content on physical and microstructural properties of extruded rice starch-pea protein snacks. *Journal of Food Engineering*, 212, 165-173.
37. Ramírez-Jiménez, A.K., Gaytán-Martínez, M., Morales-Sánchez, E., Loarca-Piña, G. (2018). Functional properties and sensory value of snack bars added with common bean flour as a source of bioactive compounds. *LWT-Food Science and Technology*, 89, 674-680.
38. Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, J.I., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C.E., Delgado-Licon, E., Vivar-Vera, M.A. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 673-680.
39. Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A., Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 15, 199-207.
40. Rodríguez-Vidal, A., Martínez-Flores, H.E., González, J.E., Velázquez, C.G., Ramírez-Jiménez, A.K., Morales-Sánchez, E. (2016). Extruded snacks from whole wheat supplemented with textured soy flour: Effect on instrumental and sensory textural characteristics. *Journal of Texture Studies*, 48, 249-257.
41. Rotta, E.M., Haminiuk, C.W.I., Maldaner, L., Visentainer, V.J. (2017). Determination of antioxidant activity and phenolic compounds of *Muntingia calabura* Linn. peel by HPLC-DAD and UPLC-ESI-MS/MS. *International Journal of Food Science and Technology*, 52, 954-963.
42. Safdar, M.N., Kausar, T., Jabbar, S., Mumtaz, A., Ahad, K., Saddozai, A.A. (2017). Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus*

- reticulate* L.) peel using ultrasound and maceration techniques. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25, 488-500.
43. Santos, E.M., Quintanar-Guzmán, A., Solorza-Feria, J., Sánchez-Ortega, I., Rodríguez, J.A., Wang, Y.J. (2014). Thermal and rheological properties of masa from nixtamalized corn subjected to a sequential protein extraction. *Journal of Cereal Science*, 60, 490-496.
44. Seth, D., Badwaik, L.S., Ganapathy, V. (2015). Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-cornrice based snack food. *Journal of Food Science and Technology*, 52, 1830-1838.
45. Singh, J., Kaur, L., McCarthy, O.J., Moughan, P.J., Singh, H. (2009). Development and characterization of extruded snacks from New Zealand Taewa (*Maori potato*) flours. *Food Research International*, 42, 666-673.
46. Singh, J.P., Kaur, A., Shevkani, K., Singh, N., Singh, B. (2016). Physicochemical characterisation of corn extrudates prepared with varying levels of beetroot (*Beta vulgaris*) at different extrusion temperatures. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(4), 911-919.
47. Struck, S., Straube, D., Zahn, S., Rohm, H. (2018). Interaction of wheat macromolecules and berry pomace in model dough: Rheology and microstructure. *Journal of Food Engineering*, 223, 109-115.
48. Sumargo, F., Gulati, P., Weier, S.A., Clarke, J., Rose, D.J. (2016). Effects of processing moisture on the physical properties and *in vitro* digestibility of starch and protein in extruded brown rice and pinto bean composite flours. *Food Chemistry*, 211, 726-733.



Anexos

ANEXO 1



BUAP / **INGENIERÍA**
FACULTAD

ACADEMIA JOURNALS
OPUS PRO SCIENTIA ET STUDIO

Congreso Internacional de Investigación
Academia Journals Puebla 2016

AcademiaJournals.com

Certificado

otorgado a

MC. Lizbeth González Victoriano
Dra. Norma Güemes Vera
Dra. Hilda María Hernández Hernández
Dra. Aurora Quintero Lira

por su artículo intitulado

**Análisis de perfil de textura de masas elaboradas a partir de harina de Oxalis
tuberosa y grits de maíz (Zea mays)
(Artículo No. Pue171)**

el cual fue presentado en el Congreso desarrollado
los días 9 y 10 de junio 2016 en la ciudad de Puebla, México,
e incluido en las publicaciones del congreso, mismas que incluyen un volumen online
con número ISSN 1946-5351, Vol. 8 No. 3, 2016 y un libro digital (ebook),
mismo que tiene ISBN 978-1-939982-22-3 con código de barras.

Dr. Rafael Moras

Editor, Academia Journals
Profesor de Ing. Industrial, St. Mary's University



M. en I. Fernando Daniel Lázcano Hernández
Director de la Facultad de Ingeniería

M. H. D. Julia I. Rodríguez Morales
Coordinadora General del Congreso

Pue171



Certificate of Participation

This certifies that

L. Gonzalez, N. Guemes, A. Bernardino, S. Soto & A. Quintero

POSTER PRESENTED:

Evaluation of Techno-Functional Properties of Flours Composed of Corn Grits and Oxalis Tuberosa Flour for the Elaboration of Extruded Snacks

Attended IFT17: Where Science Feeds Innovation® June 25-28, 2017 held in Las Vegas, Nevada USA

The IFT17 scientific and applied sessions qualify for Certified Food Scientist (CFS) recertification contact hours (CH). CFS Certificants may claim a maximum of 22 CH for their participation in scientific and technical symposia and poster sessions related to the CFS Content Domains.

IFT is a Continuing Professional Education (CPE) accredited provider (IN141) with the Academy of Nutrition and Dietetics' Commission on Dietetic Registration (CDR).

A handwritten signature in cursive script that reads 'Clare Keessey'.

Clare Keessey
IFT Meeting Planner

ANEXO 3



LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN Y LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Otorga a

González Victoriano L., Güemes Vera N., Bernardino Nicanor A., Soto
Simental S., Quintero Lira A., Chel Guerrero L.A.

la presente

Constancia

por su participación en el trabajo en MODALIDAD CARTEL, con título:

"Propiedades funcionales de botanas extrudidas elaboradas a partir de
harinas compuestas por grits de maíz y harina de papa roja (*Oxalis
tuberosa*)"

presentado en



Realizado el día 23 al 25 de Mayo del 2018 en el Auditorio Dr. Reyes
Tamez Guerra de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad
Autónoma de Nuevo León.

M. C. . Karla Guadalupe
García Alanís
Jefa de la L.C.A.
Coord. del Congreso F.C.B.

Dr. Juan Gabriel Báez
González
Jefe del Depto. Alimentos
Coord. del Congreso F.C.B.

Dra. Ma del Rosario
Abraham Juárez
Directora del Depto. Alimentos
Coord. del Congreso U de Gto.



Certificate of Participation

This certifies that

Lizbeth Gonzalez Victoriano

Attended IFT17: Where Science Feeds Innovation® June 25-28, 2017 held in Las Vegas, Nevada USA

The IFT17 scientific and applied sessions qualify for Certified Food Scientist (CFS) recertification contact hours (CH). CFS Certificants may claim a maximum of 22 CH for their participation in scientific and technical symposia and poster sessions related to the CFS Content Domains.

IFT is a Continuing Professional Education (CPE) accredited provider (NI141) with the Academy of Nutrition and Dietetics' Commission on Dietetic Registration (CDR).

A handwritten signature in black ink that reads "Clare Keessey".

Clare Keessey
IFT Meeting Planner



LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN Y LA
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

Otorga a

Lizbeth González Victoriano

el presente

Constancia

por su participación como **ASISTENTE** al congreso

XX CONGRESO NACIONAL de Ciencia y Tecnología de Alimentos
V CONGRESO INTERNACIONAL sobre Innovación y Tendencias en Procesamiento de Alimentos

Realizado el día 23 al 25 de Mayo del 2018 en el Auditorio Dr. Reyes Tamez Guerra de la Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León.

M. C. , Karla Guadalupe
García Alanís
Jefa de la L.C.A.
Coord. del Congreso F.C.B.

Dr. Juan Gabriel Báez
González
Jefe del Depto. Alimentos
Coord. del Congreso F.C.B.

Dra. Ma. del Rosario
Abraham Juárez
Directora del Depto. Alimentos
Coord. del Congreso U de Gto.