

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE HARINA DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) VARIEDAD ROJO CAUCA EN UN SNACK EXTRUIDO A BASE DE MAÍZ



LEYDY XIOMARA LISCANO CRIOLLO  
AURA MARÍA SAMBONI MOSQUERA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2019

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE HARINA DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) VARIEDAD ROJO CAUCA EN UN SNACK EXTRUIDO A BASE DE MAÍZ

LEYDY XIOMARA LISCANO CRIOLLO  
AURA MARÍA SAMBONI MOSQUERA

Trabajo de grado en la modalidad de Investigación, para optar al título de  
Ingeniera Agroindustrial

Directores  
Ph. D. JOSÉ LUIS HOYOS CONCHA  
Mg. SANDRA PATRICIA GODOY BONILLA

UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
DEPARTAMENTO DE AGROINDUSTRIA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL  
POPAYÁN  
2019

## **Nota de aceptación**

Los Directores y Jurados han leído este documento, escucharon la sustentación del mismo por sus Autoras y lo encuentran satisfactorio.

---

Ph. D. JOSÉ LUIS HOYOS CONCHA  
Director

---

Mg. SANDRA PATRICIA GODOY BONILLA  
Directora

---

Ph. D. DIEGO FERNANDO ROA ACOSTA  
Presidente del Jurado

---

Mg. JUAN MIGUEL VILLA LATORRE  
Jurado

Popayán, 11 de abril de 2019

## **DEDICATORIA**

A mis padres Luz María Criollo y Cesar Mauricio Liscano por la paciencia, esfuerzo y sabiduría al educarme íntegramente y con respeto a Dios, a mi hijo Emanuel con todo el amor del mundo y a mi hermana Juliana Liscano.

A mi guía, compañera y madre Alba Nidia Mosquera por su valentía, constancia y esmero, a Dios, a mi familia y a todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron en este andar.

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras expresan su agradecimiento a Dios por darnos el regalo de la vida y la oportunidad de educarnos.

A nuestros padres por ser los promotores de este sueño.

A nuestros directores.

Al grupo de investigación ASUBAGROIN dirigido por el doctor José Luis Hoyos Concha, por su apoyo intelectual y recurso humano que permitieron finalizar este trabajo de investigación.

Al ingeniero Víctor Rosero por su paciencia y tiempo, indispensables para nosotras en la culminación de nuestro trabajo.

## GLOSARIO

**AMILOPECTINA:** polisacárido de estructura ramificada y mayor constituyente de los almidones más comunes. En la harina de chontaduro, la amilopectina se encuentra presente en un 80 % aproximadamente.

**AMILOSA:** polisacárido lineal compuesto por unidades de glucosa unidas mediante enlaces de tipo  $\alpha$  1-4. En la harina de chontaduro, la amilosa está presente en un 20 % aproximadamente.

**BASE HÚMEDA:** representa el porcentaje de masa de agua que contiene una muestra, respecto a su masa total.

**CAROTENOIDES:** son pigmentos liposolubles de origen vegetal y algunos de origen animal; resultan de vital importancia por sus propiedades antioxidantes. Están presentes en la grasa del chontaduro en forma de  $\beta$ -carotenos que son precursores de vitamina A; estos se transforman en vitamina A al ser asimilados por el organismo. Su consumo beneficia la formación de tejidos sanos, mejora la visión, piel y uñas.

**COLORIMETRÍA:** ciencia que estudia la medida de los colores y que desarrolla métodos para la cuantificación de la percepción de color.

**CROMÓFORO:** conjunto de átomos de una molécula responsable de su color.

**DENSIDAD APARENTE:** cantidad de masa contenida en determinado volumen de una sustancia.

**ESPECTROFOTOMETRÍA:** método usado para medir la cantidad de luz que absorbe una sustancia química. Se basa en la ley de Beer-Lambert.

**EXTRUSIÓN:** proceso de cocción rápida, continua y homogénea, que produce cambios en la forma, estructura y composición de los alimentos.

**SNACK:** tipo de alimento que se utiliza como acompañante de una bebida o para satisfacer el hambre de manera temporal.

## RESUMEN

El departamento del Cauca es el primer productor de chontaduro a nivel nacional (MADR, s.f.). Este fruto es uno de los alimentos tropicales de mayor valor nutritivo debido a sus altos niveles de fibra, lípidos,  $\beta$ -caroteno, aminoácidos esenciales, bajos niveles de sodio y azúcares; a pesar de que posee elevados contenidos de almidón, existen pocos productos de valor agregado elaborados a partir del chontaduro (Villena Balseca, 2015). Por este motivo, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) variedad rojo cauca en un snack extruido a base de maíz. Los productos extruidos fueron formulados con adición del 0, 10 y 20 % de harina de chontaduro y procesados en un extrusor de tornillo simple a 140 y 145 °C, 140 rpm y humedad final entre el 5 – 6 % base húmeda. El contenido de  $\beta$ -carotenos se midió en el fruto crudo, fruto cocinado, harina de chontaduro, harina de maíz blanco y los productos extruidos; por el método de espectroscopia Uv-visible. Se encontró que el contenido total de  $\beta$ -carotenos aumentó con la extrusión pasando de 0,73 a 26,92  $\mu\text{g/g}$ , el índice de expansión aumentó de 1,81 a 2,50, la densidad y dureza disminuyeron de 0,34 a 0,26  $\text{mg/mm}^3$  y 75,91 a 31,31 N respectivamente a medida que la inclusión de harina de chontaduro incrementó. Se concluyó que el uso de harina de chontaduro en extruidos a base de maíz puede llegar hacer una alternativa viable para dar valor agregado a la agro-cadena del chontaduro.

**Palabras clave:** *Bactris gasipaes*, Extrusión, Propiedades físicas,  $\beta$ -carotenos.

## ABSTRACT

The region of Cauca is the first producer of chontaduro in Colombia. This fruit is one of the tropical foods with greater nutritional value due to its high levels of dietary fiber, lipids,  $\beta$ -carotene, essential amino acids, low levels of sodium and sugars, also has high starch content, however, there are few industrialized products from chontaduro (Villena Balseca, 2015). For this reason, the objective of this work was to evaluate the effect of the addition of chontaduro flour (*Bactris gasipaes*) variety red Cauca in an extruded corn-based snack. The extruded products were formulated with the addition of 0, 10 and 20 % of chontaduro flour and processed in a single screw extruder at 140 and 145 °C, 140 rpm, up to final humidity between 5 - 6 % wet base. The content of  $\beta$ -carotenes was measured in raw chontaduro, cooked chontaduro, chontaduro flour, white corn flour and extruded products by the Uv-visible spectroscopy method. It was found that the total content of  $\beta$ -carotenes increased with extrusion from 0,73 to 26,92  $\mu\text{g/g}$ , the rate of expansion increased from 1,81 to 2,50, the density and hardness decreased from 0,34 to 0,26  $\text{mg/mm}^3$  and 75,91 to 31,31 N respectively as the inclusion of chontaduro flour increased. It was concluded that the use of chontaduro flour in corn-based extrusions may constitute a viable alternative to give added value to the chontaduro agro-chain.

**Keywords:** *Bactris gasipaes*, Extrusion, Physical properties,  $\beta$ -carotenes.



## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO REFERENCIAL	14
1.1 LOCALIZACIÓN	14
1.2 MARCO TEÓRICO	14
1.2.1 Generalidades del chontaduro	14
1.2.2 Producción de chontaduro en Colombia	14
1.2.3 Agroindustria del chontaduro	14
1.2.4 Generalidades del maíz ( <i>Zea mays</i> )	15
1.2.5 Usos del maíz en la industria de alimentos	15
1.2.6 Alimentos extruidos	16
1.2.7 Importancia de los pigmentos en la industria de alimentos	17
1.3 MARCO HISTÓRICO	20
2. METODOLOGÍA	24
2.1 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y TEXTURALES DE UN SNACK EXTRUIDO A BASE DE MAÍZ CON ADICIÓN DEL 10 Y 20% DE HARINA DE CHONTADURO ( <i>Bactris gasipaes</i> ) VARIEDAD ROJO CAUCA	24
2.1.1 Obtención de las harinas	24
2.1.2 Formulación y acondicionamiento de los tratamientos	26
2.1.3 Proceso de extrusión	26
2.1.4 Evaluación del producto extruido	27
2.2 CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE $\beta$ -CAROTENOS PRESENTES EN EL FRUTO CRUDO, COCIDO, HARINA Y SNACKS EXTRUIDOS A BASE DE MAÍZ, CON ADICIÓN DEL 10 Y 20% DE HARINA DE CHONTADURO ( <i>Bactris gasipaes</i> ) VARIEDAD ROJO CAUCA, POR EL MÉTODO UV-VISIBLE	28

	pág.
2.2.1 Preparación de las muestras	28
2.2.2 Extracción de pigmentos carotenoides	28
2.2.3 Identificación y cuantificación de los $\beta$ -carotenos	29
2.3 DETERMINACIÓN DE COLOR POR EL MÉTODO CIELAB	30
2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	30
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y TEXTURALES DE UN SNACK EXTRUIDO A BASE DE MAÍZ, CON ADICIÓN DEL 10 Y 20% DE HARINA DE CHONTADURO ( <i>Bactris gasipaes</i> ) VARIEDAD ROJO CAUCA	32
3.1.1 Composición proximal de las materias primas	32
3.1.2 Propiedades físicas	33
3.2 CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE $\beta$ -CAROTENOS PRESENTES EN EL FRUTO CRUDO, COCIDO, HARINA Y SNACKS EXTRUIDOS A BASE DE MAÍZ, CON ADICIÓN DEL 10 Y 20% DE HARINA DE CHONTADURO ( <i>Bactris gasipaes</i> ) VARIEDAD ROJO CAUCA, POR EL MÉTODO UV-VISIBLE	35
3.2.1 Identificación y cuantificación de $\beta$ -carotenos	35
3.3 PRUEBA DE COLORIMETRÍA TRIESTÍMULOS POR EL MÉTODO CIELAB	36
4. CONCLUSIONES	39
5. RECOMENDACIONES	40
BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXOS	46

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Composición química de la harina de chontaduro	14
Cuadro 2. Composición del color de una harina de chontaduro	15
Cuadro 3. Composición química de la harina de maíz	16
Cuadro 4. Formulación de los snacks extruidos	26
Cuadro 5. Diseño experimental	30
Cuadro 6. Tratamientos del diseño experimental	31
Cuadro 7. Composición proximal en base seca de las materias primas	32
Cuadro 8. Resultados de las propiedades físicas de los extruidos	33
Cuadro 9. Resultados del contenido de $\beta$ -carotenos por Uv-Visible	35
Cuadro 10. Resultados del contenido de $\beta$ -carotenos por Uv-Visible	35
Cuadro 11. Resultado de la variable de color $a^*$ (coordenadas color verde/rojo) y $b^*$ (coordenadas color azul/amarillo)	37
Cuadro 12. Resultado de la variable de color $a^*$ (coordenadas color verde/rojo) y $b^*$ (coordenadas color azul/amarillo)	37

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Chontaduro variedad rojo Cauca	24
Figura 2. Harina de chontaduro después de tamizada	25
Figura 3. Extrusión de los tratamientos	27
Figura 4. Extracción sólido-líquido del tratamiento T3	28
Figura 5. Colorímetro Konica Minolta CM-5	30
Figura 6. Tratamiento T5-80/20 - 140 °C (A) y T2-100/0 - 145°C (B)	33
Figura 7. Prueba de dureza realizada a los extruidos	34

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Análisis de varianza para la prueba de índice de expansión	46
Anexo B. Análisis de varianza para la prueba de densidad	47
Anexo C. Análisis de varianza para la prueba de dureza	48
Anexo D. Análisis de varianza para la prueba de $\beta$ -carotenos por UV-Visible	49
Anexo E. Análisis de varianza para la prueba de colorimetría, parámetro $a^*$	50
Anexo F. Análisis de varianza para la prueba de colorimetría, parámetro $b^*$	51

## INTRODUCCIÓN

Colombia es un país productor de chontaduro y el Cauca es el primer productor a nivel nacional con 17.943 Ton/año y una participación del 47,63%, (Ministerio de Agricultura, 2016). El departamento cuenta con un área sembrada de 3.434 hectáreas principalmente en el municipio de El Tambo. El chontaduro es uno de los alimentos tropicales de mayor valor nutritivo, debido a sus altos niveles de fibra, grasa,  $\beta$ -caroteno, aminoácidos esenciales, bajos niveles de sodio y azúcares. Los elevados contenidos de almidón y grasa indican que la fruta también posee alto valor energético (Rojas-Garbanzo *et al.*, 2011), característica que le permite considerarse como una alternativa para explotación a escala industrial y doméstica.

Estudios de la Universidad del Valle revelan que a este fruto no se le ha dado suficiente importancia científica, a pesar de su gran valor nutricional, ya que en la actualidad en Colombia el chontaduro se comercializa principalmente cocido para consumo humano, con adición de sal, miel o limón en las esquinas, parques y semáforos de las diferentes regiones (Pinzón *et al.*, 2015). De su procesamiento artesanal se obtienen productos como harina, mermelada, conserva, jalea, pastas y otros productos de repostería (Godoy *et al.*, 2007). Atendiendo a esta necesidad, en los últimos años se han desarrollado investigaciones que refieren la utilización del chontaduro para la extracción de aceite, usando dióxido de carbono presurizado (Pasquel *et al.*, 2002); también se ha estudiado el contenido de compuestos fenólicos solubles totales, con resultados de  $108 \pm 2,06$  mg/100 g fresco (Contreras *et al.*, 2011); en barras energéticas como ingrediente principal, debido a su alto contenido en carbohidratos y como pigmentante natural en salchichas tipo Frankfurt (Martínez *et al.*, 2017). Basto *et al.* (2016) evaluaron el efecto de la extrusión en propiedades fisicoquímicas y el contenido de carotenoides de una harina de maíz con inclusión de harina de pulpa de chontaduro, encontrando una reducción en la expansión seccional y aumento en la densidad aparente, además de no encontrar diferencia significativa en el contenido de carotenoides de los productos después de la extrusión.

A nivel nacional existen pocos productos de valor agregado elaborados a partir de la harina, aceite o lecitina de chontaduro, que impulsen la industrialización de este fruto (Chaparro, 2012). Por tal razón, es necesario generar alternativas de transformación del chontaduro; ya que además de encontrarse fácilmente en el departamento del Cauca, posee gran valor nutricional. Por ello, este trabajo se dirigió a evaluar el efecto de la adición de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*) variedad rojo Cauca, en un snack extruido a base de maíz. Para cumplir este objetivo, inicialmente se evaluaron algunas propiedades físico texturales y luego se cuantificó el contenido de  $\beta$ -carotenos presente en los snacks extruidos mediante el método de espectrofotometría ultravioleta-visible, además se realizó la prueba de colorimetría CIELAB.

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 LOCALIZACIÓN

La investigación se desarrolló en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, ubicada en el municipio de Popayán, vereda las Guacas, con coordenadas geográficas 2°27'0.000" latitud Norte, 76°37'0.000" latitud oeste del meridiano de Greenwich, temperatura promedio de 18°C y precipitación promedio de 2000 mm/año (Alcaldía Municipal de Popayán POT).

### 1.2 MARCO TEÓRICO

**1.2.1 Generalidades del chontaduro.** También conocido como pijuayo, pejibaye o pupunha, es un fruto propio de áreas tropicales, ampliamente distribuido en la cuenca amazónica. Su tallo es cilíndrico y alcanza diámetros desde 10 a 25 centímetros y altura máxima de 25 metros. Los frutos son drupas (coco en miniatura) recubiertas por una capa amilácea, de diversa coloración (rojo, amarillo, anaranjado) con forma cónica, ovoide y elipsoidal, que miden de 2,5 a 5,0 centímetros y contienen una semilla por fruto de color oscuro, con una almendra blanca similar en sabor y textura al coco verde.

**1.2.2 Producción de chontaduro en Colombia.** En la última década, el cultivo de chontaduro ha tenido un comportamiento inestable, debido al ataque de plagas y falta de fortalecimiento de esta agro-cadena en Colombia. Pese a ello, el departamento del Cauca se consolida como el mayor productor a nivel nacional (17.943 Ton/año), seguido por Putumayo (8.690 Ton/año) y Valle del Cauca (6.651 Ton/año) (Ministerio de Agricultura, 2016). De esta producción, entre el 20 al 30% de los frutos son rechazados para consumo directo, debido a daños pos cosecha (MinAgricultura, 2014).

**1.2.3 Agroindustria del chontaduro.** El fruto maduro se consume cocido, o se procesa para la obtención de mermelada, conserva, jalea o harina utilizada en panadería, pastelería y extracción de aceite (Godoy *et al.*, 2007); algunos autores han indicado que la harina y el almidón de esta fruta tienen potencial para el desarrollo de bebidas alcohólicas artesanales, pastas alimenticias, sustrato de bacterias para la producción de amilasa y productos alimenticios funcionales (Valencia *et al.*, 2015); se han realizado determinaciones de la composición química de la harina de chontaduro (cuadro 1), encontrando diferencia en los valores debido a la región y diversidad de los frutos.

Cuadro 1. Composición química de la harina de chontaduro

Variedad	Humedad	Cenizas	Proteína	Lípidos	Fibra	Carbohidratos
Rojo, Brasil*	7,9 ±1,2	2,1 ± 0,0	4,4 ±0,1	16,7 ± 0,1	NR	76,8
Amarillo, Brasil*	7,8 ±0,1	2,1 ± 0,0	5,0 ±0,1	14,6 ± 0,1	NR	78,3
NR **	10,65	2,2 ± 0,04	7,0 ±0,2	15,1 ± 0,5	5,4	70,3 ± 0,62

\* Basto *et al.*, 2016

\*\* Valencia *et al.*, 2015

NR: No reporta.

Gracias a su diversidad climática, Colombia posee numerosas matrices naturales de pigmentos; los frutos de chontaduro (*Bactris gasipaes*) se consideran una fuente promisoría de carotenoides, compuesto que varía de acuerdo a la región de origen, variedad, condiciones de cultivo, estado de maduración y tratamiento térmico aplicado, entre otros.

Rojas *et al.* (2011), realizaron estudios encontrando valores en el contenido total de carotenoides en mesocarpio de chontaduro crudo de  $96 \pm 1,7 \mu\text{g/g}$  y  $33,3 \pm 1 \mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno por gramo de harina, siendo este último el carotenoide mayoritario con valores medios de 45%, seguido del  $\gamma$ -caroteno 32 % y el licopeno 18,50%. Martínez y Ordoñez (2017), realizaron estudios de evaluación de color y características sensoriales de una galleta con diferentes inclusiones de harina de cáscara de chontaduro, encontrando que este subproducto se puede utilizar como colorante natural en productos de panadería. El cuadro 2 presenta la composición del color de una harina de chontaduro en base húmeda (g/100g material húmedo).

Cuadro 2. Composición del color de una harina de chontaduro

Parámetros	Valores
L*	$82,7 \pm 0,1$
a*	$0,4 \pm 0,0$
b*	$12,1 \pm 0,1$
$\Delta E^*$	$15,4 \pm 0,3$

L\*: Luminosidad; a\*: coordenadas color verde/rojo; b\* coordenadas color azul/amarillo;  $\Delta E^*$ : cambio de color. Fuente: Valencia *et al.*, 2015.

**1.2.4 Generalidades del maíz (*Zea mays*).** Esta planta que pertenece a la familia de las gramíneas, está dotada de un amplio sistema radicular fibroso que se produce por polinización cruzada. El maíz es a menudo de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color negro, rojo y jaspeado. Se estima que la producción mundial actual de maíz blanco es de 67 millones de toneladas, cantidad que representa el 12 - 13% de la producción mundial anual de todos los tipos de maíz. Desde el punto de vista biológico y genético, el maíz blanco es muy similar al amarillo; la diferencia radica en la ausencia de los pigmentos de aceite de carotina que originan el color amarillo del grano.

**1.2.5 Usos del maíz en la industria de alimentos.** El maíz tiene tres aplicaciones posibles en la industria: alimento, forraje y materia prima. Como alimento, se puede utilizar todo el grano para obtener un número amplio de productos intermedios; el almidón de maíz, puede ser empleado como aglutinante y gelificante en las industrias papeleras, alimentaria, farmacéutica, textil y de plástico, o como materia prima para la producción de endulzantes. De la industrialización del almidón se obtiene glucosa, dextrosa, fructosa 42, fructosa 55, malto dextrina y colorante caramelo; estos jarabes son usados en la producción de bebidas sin alcohol, galletas, panificados, mermeladas, sopas, alimentos para bebés, snacks, salsas, tortas, vinos, entre otra gran cantidad de productos. A través del proceso de molienda seca se obtiene harina de maíz, utilizada para la elaboración de panificados, sémolas destinadas a la producción de cerveza, snacks y grits para producir snacks, copos de cereal para desayuno y barras de cereal.



En países desarrollados, más del 60 % de la producción de maíz se emplea para elaborar piensos. De los subproductos de la molienda en seco se obtiene aceite comestible de elevada calidad y gluten que se utiliza como ingrediente alimenticio. La composición química de la harina de maíz se puede ver en el cuadro 3.

Cuadro 3. Composición química de la harina de maíz

Referencia	Humedad	Cenizas	Proteína	Lípidos	Fibra	Carbohidratos
USDA, Database, 2018	NR	1,73	10,34	5,17	6,9	75,86
Rodríguez <i>et al.</i> , 2011	10,61 ± 6,22	1,7 ± 0,04	10,5 ± 0,1	5,0 ± 0,2	3,2 ± 0,9	79,6
Flores <i>et al.</i> , 2002	10	1,7	11,2	4,8	NR	82,3

NR: No reporta.

**1.2.6 Alimentos extruidos.** La cocción por extrusión es un proceso termomecánico que combina transferencia de calor y masa, además de cambios de presión y cizallamiento, para producir efectos como la cocción, esterilización, secado, enfriamiento, texturizado, mezclado, expansión y forma. La extrusión implica temperaturas altas (100 – 200°C) y tiempos cortos (10 a 60s) (Berk, 2009), lo que modifica la estructura del almidón (Van den Eijnde *et al.*, 2005), composición y disponibilidad de nutrientes en los alimentos (Valle *et al.*, 1994, citados por Mosquera, 2014). En la industria alimentaria se puede utilizar el extrusor de tornillo simple o tornillos gemelos; en este último, se producen alimentos con mejor control de calidad y gran rango de condiciones de operación, por lo cual no se limita a alimentos o mezclas de alimentos viscosos, con altos contenidos de humedad y de grasa.

Los cambios producidos en el almidón durante el proceso de extrusión, afectan la expansión y textura final del extruido. Las modificaciones en la estructura del polímero, tales como fusión, gelatinización, fragmentación y dextrinización, están determinados por factores como la relación agua-almidón, temperatura, morfología, tamaño de partícula, relación amilosa-amilopectina y uso de aditivos entre otros (Lai y Kokini, 1991). Según Rojas *et al.* (2011), las variables que se deben tener en cuenta durante el proceso de extrusión son temperatura, geometría del dado, modelo del extrusor, composición, humedad y tamaño de partícula del alimento, configuración y velocidad del tornillo, presión, energía mecánica y específica. El dado funciona como una válvula liberadora de presión, influyendo en el comportamiento del flujo del material y en la textura del producto; en el barril se lleva a cabo la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas, como resultado de los efectos combinados de la elevada temperatura, presión y alto esfuerzo mecánico (Hauck y Huber, 1989, citado por Mosquera, 2014); acorde al contenido de humedad, contribuye al rompimiento de las paredes celulares aumentando la disponibilidad de nutrientes.

Los materiales más usados en el proceso de extrusión son los productos cereales derivados del trigo, maíz y arroz, almidón y sémola de papa. Otros productos de cereales

usados en menor proporción son el centeno, cebada, avena y trigo sarraceno, con el fin de mejorar las características funcionales de los extruidos. Además, se pueden adicionar emulsificantes, gasificantes y edulcorantes (Berk, 2009). Debido a las amplias ventajas técnicas, de costos, calidad y versatilidad que ofrece la tecnología de cocción por extrusión, existe una amplia gama de alimentos extruidos, siendo los más populares los cereales para el desayuno, comidas instantáneas, alimentos infantiles, pastas alimenticias, pellets para alimentación animal y alimentos botana o snacks de tercera generación en forma de cereal, bolas, anillos o conchas y colores atractivos recubiertos con glaseados y enriquecidos con aditivos, vitaminas y frutas.

De acuerdo con la Cámara de Comercio de Cali (2015), el consumo de snacks en Colombia tuvo un crecimiento promedio anual de 3,8% entre 2010 y 2015, debido a que son productos alimenticios relativamente baratos y fáciles de preparar en el hogar, además de ser estables al almacenamiento y tener alta densidad aparente.

Los parámetros más usados para medir las propiedades físicas de un producto extruido son el índice de expansión, que es la relación de diámetro del producto extruido con el dado utilizado del equipo extrusor (Rosas *et al.*, 2012a ) y densidad aparente, que establece la cantidad de producto terminado que puede contener un empaque. La dureza es el atributo de textura mecánica más importante, ya que determina la aceptación del producto por parte del consumidor y hace referencia a la fuerza máxima requerida para romper un alimento; se expresa en unidades de fuerza (N o kg m/s<sup>2</sup>).

**1.2.7 Importancia de los pigmentos en la industria de alimentos.** El color de los alimentos es quizá el primer atributo que el consumidor tiene en cuenta, cuando determina la apariencia y calidad visual de un producto; por tanto, condiciona su aceptabilidad o rechazo. Un color extraño puede ser interpretado en términos de deterioro o mala manipulación de los alimentos.

Existen dos fuentes de pigmentos: naturales y sintéticos. Los naturales pueden obtenerse de microorganismos o plantas (Cho *et al.*, 2002; Cross y Edinberry, 1972; Kim *et al.*, 1998; Parisot *et al.*, 1990; Ryu *et al.*, 1989; Yongsmith *et al.*, 1994, citado por Unagul *et al.*, 2005), como los carotenoides, antocianinas, naftoquinonas y clorofila. El acceso a los pigmentos naturales provenientes de plantas tiene numerosos inconvenientes, como la disponibilidad, inestabilidad a la luz, temperatura, cambios de pH y baja solubilidad en agua; debido a que en la actualidad existe una demanda considerable de colorantes naturales alternativos a los sintéticos como el rojo N. 40, por su toxicidad en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos, se están desarrollando técnicas como la encapsulación para contrarrestar estos efectos. Por su parte, los pigmentos sintéticos suelen tener mayor firmeza de color, amplio intervalo de tinte, bajo costo; alta efectividad y homogeneidad entre lotes, además de no presentar aromas o sabores.

Para la extracción y determinación de pigmentos naturales se han desarrollado métodos analíticos, siendo las técnicas de extracción líquido-líquido, sólido-líquido y análisis

cromatográfico, generalmente Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia o HPLC, las más utilizadas. Otros métodos como la espectrofotometría ultravioleta visible y análisis de color mediante técnicas como colorimetría triestímulos, se usan con menor frecuencia.

El método de espectrofotometría ultravioleta visible se utiliza para identificar algunos grupos funcionales de molécula, determinar el contenido y fuerza de una sustancia y de manera general en la determinación cuantitativa de los componentes de soluciones de iones de metales de transición y compuestos orgánicos altamente conjugados. El espectro compara la intensidad de luz que pasa a través de una muestra ( $I$ ) con la que pasa a través de la celda de referencia ( $I_0$ ); la radiación transmitida es detectada y el espectrómetro obtiene el espectro de absorción al barrer la longitud de onda de la luz (Cáñez y García, 2015). La relación  $I/I_0$  se llama transmitancia y se expresa habitualmente como un porcentaje (%T). El método ultravioleta implica la espectroscopía de fotones en la región de radiación ultravioleta-visible, utilizando la luz en los rangos visible y adyacentes: el ultravioleta (UV) cercano y el infrarrojo (IR) cercano. Este método se basa en la ley de Beer-Lambert, la cual permite cuantificar la concentración de una muestra por UV. Las muestras para espectrofotometría UV-Vis suelen ser líquidas, aunque también se mide la absorbancia de gases y sólidos.

La colorimetría triestímulos es un modelo utilizado para el control de calidad de alimentos en frutas y hortalizas, debido a que permite tener una medida objetiva de color, por medio de tres sensaciones o atributos psicométricos, que dan un carácter tridimensional a este estímulo; estas coordenadas son  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  de magnitudes adimensionales. La coordenada acromática  $L^*$  es la luminosidad o claridad y representa si un color es oscuro, gris o claro, variando desde 0 para negro hasta 100 para blanco. Las coordenadas cromáticas  $a^*$  y  $b^*$  forman un plano perpendicular a  $L^*$ , la coordenada  $a^*$  corresponde al color rojo si  $a^* > 0$ , y al color azul si  $b^* < 0$ . La saturación o pureza, describe el grado o intensidad con la que un color se separa del gris neutro y se acerca a un color puro del espectro, y describe la reflexión o transmisión a una determinada longitud de onda; es considerado el atributo cuantitativo de la cromaticidad (González, 2010). Este método consiste en una luz blanca proveniente de una fuente-patrón de la Internacional Comisión on Illumination, que incide sobre la muestra bajo un ángulo de  $0^\circ$  y es reflejada a un ángulo de  $45^\circ$  (reflexión difusa), o viceversa. La luz reflejada pasa a través de filtros, siendo medida por una fotocélula (Von Atzingen y Machado, 2005); esta característica es una medida relativa de la luz reflejada frente a la absorbida, por lo tanto, no se considera como partícipe de la cromaticidad.

El color es una cualidad sensorial y se considera como un factor psicológico de apreciación y criterio para elegir un producto alimenticio; incluso en los productos de origen vegetal, se relaciona con la posibilidad de elegir la maduración y su idoneidad (Bello, 2008 citado por Mathias y Ah-Henk, 2014). El color es una percepción humana de la luz reflejada por un objeto; se trata de una apreciación que depende de cómo los ojos detectan la luz reflejada y el cerebro la procesa. Está afectado por el objeto, el observador, el iluminante, la geometría óptica, el área, fondo, superficie, brillo y temperatura. Se define como una respuesta mental al estímulo que una radiación luminosa visible produce en la retina. Se considera un concepto psicofísico, relacionado al mismo tiempo con la psicología del

observador, la fisiología de la visión y la energía radiante espectral de una fuente luminosa (Heredia, 2009 citado por Delmoro *et al.*, 2010).

Thomas Young, afirmó que el ojo detecta diferentes colores, porque contiene tres tipos de receptores, cada uno de ellos sensible a una única tonalidad del color; esta teoría fue denominada la teoría tricromática y se sugirió porque los observadores humanos pueden reproducir cualquier color mezclando tres colores en cantidades variables y seleccionados acertadamente de distintos puntos del espectro (Badui, 2006 citado por Mathias y Ah-Henk, 2014). El ojo humano es sensible a un rango limitado de longitudes de onda ( $\lambda$ ), llamado espectro de luz visible, el cual constituye sólo una pequeña parte del espectro electromagnético. Se extiende aproximadamente entre 380 y 780 nm, por ello el color es “la parte de la energía radiante que el humano percibe” (Badui, 2006 citado por Mathias y Ah-Henk, 2014).

La teoría tricromática, se basa en suponer la existencia de un sistema trirreceptor en el órgano de la visión, es decir, que sin importar la composición espectral de la radiación que llega a la retina, la respuesta será evaluada según tres parámetros. Cuando el observador ve un determinado color, puede discriminar: (1) la claridad o luminosidad, la cual es un atributo del color que hace corresponder a cada uno de ellos una equivalencia con una escala de grises; (2) el tono, atributo que adjudica al color una cualidad que se define como rojo (R), verde (G) y azul (B), amarillo o cualquier combinación de ellos; y, (3) la saturación o croma, atributo que fijado al tono, describe el color por su similitud con un color espectral puro; cuanto más parecido a éste, resulta más saturado. El resultado implica una integración de los tres parámetros (Mathias-Rettig y Ah-Hen, 2014). Este análisis se determina mediante el uso de colorímetros, que es un sistema de color que transforma el espectro de la transmisión de un objeto en un espacio de color tridimensional, utilizando el poder de distribución espectral de la fuente luminosa y combinaciones de color de funciones observadores estándar (Cornejo *et al.*, 2012).

El **espacio de color L\*a\*b**, es el más utilizado para medir el color de los objetos. L\* indica la luminosidad y a\* y b\* indican las coordenadas de cromaticidad. En el plano cromático, +a representa la dirección del color rojo y -a la dirección del color verde; asimismo +b indica la dirección del color amarillo y -b la dirección del color azul (Konica Minolta, 2007).

El **espacio de color L\*C\*h** utiliza el mismo diagrama que el espacio de color L\*a\*b, aunque utiliza coordenadas cilíndricas en lugar de coordenadas rectangulares. En este espacio de color, L\* indica luminosidad y es la misma del espacio de color L\*a\*b, C indica chroma y h es el ángulo de Hue, es decir el color. El valor de chroma C\* es 0 en el centro e incrementa de acuerdo con la distancia desde el centro, 0° en +a corresponde al color rojo, para 90° en +b\* es color amarillo, 180° en -a es color verde y 270° en -b es color azul (Konica Minolta, 2007).

Los colorímetros son excelentes para presentar diferencias mínimas de color. Los pequeños cambios de matices de color constituyen la mayor dificultad en cualquier lugar

donde se utilice el color. con un colorímetro, incluso esas diferencias de color pueden expresarse numéricamente y comprenderse más fácilmente, utilizando los espacios de color L\*a\*b\* y L\*C\*h (Konica Minolta, 2007). Las diferencias se suministran para poder establecer un tono de color constante, establecer un estándar y comparar la producción con dicho estándar. Por tal razón se comunican siempre diferencias de color y no valores absolutos. Normalmente se recurre a la diferencia de color total  $\Delta E$ , para la representación de los cambios de color.

**Análisis de textura.** De acuerdo con Szczeniak (1963) citado por González *et al.* (2015), la textura es definida como una manifestación sensorial de la estructura alimentaria y la forma en la que ella reacciona a las fuerzas aplicadas, representa la unión de todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, detectados a través de receptores mecánicos, visuales y auditivos. La textura es un importante impulsor de las preferencias del consumidor; se puede medir objetiva (instrumental) y subjetivamente (pruebas sensoriales). Entre los dispositivos de prueba instrumentales están los texturómetros, los cuales imitan las condiciones de la masticación y presentan correlaciones con las evaluaciones sensoriales de textura (Paula y Conti, 2014). Para estas pruebas se asumen materiales continuos, isotrópicos, homogéneos y las piezas de prueba se consideran uniformes y regulares.

La información textural y reológica es importante en el diseño de procesos de transformación de alimentos (mezclado, flujo de materiales, calentamiento, enfriamiento), la determinación de la funcionalidad de los ingredientes para el desarrollo de productos, el control de calidad de productos intermedios y finales, en pruebas de tiempo de vida útil y en evaluaciones de propiedades texturales correlacionadas con pruebas sensoriales, entre otros (Rodríguez *et al.*, 2005). La correlación entre los análisis sensoriales e instrumentales tiene como finalidad encontrar instrumentos capaces de medir el control de calidad de los alimentos en la industrias, predecir una respuesta del consumidor, como el grado de afición y la aceptación general del producto, comprender lo que se está percibiendo en la boca durante la evaluación sensorial de la textura y mejorar u optimizar los métodos instrumentales para complementar la evaluación sensorial.

### 1.3 MARCO HISTÓRICO

Martínez y Ordoñez (2017), incorporaron harina de chontaduro (0, 25 y 50%) y harina de maíz a un producto extruido, con el fin de caracterizar los principales compuestos bioactivos (fenoles totales, vitamina C y carotenoides) y la capacidad antioxidante. La mezcla de harinas fue extruida en un equipo de tornillo único, con perfil de temperatura de 40-73-174-178°C; los productos se cortaron a una longitud de 4 cm, y se sometieron a secado por aire caliente con temperatura de 60°C, hasta obtener un extruido con humedad menor al 5%. El contenido de carotenoides se determinó en la harina de chontaduro y en el producto extruido; en este estudio se obtuvieron valores de  $\beta$ -caroteno de  $5,85 \pm 0,12$  mg/100g para la harina de chontaduro. El proceso de extrusión ocasionó pérdidas en estas sustancias en comparación con la composición de la harina, obteniéndose  $0,52 \pm 0,02$  mg  $\beta$ -caroteno/100g. En definitiva, la incorporación del 25 % de

harina de chontaduro al producto extruido de maíz es una buena opción para el desarrollo de snack de buena calidad nutricional y funcional.

Martínez *et al.* (2017), realizaron un estudio cuyo objetivo fue evaluar el color y características sensoriales de una torta con diferentes inclusiones de harina de cáscara de chontaduro. La harina se añadió en diferentes concentraciones, 2.5, 5.0, 7.5 y 10% (p/p), incluido un control (tartrazina). Se llevaron a cabo análisis fisicoquímicos de las tortas, carotenoides totales, coordenadas de color CIE-L \* a \* b \* y pruebas sensoriales. Los resultados demostraron que la sustitución de harina de cáscara de chontaduro aumentó el contenido total de carotenoides de los pasteles. La prueba de color mostró que los altos niveles de harina de cáscara de chontaduro dieron lugar a una disminución en los valores de luminosidad (L \*) y ángulo de tono (h°), mientras que los valores de índice de dorado (BI) y cambio de color ( $\Delta E^*$ ) aumentaron significativamente. La calificación de la evaluación sensorial indicó que los atributos de calidad eran aceptables en los pasteles hechos con harina de trigo y tortas con el 7.5% de inclusión. Por lo tanto, se concluyó que la harina obtenida de la piel de chontaduro es un subproducto que se puede utilizar como tinte alimentario natural en productos de panificación.

La creciente demanda de productos saludables listos para el consumo motivaron a Basto *et al.* (2016), a realizar una investigación cuyo objetivo principal fue evaluar el efecto de la extrusión en las propiedades fisicoquímicas y el contenido de carotenoides de una harina de maíz con inclusión de harina de pulpa de chontaduro (0, 15 y 25 g/100 g), encontrando una reducción de la expansión seccional (6.1 a 3.8) y aumento de la densidad aparente (0.22 a 0.35 g/cm<sup>3</sup>) con el aumento de inclusión de harina de chontaduro. El perfil de viscosidad de la pasta fue influenciado por la adición de harina de chontaduro, reduciendo la viscosidad del pico frío de 244 a 60.5 mPa.s y aumentando la viscosidad pico de 149 a 306 mPa.s. En las mezclas extruidas aparecieron otros picos, lo que indica la formación de otras formas complejas de lípidos. La harina cruda de chontaduro rojo presentó mayor contenido de  $\beta$ -carotenos (8.1 mg/g), el isómero principal. También se mostró que el contenido total de carotenoides no disminuyó con el perfil de temperatura del proceso de extrusión [30, 50, 80, 90, 90, 100, 100, 100, 130 y 130°C], rotación de los tornillos de 400 rpm, tamaño de boquilla de 8 mm de diámetro, caudal sólido de 8 kg/h y humedad final de las mezclas de 16 g/100 g. Los extruidos se secaron en una estufa con ventilador a 60°C durante 4 h, hasta alcanzar un contenido final de humedad de 5 g/100 g ( $\pm 1$ ).

El desarrollo de un cereal extruido para el desayuno a base de harina de maíz y chontaduro, fue base para estudiar el efecto de los parámetros de extrusión en el índice de expansión, dureza, luminosidad, índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad de agua (ISA). La mezcla fue extruida en un equipo de doble husillo, con un perfil de temperatura de 70-100-130 y 150°C; el producto obtenido fue secado hasta obtener una humedad menor al 5%.

Los resultados de este trabajo mostraron que a menor contenido de harina de chontaduro y humedad, se obtuvo la mayor expansión radial. Al aumentar la humedad, la dureza de los extruidos aumentó significativamente. En cuanto a la luminosidad, altos niveles de

harina de harina de chontaduro disminuyeron los valores de  $L^*$ , produciendo extruidos más oscuros (Montova y Toño, 2013).

Debido a que la identificación y cuantificación de carotenoides se ha llevado a cabo en frutas tropicales y no tropicales, por ser compuestos antioxidantes que tienen un papel de prevención en algunas enfermedades y como fuente de provitamina A necesaria para una buena nutrición humana, Rojas *et al.* (2011) realizaron un estudio para identificar los carotenoides presentes en los pasos requeridos para producir harina de chontaduro originario de Costa Rica. Se identificaron y cuantificaron nueve carotenoides mediante HPLC en la pulpa cruda. Se detectaron 9 en pulpa cocida y 13 carotenoides en la harina de chontaduro, siendo los cinco nuevos producto de la isomerización e hidroxilación de carotenoides en la pulpa cruda. El principal carotenoide es el *trans*  $\beta$ -caroteno. Este carotenoide también estaba presente en la pulpa cruda a una concentración de  $96.0 \pm 1.7 \mu\text{g}$  equivalente de  $\beta$ -caroteno  $\text{g}^{-1}\text{dw}$ . La concentración disminuyó significativamente ( $P < 0.05$ ) durante la cocción y el secado, alcanzando una concentración final de  $33.3 \pm 1.0 \mu\text{g}$  equiv.  $\beta$ -caroteno  $\text{g}^{-1}\text{dw}$  en la harina. La producción de harina redujo ( $P < 0.05$ ) el contenido total de carotenoides de 373.4 a 237.7  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno  $\text{g}^{-1}\text{dw}$ , con una tasa de retención final de 63.7% al final del proceso. Además, 9 de los 14 carotenoides representan altos niveles de provitamina A, que aun así, disminuyeron de 2723 equivalentes de retinol (RE) 100  $\text{g}^{-1}$  en pulpa cruda a 1614 RE 100  $\text{g}^{-1}$  en pulpa cocida y 1289 RE 100  $\text{g}^{-1}$  en harina. Este estudio muestra que pese a los cambios en los niveles y perfil de los carotenoides durante el proceso de la harina de chontaduro y la reducción del valor de provitamina A, el chontaduro es una gran fuente de compuestos bioactivos. Además, se concluyó que el nivel de provitamina A sigue siendo alto en comparación con otras fuentes comunes de este compuesto.

Jatunov *et al.* (2010) determinaron el contenido y composición de los carotenoides de seis variedades de *Bactris gasipaes*, mediante la técnica de espectrofotometría y HPLC con detector de fotodiodos, encontrando diferencias significativas en el contenido total de carotenoides (1.1 a 22.3 mg/100 g). Se encontró que hervir las frutas durante 30 minutos no afectó el contenido total de carotenoides, pero sí la cantidad de algunos carotenoides específicos, principalmente por la producción de isómeros Z. Las variedades de chontaduro presentaron los mismos carotenoides, aunque en diferentes proporciones, presentando principalmente E- $\beta$ -caroteno (26.2 a 47.9 %), Z- $\gamma$ -caroteno (18.2 a 34.3 %) y Z-licopeno (10.2 a 26.8 %). Cuando se evaluó la actividad antioxidante utilizando DPPH, se observó que la variedad con mayores porcentajes de  $\beta$ -caroteno (54.1%) presentó la actividad superior.

Carvalho *et al.* (2010) estudiaron las propiedades funcionales de la tecnología de extrusión de tercera generación, en mezclas de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth) y yuca (*Manihot esculenta* Crantz), por medio de los análisis de densidad aparente, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y viscosidad de la pasta (RVA). Los extruidos fueron formulados, añadiendo 15, 20 y 25% de harina de chontaduro a la harina de yuca, siendo procesados en un extrusor monorosca, escala piloto. Los parámetros de extrusión fueron fijos, utilizando cinco zonas de extrusión con temperaturas de 30, 40, 60, 65 y 70°C; velocidad del tornillo 177 rpm; tasa de

alimentación 292 g/min y matriz laminar de 1 mm. Los extruidos de tercera generación obtenidos presentaron valores relativamente bajos o intermediarios de IAA e ISA, variando de 5,01 a 6,48 g/g y 5,37 a 7,34 % para IAA e ISA, respectivamente. Después del proceso de fritura de los extruidos, se observó expansión y consecuentemente, reducción en la densidad aparente de los mismos.



## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y TEXTURALES DE UN SNACK EXTRUIDO A BASE DE MAÍZ CON ADICIÓN DEL 10 Y 20% DE HARINA DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) VARIEDAD ROJO CAUCA

Para el cumplimiento de este objetivo, fue necesario obtener los snacks expandidos. Las pruebas de índice de expansión, densidad y dureza de los extruidos fueron seleccionadas como método de evaluación de las propiedades físico texturales, con el fin de determinar la calidad de los snacks extruidos.

#### 2.1.1 Obtención de las harinas.

**Obtención de harina de chontaduro.** Los chontaduros variedad rojo Cauca fueron colectados en lugares comerciales del corregimiento Cuatro Esquinas, ubicado a 23 km de la cabecera municipal de El Tambo, localizado a una altura de 1269 msnm con temperatura entre 22 y 28°C, precipitaciones anuales entre 1500 y 2500 mm/año y humedad relativa entre 70 y 80%. Los frutos seleccionados presentaron un diámetro radial promedio de  $3.6 \pm 1$  cm, diámetro longitudinal de  $3.9 \pm 1$  cm y masa promedio de  $33.3 \pm 5$  g, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Chontaduro variedad rojo Cauca



Los frutos fueron seleccionados, lavados, desinfectados con Citrosan por 15 minutos y sometidos a cocción por 30 min a 95°C, con el fin de evitar la pérdida de carotenoides y nutrientes (Jatunov *et al.*, 2010). Terminado este proceso se retiró la cáscara, semilla y se pesó el mesocarpio, luego se cortó en láminas de aproximadamente 0.25 mm de espesor y se deshidrataron por convección a 70°C por 120 minutos en un horno Memmert, hasta llegar a humedad entre el 8 - 9% BH (Rojas *et al.*, 2011). La reducción de tamaño de partícula se hizo utilizando el molino de pines. La harina obtenida fue llevada al Ro-tap

Tyler por 2 minutos en agitación y se pasó por un tamiz marca Standard malla 40 (0.425 mm) según la norma ASTM E-11, con el fin de obtener una muestra uniforme y facilitar el proceso de extrusión. Por último, la harina se almacenó en bolsas marca Cryovac para posteriores pruebas.

Figura 2. Harina de chontaduro después de tamizada



**Obtención de harina de maíz blanco.** Los granos de maíz fueron adquiridos en un centro de abastos. Se realizó una limpieza manual con el fin de eliminar piedras, granos dañados, picados o partículas extrañas; la disminución de tamaño del grano se hizo en el molino de pines. El producto obtenido fue tamizado en el Ro-tap Tyler por 2 minutos en agitación y pasada por un tamiz marca Standard malla 40 (0.425 mm) según la norma ASTM E-11.

**Caracterización de las materias primas.** Fue necesario realizar un análisis proximal por triplicado de las harinas de maíz blanco y chontaduro rojo Cauca. Las muestras para el análisis se obtuvieron por el método de cuarteo manual. La humedad se realizó por secado en un horno marca Dies a 105°C por 5 h hasta peso constante, siguiendo la metodología de la AOAC 977.11. El contenido de cenizas se determinó por incineración en mufla a 450°C durante 10 h, según la AOAC 942.05. El extracto etéreo de las muestras se determinó en Soxhlet, utilizando como solvente éter de petróleo con el 99% de pureza en un equipo Sotest SX-G marca Raypa; para ello se realizó una recirculación continua, extrayendo la grasa y luego se cuantificó por pérdida de peso de la muestra de acuerdo a lo establecido por la AOAC 920.39.

La determinación de la proteína se hizo por el método Kjeldahl de la AOAC 955.04, mediante digestión ácida y destilación de nitrógeno de la muestra, empleando el equipo Distillation Unit DNP marca Raypa y Digestor Raypa. El contenido de fibra se determinó por la AOAC 962.09, con la muestra previamente desengrasada por tratamiento con ácido - base y calcinación en un equipo Fibertest marca Raypa. La determinación de extracto libre de nitrógeno se realizó por cálculo indirecto mediante la ecuación (1).

$$\%ELN= 100 - (\%H + \% C + \%G +\%Pc + \%Fc) \quad (\text{Ec. 1})$$

En donde:

%H= Porcentaje de humedad

%C= Porcentaje de cenizas

%G= Porcentaje de extracto etéreo

%Pc Porcentaje de proteína cruda

%Fc= Porcentaje de fibra cruda

**2.1.2 Formulación y acondicionamiento de los tratamientos.** Los porcentajes de inclusión de harina de chontaduro (0, 10 y 20%) en la mezcla con harina de maíz blanco, se realizaron teniendo en cuenta su contenido de grasa, debido a que altas concentraciones (> 8%) en el proceso de extrusión generan menor fricción, haciendo que la mezcla sea más difícil de cocer y por consiguiente no expanda.

Para el presente ensayo, la inclusión de harina de chontaduro del 20% en la mezcla, arrojó un contenido de grasa de 7.6%, por tanto, este fue el máximo valor fijado de incorporación en la mezcla, como se observa en el cuadro 4. La humedad de los tratamientos se ajustó al  $26 \pm 0.5\%$  BH, mediante la adición de agua y mezclado durante 15 minutos, utilizando la mezcladora Kitchen Id y posterior verificación de la humedad en el equipo Kern DBS. Las mezclas se almacenaron en bolsas Cryovac® herméticamente selladas, en un lugar seco y en condiciones de oscuridad durante 24 horas.

Cuadro 4. Formulación de los snacks extruidos

Materia prima	Blanco (%)	Mezcla 1(%)	Mezcla 2 (%)
Harina de maíz blanco	100	90	80
Harina de chontaduro rojo	0	10	20
Total	100	100	100

**2.1.3 Proceso de extrusión.** Se realizó en el laboratorio de Reología y Empaques de la Universidad del Cauca, utilizando un extrusor de tornillo simple marca Haake Polylab Os, Alemania, controlado por el software Polysoft. El extrusor consta de un tornillo sin fin de 475 mm de longitud (L) y 19 mm de diámetro (D), con una relación L/D 25:1 y relación de compresión del tornillo de 5:1. Se procesaron unidades experimentales de 400 g utilizando una boquilla de 3.0 mm, con velocidad de rotación del tornillo de 140 rpm. Los cordones extruidos fueron secados en un horno marca Memmert a 50°C por 30 min, hasta alcanzar una humedad entre el 5 - 6% BH.

Posteriormente, los cordones fueron cortados manualmente a una longitud aproximada de 20 mm y almacenados en bolsas de polietileno a temperatura ambiente y en condiciones de oscuridad para su posterior análisis.

Figura 3. Extrusión de los tratamientos



#### 2.1.4 Evaluación del producto extruido.

**Índice de expansión.** Se determinó tomando al azar 15 muestras extruidas de cada tratamiento, a las cuales se les determinó el diámetro promedio utilizando un pie de rey analítico y se relacionaron con el diámetro de la boquilla del extrusor (3.0 mm) (Álvarez *et al.*, 1988; Fan *et al.*, 1996 citados por Ding *et al.*, 2005), mediante la ecuación (2).

$$\text{Índice de expansión} = \frac{\text{Diámetro de producto extruido (mm)}}{\text{Diámetro matriz de salida (mm)}} \quad (\text{Ec. 2})$$

**Densidad aparente.** Se determinó tomando al azar 15 muestras extruidas de cada tratamiento, a las cuales se les determinó longitud, diámetro utilizando un pie de rey analítico y masa de los snacks utilizando una balanza analítica marca KERNS AES. La densidad se calculó asumiendo la forma del snack como un cilindro (Fan, Mitchell y Blanshard, 1996).

**Prueba de dureza.** Se utilizó la máquina universal para ensayos mecánicos Instron modelo Shimadzu EZ-L, con una celda de carga de 500 N y émbolo de compresión de cabeza plana, a una velocidad de ensayo de 14 mm/min, comprimiendo cada muestra al 60% de su altura original, proceso controlado por el software Trapesium. Se realizaron 15 mediciones por tratamiento y para cada muestra se tomó por triplicado la longitud y diámetro en el centro del snack con un pie de rey analítico. La dureza se reportó a partir del pico de fuerza de la primera compresión requerida para la rotura de cada muestra.

## 2.2 CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE $\beta$ -CAROTENOS PRESENTES EN EL FRUTO CRUDO, COCIDO, HARINA Y SNACKS EXTRUIDOS A BASE DE MAÍZ, CON ADICIÓN DEL 10 Y 20% DE HARINA DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) VARIEDAD ROJO CAUCA, POR EL MÉTODO UV-VISIBLE

Con el propósito de determinar el efecto de la cocción, secado y extrusión, se realizó la cuantificación de los  $\beta$ -carotenos al fruto de chontaduro crudo, cocido, harina de chontaduro y snacks extruidos.

**2.2.1 Preparación de las muestras.** Se realizó acondicionamiento de las muestras, macerando el chontaduro crudo y cocido con un procesador de alimentos. Los snacks se molieron usando el equipo IKA MF10 Basic, se tamizaron 200 g de cada muestra en un tamiz malla 40 (0.25 mm) para obtener una muestra homogénea. Las muestras fueron procesadas evitando la incidencia de luz directa.

**2.2.2 Extracción de pigmentos carotenoides.** La extracción se realizó siguiendo la metodología descrita por Rodriguez y Kimura (2004) modificada, en tres etapas: extracción sólido-líquido, extracción líquido-líquido y saponificación.

**Extracción sólido-líquido.** Haciendo uso de la campana de extracción se disolvió la muestra (cantidad determinada mediante pruebas preliminares) en un tubo falcón recubierto con papel aluminio, con 5 mL de acetona grado analítico, con pureza del 100%. Se agitó en vórtex por 30s y se dejó reposar 10 minutos. Se añadieron 5 mL de éter de petróleo (98%) y 0.1% m/m de butilhidroxitolueno (BHT) con pureza del 100% y se mezcló por 1 min utilizando vórtex. Posteriormente, se adicionaron 2.5 mL de agua destilada y se agitó en vórtex por 15s. La muestra se centrifugó a 3000 rpm por 10 min a 5°C en un equipo HERMLE Z 326K, separando la fase orgánica de la fase acuosa.

Figura 4. Extracción sólido-líquido del tratamiento T3



Se tomó la fase orgánica con una pipeta graduada y se transfirió a un tubo falcón recubierto con papel aluminio. La fase acuosa se centrifugó nuevamente con 2.5 mL de acetona, 2.5 mL de éter de petróleo, 0.1% de antioxidante BHT y 1.25 mL de agua destilada. Este procedimiento se realizó por duplicado, para asegurar una extracción eficiente. La fase orgánica obtenida se mantuvo en condiciones de refrigeración.

**Extracción líquido-líquido.** La fase orgánica obtenida en la extracción sólido-líquido se mezcló con 5 mL de cloruro de sodio (NaCl) con pureza del 100% 0.1 N, se agitó en vórtex por 15s y se centrifugó a 3000 rpm por 10 min a 5°C, obteniendo una fase orgánica y una fase acuosa. Esta última se centrifugó nuevamente con la adición de 5 mL de NaCl, procedimiento realizado por duplicado. Posteriormente, se transfirió un volumen de 5 mL de la fase orgánica a un embudo de separación de 100 mL recubierto con papel aluminio, se llevó a un volumen de 10 mL con éter de petróleo y 0.1% antioxidante BHT.

**Saponificación de la muestra.** Debido al alto contenido de extracto etéreo (>10%) presente en las muestras, se realizó una saponificación para evitar interferencias en la lectura del equipo. Al contenido del embudo de separación, se adicionaron 10 mL de solución alcohólica de KOH al 10%. La solución se agitó de forma manual por 2 minutos y se dejó en condiciones de oscuridad, sellado y a 19°C durante 12 h. Posteriormente se adicionaron 6.5 mL de éter de petróleo y 12.5 mL de agua destilada. El KOH fue eliminado mediante cuatro lavados sucesivos añadiendo un volumen fijo de 12.5 mL de agua destilada a cada embudo de separación, evitando la emulsificación del compuesto. Se dejó en reposo por 20 minutos, hasta la separación de las fases, descartando la fase acuosa.

**2.2.3 Identificación y cuantificación de los  $\beta$ -carotenos.** La identificación se realizó mediante un barrido espectral en un intervalo de longitudes de onda de 350 a 600 nm, según la metodología usada por Popova *et al.* (2015). De acuerdo con Rodriguez y Kimura (2004), el espectro de absorción del  $\beta$ -caroteno utilizando éter de petróleo como disolvente es de 450 nm. El espectrofotómetro SHIMADZU UV-1800, se calibró con una solución acetona:éter (1:1) con adición de 0.1% TBH. Se procedió a la medición utilizando 4 mL de la fase orgánica desengrasada, mediante la ecuación (3).

$$[\text{Carotenoides}] \frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} = \frac{A * V * 10^4}{E_{1\text{cm}}^{1\%} * W} \quad (\text{Ec. 3})$$

En donde:

A= Absorbancia

V=Volumen del extracto (mL)

$E_{1\text{cm}}^{1\%}$  = Coeficiente de extinción del  $\beta$ -caroteno, usando éter como disolvente.

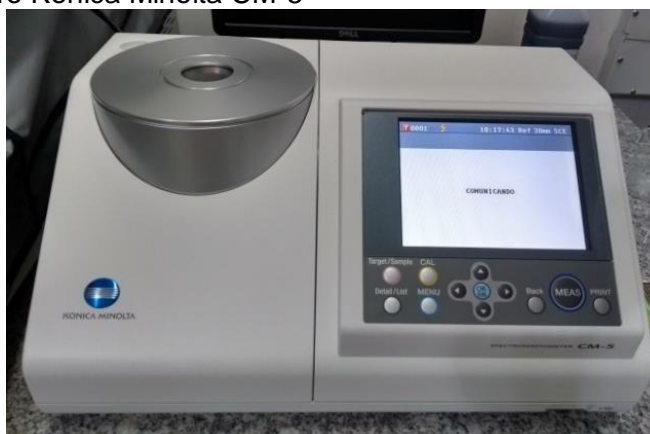
W= Peso de la muestra (g)

## 2.3 DETERMINACIÓN DE COLOR POR EL MÉTODO CIELAB

Se empleó el método de colorimetría triestímulos o CIELAB, utilizando el Spectrophotometer CM-5 marca Konica Minolta, controlado por el software SpectraMagic NX, con iluminante D65 y ángulo observador de 10°.

Las muestras fueron acondicionadas con un procesador de alimentos y tamizadas en malla 40 (0.25 mm). Se tomaron aproximadamente 5 g de muestra y se depositaron en la mini placa Petri previamente limpia, seca y libre de interferencias que puedan afectar la medida. El color se expresó en los parámetros CIE-Lab como  $a^*$  ( $-a^*$  = verde y  $+a^*$  = enrojecimiento) y  $b^*$  ( $-b^*$  = azul y  $+b^*$  = amarillo).

Figura 5. Colorímetro Konica Minolta CM-5



## 2.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño factorial 2x3 (cuadro 5), con tres réplicas para cada tratamiento. Como variables de respuesta se establecieron el índice de expansión, densidad, dureza, contenido de  $\beta$ -carotenos y parámetro de color  $a^*$  y  $b^*$ .

Cuadro 5. Diseño experimental

Factores	Niveles	Variables de respuesta
Temperatura de extrusión (°C)	140 145	Contenido de $\beta$ -carotenos (%) Parámetro de color $a^*$ y $b^*$ Propiedades físicas y texturales
Inclusión de harina de chontaduro (%)	0 10 20	

Los resultados obtenidos fueron evaluados mediante un análisis de varianza (ANOVA) con nivel de significancia  $p = 0.05$  y pruebas de comparación múltiple de Tukey ( $p = 0.05$ ), utilizando Minitab 17 como software estadístico para el análisis de los datos obtenidos.

Cuadro 6. Tratamientos del diseño experimental

Tratamiento	Temperatura (°C)	Relación harina de maíz / harina de chontaduro (HM / HCH)
1	140	100 / 0
2	145	100 / 0
3	140	90 / 10
4	145	90 / 10
5	140	80 / 20
6	145	80 / 20



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y TEXTURALES DE UN SNACK EXTRUIDO A BASE DE MAÍZ, CON ADICIÓN DEL 10 Y 20% DE HARINA DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) VARIEDAD ROJO CAUCA

Para evaluar las propiedades físicas y texturales de los extruidos, fue necesario conocer la composición proximal de las materias primas para la formulación y elaboración de los tratamientos.

**3.1.1 Composición proximal de las materias primas.** La composición proximal de las harinas permitió determinar el contenido de los macronutrientes en las materias primas usadas en el proceso de extrusión. El cuadro 7 presenta los resultados obtenidos por triplicado. El factor de conversión de nitrógeno a proteína fue de 6.25.

Cuadro 7. Composición proximal en base seca de las materias primas

Análisis (%)	Harina de chontaduro	Harina de maíz
Humedad	12.0604 ± 0.3251	11.6261 ± 0.0724
Cenizas	1.1009 ± 0.0007	1.3679 ± 0.0006
Proteína bruta	4.1888 ± 0.0035	3.6696 ± 0.0034
Fibra	1.9690 ± 0.0003	1.7951 ± 0.0001
Extracto etéreo	11.2434 ± 0.0029	6.7749 ± 0.0028
ELN	81.4979	86.3925

\*Valores expresados en base seca. \*ELN: Extracto libre de nitrógeno calculado por diferencia.

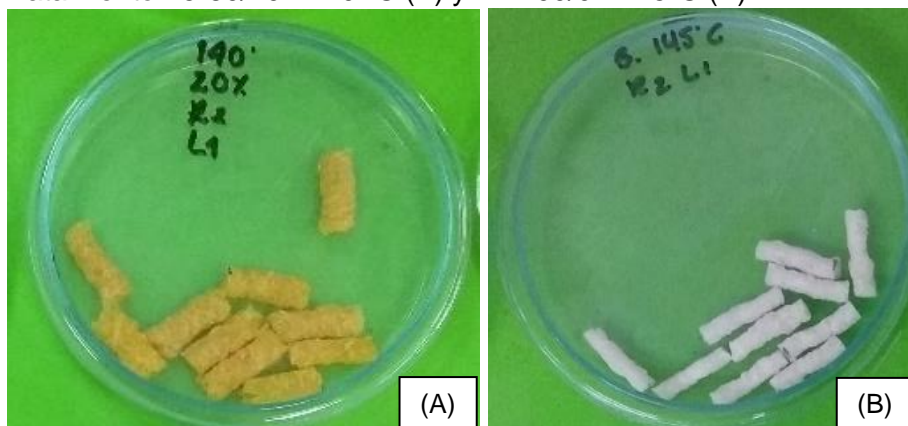
Las harinas utilizadas como ingredientes en la formulación de esta investigación, fueron caracterizadas en su composición proximal, debido a la importancia de tener control de la materia prima en los procesos y garantizar homogeneidad en los resultados bajo condiciones similares de trabajo. La harina de chontaduro presentó un contenido de cenizas, proteína, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno, similares a los reportados por Basto *et al.* (2016) y Valencia *et al.* (2015), quienes encontraron valores de cenizas entre 2.1 y 2.2%, proteína entre 4.4 y 7.0%, extracto etéreo entre 14.6 y 16.7% y extracto libre de nitrógeno entre 70.3 y 78.3%. La harina de chontaduro presentó diferencias en el contenido de fibra, comparado con Valencia *et al.* (2015), quienes reportaron un contenido de 5.4%.

En la harina de maíz se encontraron contenidos de cenizas, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno, similares a los reportados por Rodríguez-Miranda *et al.* (2011), USDA (2018) y Flores *et al.* (2002), quienes reportaron valores de cenizas entre 1.7 y 1.73%, extracto etéreo entre 4.8 y 5.2% y extracto libre de nitrógeno entre 75.9 y 82.3%. Se encontró diferencia entre el contenido de proteína y fibra cruda de la harina de maíz con los reportados por la USDA (2018) y Rodríguez *et al.* (2011), quienes encontraron valores de proteína entre 10.3 y 11,2 y fibra cruda entre 3.2 y 6.9%. El contraste de los valores reportados en la composición proximal de las harinas de chontaduro y maíz, comparadas

con los autores mencionados, se pudo deber por factores como la región de origen de la materia prima, condiciones de cultivo y variedad, entre otros (Rodríguez, 1996; Rosso y Mercadente, 2007, citados por Martínez y Ordóñez, 2016). Las altas concentraciones de carbohidratos encontrados en las harinas de chontaduro y de maíz, favorecen los productos extruidos.

**3.1.2 Propiedades físicas.** El índice de expansión y densidad aparente son propiedades utilizadas como indicadores en la formación de productos expandidos, ya que describen de forma indirecta el grado de transformación del almidón y variaciones de peso y volumen que sufre la mezcla amilácea después de salir del extrusor, y permiten predecir la aceptabilidad de los productos por parte del consumidor (Basto *et al.*, 2016). Estas propiedades dependen de factores como cantidad de almidón, contenido de agua, lípidos, fibra, grado de gelatinización y caída de presión en la matriz. Esta última causa una rápida ebullición del agua, formando fuertes estructuras celulares (Lehnebach, 2006).

Figura 6. Tratamiento T5-80/20 - 140 °C (A) y T2-100/0 - 145°C (B)



Cuadro 8. Resultados de las propiedades físicas de los extruidos

Tratamientos	Índice de expansión	Densidad (mg/mm <sup>3</sup> )	Dureza (N)
T1	1,8082 ± 0,006 <sup>d</sup>	0,3368 ± 0,0010 <sup>c</sup>	75,9138 ± 0,2967 <sup>c</sup>
T2	1,3973 ± 0,0057 <sup>f</sup>	0,4080 ± 0,0006 <sup>a</sup>	97,8662 ± 1,4178 <sup>a</sup>
T3	2,1071 ± 0,0094 <sup>c</sup>	0,3166 ± 0,0004 <sup>d</sup>	71,9912 ± 0,3265 <sup>d</sup>
T4	1,6705 ± 0,0010 <sup>e</sup>	0,3768 ± 0,0016 <sup>b</sup>	86,8403 ± 2,9063 <sup>b</sup>
T5	2,4967 ± 0,0080 <sup>a</sup>	0,2634 ± 0,0013 <sup>f</sup>	31,3101 ± 1,2001 <sup>f</sup>
T6	2,2168 ± 0,0040 <sup>b</sup>	0,3113 ± 0,0010 <sup>e</sup>	41,3452 ± 0,4069 <sup>e</sup>

T1-100/0 – 140 °C; T2-100/0 – 145 °C; T3-90/10 – 140 °C; T4-90/10 – 145 °C; T5-80/20 – 140 °C; T6-80/20 - 145 °C. Las diferentes letras en las columnas indican diferencia significativa (p < 0,05) entre los tratamientos.

El análisis de varianza ANOVA (Anexos A, B y C) muestra diferencias significativas (p < 0.05) para las pruebas de índice de expansión, densidad y dureza de los tratamientos. El tratamiento T5-80/20 – 140 °C, presentó mayor expansión, menor densidad y dureza; respecto al tratamiento T2-100/0 - 145 °C (Ver figura 6), el cual presentó menor expansión y por tanto mayor densidad y dureza.

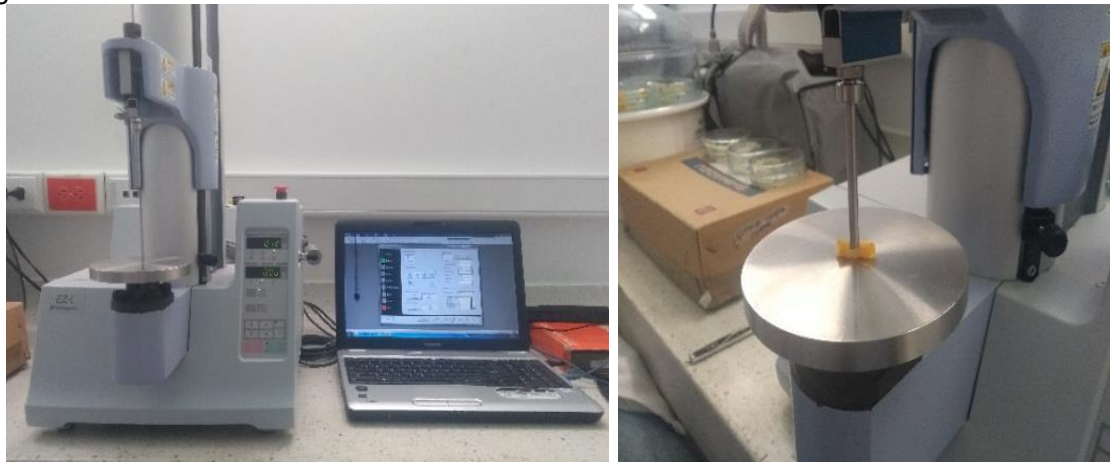
Las diferencias registradas en las propiedades físicas evaluadas pueden deberse principalmente al contenido y tipo de almidón, además de la temperatura de extrusión (140 y 145 °C).

Según Camire *et al.* (1990), citados por Jisha *et al.* (2010), los contenidos de amilosa y amilopectina tienen un efecto importante en la expansión. La relación amilosa: amilopectina reportada por Valencia *et al.* (2015) en harina de chontaduro, es de 17.8:82.2, mientras que en harina de maíz se reporta una relación de 28.3:71.7 (Hernández *et al.*, 2008). De acuerdo con estos datos, se observa mayor contenido de amilopectina en harina de chontaduro; según Alvarez *et al.* (1988), citados por Basto *et al.* (2016), altos contenidos de amilopectina potencian la expansión en los procesos de extrusión, ya que la amilopectina posee mayor capacidad de retención de agua por su estructura, razón por la cual posiblemente se obtuvo mayor expansión al incluir harina de chontaduro.

Álvarez *et al.* (1988), observaron que la expansión disminuye a medida que incrementa el contenido de amilosa y reporta que a mayor contenido de amilopectina se obtiene mayor expansión, siempre y cuando esta no sea sometida a un daño mecánico, el cual generaría menor cohesividad, disminuyendo la expansión. El cambio de temperatura de extrusión de 140 a 145°C, pudo provocar un daño mecánico siendo una posible razón por la cual los snacks extruidos a 140°C, presentaron mayor expansión comparados con los sometidos a 145°C.

Las microestructuras del alimento cambian a medida que aumenta la temperatura y presión de extrusión; para lograr la mayor expansión del pellet, según Yoshitomi (2004), se debe llegar al punto de equilibrio entre la óptima gelatinización de la mezcla (temperatura de cocción), expansión (presión, viscosidad) y tamaño de las celdas en el interior del extruido. Para este estudio, el equilibrio se encontró mediante pruebas preliminares a temperatura promedio de extrusión de 140°C.

Figura 7. Prueba de dureza realizada a los extruidos



### 3.2 CUANTIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE $\beta$ -CAROTENOS PRESENTES EN EL FRUTO CRUDO, COCIDO, HARINA Y SNACKS EXTRUIDOS A BASE DE MAÍZ, CON ADICIÓN DEL 10 Y 20% DE HARINA DE CHONTADURO (*Bactris gasipaes*) VARIEDAD ROJO CAUCA, POR EL MÉTODO UV-VISIBLE

**3.2.1 Identificación y cuantificación de  $\beta$ -carotenos.** Los cambios en el contenido de carotenoides son una función de factores tecnológicos, asociación de carotenoides con ácidos grasos o proteínas, perfil y contenido total de carotenoides (Gama y Sylos, 2005; De Sá y Rodríguez, 2004; Abushita *et al.*, 2000; Lessin *et al.*, 1997, citados por Rojas *et al.*, 2011). Para el presente trabajo, los procesos de cocción, molienda y secado empleados para obtener harina de chontaduro, afectaron el contenido de  $\beta$ -carotenos, pasando de  $84.9145 \pm 1.0571$   $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno/g de fruto crudo a  $29.9610 \pm 0.1216$   $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno/g de harina de chontaduro, representando una pérdida del 64.72% (cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados del contenido de  $\beta$ -carotenos por Uv-Visible

Tratamientos	Contenido de $\beta$ -carotenos ( $\mu\text{g/g}$ )
Chontaduro crudo	$84.9145 \pm 1.0571$
Chontaduro cocido	$52.5345 \pm 1.4234$
Harina de chontaduro	$29.9610 \pm 0.1216$
Harina de maíz blanco	$0.2220 \pm 0,000$

Esta disminución pudo deberse a la inestabilidad de estos compuestos al ser expuestos a altas temperaturas de cocción ( $90^\circ\text{C}$  por 30 min), secado por tiempos prolongados ( $70^\circ\text{C}$  por 120 min) y presencia de oxígeno (Rodríguez, 1996, citado por Rojas *et al.*, 2011). La disminución en el contenido de  $\beta$ -carotenos desde el chontaduro crudo hasta la obtención de la harina también es reportada por Rojas *et al.* (2011), quienes encontraron cambios en el contenido de carotenoides entre el chontaduro crudo y la harina de variedades naranja y roja-Costa Rica, en el contenido de 13-cis  $\beta$ -caroteno que pasó de  $31.5 \pm 0.3$   $\mu\text{g/g}$  en pulpa cruda a  $19.8 \pm 1.7$   $\mu\text{g/g}$  en harina y en all- trans  $\beta$ -caroteno que pasó de  $96 \pm 1.7$   $\mu\text{g/g}$  en pulpa cruda a  $33.3 \pm 1.0$   $\mu\text{g/g}$  en harina, obteniendo una disminución en el contenido de  $\beta$ -carotenos totales. Basto *et al.* (2016), reportaron un contenido inicial de  $53.8 \pm 3.0$   $\mu\text{g/g}$  de  $\beta$ -carotenos totales en pulpa de chontaduro rojo crudo y  $8.1$   $\mu\text{g/g}$  en la harina, obteniendo una pérdida del 85%. Pese a la reducción en el contenido total de  $\beta$ -carotenos entre el fruto crudo y la harina de chontaduro (64.72%), para el presente estudio la harina de chontaduro logró ser una fuente natural de pigmentos carotenoides.

Cuadro 10. Resultados del contenido de  $\beta$ -carotenos por Uv-Visible

Tratamientos	Contenido de $\beta$ -carotenos ( $\mu\text{g/g}$ )
T1	$0,7305 \pm 0,1773^d$
T2	$0,5231 \pm 0,0580^d$
T3	$9,1089 \pm 0,8316^c$
T4	$6,5921 \pm 0,5090^c$
T5	$26,9216 \pm 2,3843^a$
T6	$19,6366 \pm 0,5985^b$

T1-100/0 –  $140^\circ\text{C}$ ; T2-100/0 –  $145^\circ\text{C}$ ; T3-90/10 –  $140^\circ\text{C}$ ; T4-90/10 –  $145^\circ\text{C}$ ; T5-80/20 –  $140^\circ\text{C}$ ; T6-80/20 –  $145^\circ\text{C}$ . Las diferentes letras en las columnas indican diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos.

En el cuadro 10 se observa una tendencia en la disminución del contenido de  $\beta$ -carotenos entre los tratamientos procesados a 140°C (T1, T3 y T5), respecto a los tratamientos extruidos a 145°C (T2, T4 y T6), presentando diferencia significativa los tratamientos T5-80/20 – 140°C y T6-80/20 – 145°C. La tendencia en la reducción de  $\beta$ -carotenos con el aumento de temperatura, está relacionada con procesos enzimáticos y reacciones de oxidación y degradación de las moléculas, reportados por Rodríguez (1996) citado por Rojas *et al.* (2011).

Se evidenció un incremento en la concentración de  $\beta$ -carotenos proporcionalmente a la inclusión de harina de chontaduro, al pasar de 0 a 20% en los productos extruidos. Además, el contenido de  $\beta$ -carotenos supera el valor esperado respecto a su contenido inicial. En el cuadro 9 se observa que la harina de chontaduro presentó un contenido de 29.9610  $\mu\text{g/g}$ . Al realizar una incorporación del 10% de harina de chontaduro en una mezcla con harina de maíz, se esperaría obtener un valor de  $\beta$ -carotenos proporcional a su inclusión, siendo un valor cercano a 2.9  $\mu\text{g/g}$ ; sin embargo, para la inclusión del 10 y 20% se obtuvieron valores superiores, registrando para la primera valores de 6.5921 y 9.1089  $\mu\text{g/g}$  y para la segunda, de 19.6366 y 26.9216  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno/g.

Basto *et al.* (2016), reportaron que el contenido total de carotenoides aumentó con el proceso de extrusión. La conservación de  $\beta$ -carotenos y el aumento de la disponibilidad en los productos extruidos, lo atribuyeron a la presencia de una matriz de proteína-carbohidrato, la cual pudo haber contenido este compuesto bioactivo antes del proceso de extrusión. Así mismo, Borrelli *et al.* (2003), concluyeron que la posible formación de una red de caroteno-lípido-proteína, protege los carotenoides de la desnaturalización térmica y la ruptura de esta red pudo haber promovido su liberación.

Debido a que el proceso de extrusión incluye tiempos cortos de cocción con cizallamiento, es posible que el tiempo no haya sido el necesario para causar daño en los compuestos de bajo peso molecular; por el contrario el calentamiento y cizallamiento pudieron haber causado una ruptura en los compuestos de la pared celular, liberando los  $\beta$ -carotenos y ayudando a mejorar el rendimiento de extracción durante el análisis (Rojas *et al.*, 2011; Shi *et al.*, 2008, citados por Basto *et al.*, 2016).

### **3.3 PRUEBA DE COLORIMETRÍA TRIESTÍMULOS POR EL MÉTODO CIELAB**

Debido a que el color es un parámetro importante en la aceptación de los alimentos por parte del consumidor, se empleó el método de colorimetría triestímulos o CIELAB para evaluar las propiedades de color  $a^*$  y  $b^*$  de los tratamientos y tener información acerca del chontaduro crudo, cocido y harina de chontaduro. Se observó que los frutos crudo y cocido presentaron valores similares, mientras la harina de chontaduro presentó valores más bajos, debido a los cambios de color causados por el proceso de secado. Según Abonyi *et al.* (2002), la degradación de los carotenos durante el secado alterará inevitablemente la percepción del color de los productos secos.

Cuadro 11. Resultado de la variable de color a\* (coordenadas color verde/rojo) y b\* (coordenadas color azul/amarillo)

Tratamientos	Parámetro de color a*	Parámetro de color b*
Chontaduro crudo	23,3150 ± 0,2616	63,8050 ± 0,0778
Chontaduro cocido	26,3000 ± 0,6364	62,5200 ± 2,0648
Harina de chontaduro	17,9950 ± 0,1202	57,5750 ± 0,5445
Harina de maíz blanco	-1,8450 ± 0,063	7,5450 ± 0,021

Cuadro 12. Resultado de la variable de color a\* (coordenadas color verde/rojo) y b\* (coordenadas color azul/amarillo)

Tratamientos	Parámetro de color a*	Parámetro de color b*
T1	-1,1333 ± 0,3453 <sup>d</sup>	14,8700 ± 0,3396 <sup>d</sup>
T2	-1,1000 ± 0,4800 <sup>d</sup>	14,8933 ± 0,4661 <sup>d</sup>
T3	11,7133 ± 0,3308 <sup>b</sup>	44,4033 ± 0,0568 <sup>b</sup>
T4	10,2533 ± 0,6421 <sup>c</sup>	41,2267 ± 1,2738 <sup>c</sup>
T5	17,7100 ± 0,4859 <sup>a</sup>	54,3033 ± 0,5781 <sup>a</sup>
T6	16,9600 ± 0,7385 <sup>a</sup>	52,5600 ± 1,5943 <sup>a</sup>

T1-100/0 – 140 °C; T2-100/0 – 145 °C; T3-90/10 – 140 °C; T4-90/10 – 145 °C; T5-80/20 – 140 °C; T6-80/20 - 145° C. Las diferentes letras en las columnas indican diferencia significativa (p < 0,05) entre los tratamientos.

En el cuadro 11 se observa que el parámetro de color b\* (coordenadas azul/amarillo) es mayor para todas las muestras que contienen harina de chontaduro, respecto al parámetro a\* (coordenadas verde/rojo); esto puede ser atribuido al tipo de carotenoide que predomina en la fruta (Rojas *et al.*, 2011). Moreno *et al.* (2012) mencionan que la coloración de los carotenoides oscila entre el amarillo ( $\beta$ -caroteno) y el rojo (licopeno); según Basto *et al.* (2016), el pigmento que se encuentra en mayor proporción en harina de chontaduro rojo es el  $\beta$ -caroteno. La presencia de sistemas de dobles enlaces en los carotenoides permiten formar un cromóforo (parte de la estructura responsable de la absorción de luz visible y por tanto del color del compuesto) cuya capacidad de absorción de luz da lugar a los colores característicos de estos pigmentos (anaranjado-amarillo), el número de dobles enlaces conjugados y la presencia de diferentes grupos funcionales, determinarán finalmente las características espectroscópicas propias de cada pigmento (Moreno *et al.*, 2012).

Se observó disminución significativa en los parámetros de color entre los tratamientos T3-90/10 – 140 °C y T4-90/10 – 145 °C, pasando de 11.71 a 10.25 y de 44.40 a 41.22 para las coordenadas a\* y b\*, respectivamente, esta variación se pudo dar por el cambio de temperatura en el proceso de extrusión (Rodríguez, 1996, citado por Rojas *et al.*, 2011). Los análisis colorimétricos realizados a los snacks mostraron agrupación de cuatro conjuntos (a, b, c, d).

El color amarillo fue el predominante en los tratamientos con inclusión de harina de chontaduro (T3, T4, T5 y T6), especialmente para T5-80/20 – 140° C y T6-80/20 - 145°C, los cuales presentaron mayor índice de amarillamiento (54.30 y 52.56) respecto a los demás productos extruidos (Cuadro 12), ya que son los tratamientos con mayor porcentaje de inclusión de harina de chontaduro. Los valores para el parámetro a\* fueron

negativos en los tratamientos T1-100/0 – 140°C y T2-100/0 – 145°C, debido a la ausencia de harina de chontaduro, la cual aporta la coloración amarilla-roja.

Se evidenció un incremento en el resultado del parámetro  $b^*$  conforme la inclusión de harina de chontaduro, que pasa de 0 a 20% en los productos extruidos. El valor del parámetro  $b^*$ , al igual que en la prueba de espectrofotometría por UV visible, supera el valor esperado respecto a su contenido inicial. En el cuadro 11 se observa que la harina de chontaduro presentó un valor de 57.57 para el parámetro de color  $b^*$ ; al realizar una incorporación del 10% de harina de chontaduro en una mezcla con harina de maíz, se esperaba obtener un valor de  $b^*$  proporcional a su inclusión. Sin embargo, para la inclusión del 10 y 20% se obtuvieron valores superiores, registrando para la inclusión del 10% valores de 41.22 y 44.40 y para la inclusión del 20% valores de 52.56 y 54.30. Este aumento se atribuye al proceso de extrusión, ya que ocasionó la ruptura de la matriz que contenía carotenoides (Basto *et al.*, 2016 y Borrelli *et al.*, 2003), obteniendo así una mejor extracción de estos pigmentos.

#### 4. CONCLUSIONES

La inclusión del 20% de harina de chontaduro (*Bactris gasipaes*), en un snack extruido a base de maíz, tuvo un efecto positivo en las propiedades físicas y texturales, provocando un aumento en el índice de expansión, disminución de la densidad y dureza de los snacks extruidos, debido al alto contenido de amilopectina presente en la harina de chontaduro.

Los  $\beta$ -carotenos fueron inestables a las temperaturas y largos tiempos empleados en los procesos de cocción y secado para la obtención de harina de chontaduro, pasando de 84.9145  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno/g de fruto crudo a 29.9610  $\mu\text{g}$  de  $\beta$ -caroteno/g de harina de chontaduro. Sin embargo, el proceso de extrusión incrementó la disponibilidad de  $\beta$ -carotenos en los snacks, comportamiento relacionado posiblemente con operaciones mecánicas de mezclado y cizalla, además de alta temperatura y tiempo que promovieron la liberación de estos compuestos.

El uso de harina de chontaduro rojo Cauca en extruidos a base de maíz, puede llegar a ser una alternativa viable para dar valor agregado a la agro-cadena del chontaduro, haciendo uso de sus propiedades funcionales relacionadas con el alto contenido de  $\beta$ -carotenos como colorante natural y el aporte en las propiedades físicas al producto extruido final.



## 5. RECOMENDACIONES

Ampliar el estudio en la etapa de extrusión, cambiando las variables de trabajo, evaluando el efecto de la velocidad y configuración de tornillo, humedad de la mezcla, nuevos rangos de temperatura, así como la respuesta operacional medida en variables como torque y presión, ya que estas variables son fundamentales en las características físicas y conservación de los carotenoides.

Realizar la formulación completa del snack mediante la inclusión de aditivos necesarios para su comercialización, como expansores, edulcorantes y emulsificantes, que permitan mejorar las características sensoriales, nutricionales y funcionales de los extruidos.

Ampliar el estudio de las propiedades texturales de los snacks extruidos, mediante pruebas de crocancia y crujencia, que permitan definir su estructura interna y características de horneado.

Realizar pruebas hedónicas para el análisis sensorial, que permitan medir la preferencia de los consumidores hacia el producto final extruido, ya que una textura no esperada es responsable del rechazo por parte del consumidor.

Realizar una prueba de cromatografía líquida (HPLC), para precisar el contenido total de carotenoides, especialmente los  $\beta$ -carotenos contenidos en la harina de chontaduro, que son mayoritarios.

Determinar la relación proteína:carbohidrato, mediante pruebas de micrografía electrónica de barrido o SEM.

Evaluar parámetros de humedad, actividad de agua y dureza instrumental, como indicadores de vida útil en los productos extruidos.

## BIBLIOGRAFÍA

ABONYI, B.I.; FENG, H.; TANG, J.; EDWARDS, C.G.; CHEW, B.P.; MATTINSON, D.S. y FELLMAN, J.K. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window™ system. En: *Journal of Food Science*, 2002, vol. 67, no. 3, pág. 1051–1056.

BASTO, G.J.; CARVALHO, C.W.P.; SOARES, A.G.; COSTA, H.T.G.B.; CHÁVEZ, D.W.H.; GODOY, R.L. y PACHECO, S. Physicochemical properties and carotenoid content of extruded and non-extruded corn and peach palm (*Bactris gasipaes*, Kunth). En: *LWT - Food Science and Technology*, 2016, vol. 69, pp. 312-318. ISSN 00236438. DOI 10.1016/j.lwt.2015.12.065.

BERK, Z. Food process engineering and technology. En: *Food science and technology*, 2009. ISBN 978-0-12-373660-4.

BORRELLI, G.M.; DE LEONARDIS, A.M.; FARES, C.; PLATANI, C. y DI FONZO, N. Effects of modified processing conditions on oxidative properties of semolina dough and pasta. En: *Cereal Chemistry*, 2003, vol. 80, no. 2, pp. 225–231.

CÁÑEZ CARRASCO, M.G. y GARCÍA ALEGRÍA, A.M. validación de un método analítico para la determinación de fósforo por espectrofotometría ultravioleta-visible. En: *Biotecnia*, 2015, vol. 17, no. 1, pp. 32–39.

CARVALHO, A.V.; DE VASCONCELOS, M.A.M.; SILVA, P.A.; ASSIS, G.T. y ASCHERI, J.L.R. Caracterização tecnológica de extrusados de terceira geração à base de farinhas de mandioca e pupunha. En: *Embrapa Amazônia Oriental*, 2010.

CHAPARRO VEGA, M.C. Obtención de aceite a partir de los residuos del chontaduro. Tesis Ingeniería Química. Universidad del Valle. Cali: 2012.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL MADR. Chontaduro [en línea]. MADR ©: s.f. [citado 16, febrero, 2018]. Disponible en internet en: <https://www.minagricultura.gov.co/paginas/default.aspx>.

\_\_\_\_\_. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Estadísticas [en línea]. Agronet © 2016 [citado 10, octubre, 2018]. Disponible en internet en: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>.

CONTRERAS CALDERÓN, J., CALDERÓN JAIMES, L.; GUERRA HERNÁNDEZ, E. y GARCÍA VILLANOVA, B. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp,

peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. En: Food Research International, 2011, vol. 44, no. 7, pp. 2047-2053. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2010.11.003.

CORNEJO, F.; CHUCHUCA, G.; DICK, A. y PEÑAFIEL, J. Implementación y validación de una metodología económica para la medición de color aplicada en alimentos. Tesis Ingeniería de Alimentos, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador: 2015.

DELMORO, J.; MUÑOZ, D.; NADAL, V.; CLEMENTZ, A. y PRANZETTI, V.. El color en los alimentos: determinación de color en mieles. En: Invenio Revista de investigación académica, 2010, no. 25, pág. 145–152.

DING, Q.B.; AINSWORTH, P.; TUCKER, G. y MARSON, H.. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. En: Journal of Food Engineering, 2005, vol. 66, no. 3, pág. 283-289.

ESTADOS UNIDOS. USDA. Food Composition Databases Show Foods -- Corn Flour, UPC: 039978004697 [en línea]. USDA: s.f. [citado 19, febrero, 2019]. Disponible en: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/45093069?fgcd=&manu=&format=&count=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=FLOUR+%2B+CORN&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=>.

FAN, J.; MITCHELL, J.R. y BLANSHARD, J.M. The effect of sugars on the extrusion of maize grits: I. The role of the glass transition in determining product density and shape. En: International journal of food science & technology, 1996, vol. 31, no. 1, pp. 55–65.

FLORES FARIÁS, R.; MARTÍNEZ BUSTOS, F.; SALINAS MORENO, Y. y RÍOS, E. Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. En: Agrociencia, 2002, vol. 36, no. 5.

GODOY, S.P.; PENCUE, L.; RUIZ, A. y MONTILLA, D.C. Clasificación automática del chontaduro (*Bactris Gassipaes*) para su aplicación en conserva, mermelada y harinas. En: Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, 2007, vol. 5, no. 2, pág. 137–146.

GONZÁLEZ CÁRDENAS, I.A. Caracterización química del color de diferentes variedades de Guayaba (*Psidium guajava* L.) colombiana. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá: 2010.

HERNÁNDEZ MEDINA, M.; TORRUCO UCO, J.G.; CHEL GUERRERO, L. y BETANCUR ANCONA, D. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. En: Food Science and Technology, 2008, vol. 28, no. 3, pág. 718–726.

JATUNOV, S.; QUESADA, S.; DÍAZ, C. y MURILLO, E. Carotenoid composition and antioxidant activity of the raw and boiled fruit mesocarp of six varieties of *Bactris gasipaes*. En: Archivos latinoamericanos de nutrición, 2010, vol. 60, no. 1, pág. 99.

JISHA, S.; SHERIFF, J.T. y PADMAJA, G. Nutritional, functional and physical properties of extrudates from blends of cassava flour with cereal and legume flours. En: International Journal of Food Properties, 2010, vol. 13, no. 5, pág. 1002-1011. ISSN 1094-2912.

LAI, L.S. y KOKINI, J.L. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion.(a review). En: Biotechnology progress, 1991, vol. 7, no. 3, pág. 251–266.

MARTÍNEZ GIRÓN, J. y ORDÓÑEZ SANTOS, L.E. Determinación de la concentración de pigmentos carotenoides en harina de residuos de chontaduro (*Bactris gasipaes*). En: Producción+ Limpia, 2016, vol. 11, no. 1, pág. 85–93.

\_\_\_\_\_; RODRÍGUEZ, X.; PINZÓN, L.X. y ORDÓÑEZ, L.E. Caracterización físico-química de harina de residuos del fruto de chontaduro obtenida por secado convectivo. En: Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 2017, vol. 18, no. 3, pág. 599-613.

MATHIAS-RETTIG, K. y AH-HEN, K. El color en los alimentos un criterio de calidad. En: Agrosur, 2014., vol. 42, no. 2.

MONTOVA, A. y TOÑO, F. Desarrollo de un Snack tipo tortilla a base de fruto de pijuayo (*Bactris gasipaes* Kunth). En: Revista de la Universidad Agraria de la Selva, 2013.

MORENO, J.R.; GORRITI, M.F.; FLORES, M.R. y ALBARRACÍN, V.H. Microbiología ambiental y ecología microbiana en el estudio de microorganismos en ambientes extremos. En: REDUCA (Biología), 2012, vol. 5, no. 5.

MOSQUERA, Enith. Evaluación de la calidad de pellets extruidos elaborados con materias primas no convencionales para la alimentación de cerdos. Tesis Maestría Ingeniería Agroindustrial. Universidad Nacional de Colombia. Palmira: 2014.

PASQUEL, A.; DEL CASTILLO, A.; SOTERO, V. y GARCÍA, D. Extracción del aceite de la cáscara de *Bactris gasipaes* HBK usando dióxido de carbono presurizado. En: Alimentaria, 2002, vol. 2, no. 1, pág. 1–14.

PAULA, A.M. y CONTI SILVA, A.C. Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. En: Journal of Food Engineering, 2014, vol. 121, pp. 9-14. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007.

PINZÓN-ZÁRATE, L.X.; HLEAP-ZAPATA, J.I. y ORDÓÑEZ-SANTOS, L.E. Análisis de los parámetros de color en salchichas frankfurt adicionadas con extracto oleoso de residuos de chontaduro (*Bactris Gasipaes*). En: Información tecnológica, 2015, vol. 26, no. 5, pág. 45-54. ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642015000500007.

POP, E.A.; DIACONEASA, Z.M.; FETEA, F.; BUNEA, A.; DULF, F.; PINTEA, A. y SOCACIU, C. Carotenoids, tocopherols and antioxidant activity of lipophilic extracts from sea buckthorn berries (*Hippophae rhamnoides*), apricot pulp and apricot kernel (*Prunus armeniaca*). En: Food Science and Technology, 2015, vol. 72, no. 2. ISSN 2344-5300, 2344-2344. DOI 10.15835/buasvmcn-fst:11425.

RODRIGUEZ AMAYA, D.B. y KIMURA, M.. HarvestPlus handbook for carotenoid analysis. S.I. International Food Policy Research Institute (IFPRI) Washington, DC.: 2004.

RODRÍGUEZ MIRANDA, J.; RUIZ LÓPEZ, I.I.; HERMAN LARA, E.; MARTÍNEZ SÁNCHEZ, C.E.; DELGADO LICON, E. y VIVAR VERA, M.A. Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. En: LWT - Food Science and Technology, 2011, vol. 44, no. 3, pág. 673-680.

RODRÍGUEZ, E.; FERNÁNDEZ, A. y AYALA, A.. Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. En: Ingeniería e Investigación, 2005, vol. 25, no 1.

ROJAS GARBANZO, C.; PÉREZ, A.M.; BUSTOS CARMONA, J. y VAILLANT, F. Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) flour. En: Food Research International, 2011, vol. 44, no. 7, pág. 2377-2384. ISSN 09639969. DOI 10.1016/j.foodres.2011.02.045.

ROSAS, R.; MARINA, B.L.; JUANITO, Q. y LIZETH, M. Obtención de snack de maíz (*Zea mays*) enriquecido con harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y queso procesados por extrusión [en línea]. Concytec ©: 2012 [citado noviembre, 2018]. Disponible en internet en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP\\_649b101f3b43739139252b0436a60ea5](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_649b101f3b43739139252b0436a60ea5)

RUBIRA MARTÍNEZ, J. Efecto de la humedad relativa y del almacenamiento en los compuestos bioactivos y actividad antioxidante de un producto extruido de harina de maíz y chontaduro (*Bactris gasipaes* HBK). Tesis Ciencia y Tecnología de los alimentos. Universitat Politècnica de València. Departamento de Tecnología de Alimentos. España: 2018.

SENSING, K.M. Entendiendo el espacio de color CIE L\*A\*B\*. Konica Minolta Color, Light, and Display Measuring Instruments [en línea]. Konica ©: 2007 [citado 20, marzo, 2019].

Disponible en: <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>.

TORRES, J.D.; GONZÁLEZ, K.J. y ACEVEDO, D. Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. En: ReCiTeIA, 2015, vol. 14, no. 2, pág. 16-75.

UNAGUL, P.; WONGSA, P.; KITTAKOOP, P.; INTAMAS, S.; SRIKITIKULCHAI, P. y TANTICHAROEN, M. Production of red pigments by the insect pathogenic fungus *Cordyceps unilateralis* BCC 1869. En: Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology, 2005, vol. 32, no. 4, pág. 135-140. ISSN 1367-5435, 1476-5535. DOI 10.1007/s10295-005-0213-6.

VALENCIA, G.A.; MORAES, I.C.F.; LOURENÇO, R.V.; BITTANTE, A.M.Q.B. y SOBRAL, P.J. Physicochemical, morphological, and functional properties of flour and starch from peach palm (*Bactris gasipaes* K.) fruit. En: Starch - Stärke, 2015, vol. 67, no. 1-2, pág. 163-173. ISSN 00389056. DOI 10.1002/star.201400097.

VAN DEN EINDE, R.M.; VAN DER VEEN, M.E.; BOSMAN, H.; VAN DER GOOT, A.J. y BOOM, R.M. Modeling macromolecular degradation of corn starch in a twin screw extruder. En: Journal of Food Engineering, 2005, vol. 66, no. 2, pág. 147-154. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2004.03.001.

VILLENA BALSECA, W.X. Obtención de una bebida instantánea a base de harina extruida de chontaduro (*Bactris gasipaes*). Tesis Ingeniería Agroindustrial. Universidad Estatal Amazónica. Ecuador: 2015

VON ATZINGEN, M.C. y MACHADO PINTO, M.E. Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten. En: CYTA-Journal of Food, 2005, vol. 4, no. 5, pág. 319–323.

YOSHITOMI, B. Effect of extrusion cooking temperature on the microstructure of extruded pellets. En: Fisheries science, 2004, vol. 70, no. 6, pág. 1157–1163.

## ANEXOS

### ANEXO A. Análisis de varianza para la prueba de índice de expansión

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	0,63557	0,635567	15930,15	0,000
Inclusión	2	1,73873	0,869364	21790,15	0,000
Temp * Inclusión	2	0,02120	0,010598	265,62	
Error	12	0,00048	0,000040		
Total	17	2,39597			

#### Resumen del modelo:

S	R-Cuadrado	R-Cuadrado (Ajustado)	R-Cuadrado (Pred)
0,0063164	99,98 %	99,97 %	99,96 %

## ANEXO B. Análisis de varianza para la prueba de densidad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	0,006043	0,006043	5395,24	0,000
Inclusión	2	0,032645	0,016323	14573,73	0,000
Temp * Inclusión	2	0,000646	0,000323	288,28	0,000
Error	12	0,000013	0,000001		
Total	17	0,039347			

### Resumen del modelo:

S	R-Cuadrado	R-Cuadrado (Ajustado)	R-Cuadrado (Pred)
0,0010583	99,97 %	99,95 %	99,92 %



### ANEXO C. Análisis de varianza para la prueba de dureza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	1096,8	1096,83	536,90	0,000
Inclusión	2	8938,0	4469,00	2187,57	0,000
Temp * Inclusión	2	107,8	53,91	26,39	0,000
Error	12	24,5	2,04		
Total	17	10167,2			

#### Resumen del modelo:

S	R-Cuadrado	R-Cuadrado (Ajustado)	R-Cuadrado (Pred)
1,42930	99,76 %	99,66 %	99,46 %

#### ANEXO D. Análisis de varianza para la prueba de $\beta$ -carotenos por UV-Visible

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	50,09	50,091	42,76	0,000
Inclusión	2	1606,70	803,350	685,76	0,000
Temp * Inclusión	2	39,08	19,540	16,68	0,000
Error	12	14,06	1,171		
Total	17	1709,93			

#### Resumen del modelo:

S	R-Cuadrado	R-Cuadrado (Ajustado)	R-Cuadrado (Pred)
1,08234	99,18 %	98,84 %	98,15 %

**ANEXO E. Análisis de varianza para la prueba de colorimetría, parámetro a\***

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	2,37	2,369	14,68	0,002
Inclusión	2	1054,44	527,218	3267,76	0,000
Temp * Inclusión	2	1,67	0,837	5,19	0,024
Error	12	1,94	0,161		
Total	17	1060,41			

**Resumen del modelo:**

S	R-Cuadrado	R-Cuadrado (Ajustado)	R-Cuadrado (Pred)
0,401684	99,82 %	99,74%	99,59 %

## ANEXO F. Análisis de varianza para la prueba de colorimetría, parámetro b\*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Temperatura	1	11,99	11,99	9,66	0,008
Inclusión	2	4758,17	2379,09	1916,83	0,000
Error	14	17,38	1,24		
Falta de ajuste	2	7,71	3,85	4,78	0,030
Error puro	12	9,67	0,81		
Total	17	4787,54			

### Resumen del modelo:

S	R-Cuadrado	R-Cuadrado (Ajustado)	R-Cuadrado (Pred)
1,11407	99,64 %	99,56 %	99,40 %

En donde:

GL: Grados de libertad.  
SC: Suma de cuadrados.  
MC: Cuadrados medios.  
F: Valor F.