



MCA-2018/01

S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO de Tuxtepec

**"OPTIMIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BOTANA
EXTRUDIDA ELABORADA CON HARINA DE MALANGA
(*Colocasia esculenta* L.) Y PULPA DE MANGO
(*Mangifera indica* L.)"**

TESIS

Para Obtener el título de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

PRESENTA:

I.B.Q. CHRISTIAN ALFREDO PENSAMIENTO NIÑO

DIRECTOR:

DR. JESUS RODRIGUEZ MIRANDA

CO-DIRECTOR:

DR. JUAN GABRIEL TORRUCO UCO

TUXTEPEC, OAXACA, ENERO 2018

COMITÉ TUTORIAL

DR. JESUS RODRIGUEZ MIRANDA

DR. JUAN GABRIEL TORRUCO UCO

DR. ERASMO HERMAN Y LARA

DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SÁNCHEZ



S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

**"Optimización y caracterización de una botana
extrudida elaborada con harina de malanga
(*Colocasia esculenta* L.) y pulpa de mango
(*Mangifera indica* L.)"**

TESIS

Para Obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

PRESENTA

**IBQ. CHRISTIAN ALFREDO PENSAMIENTO
NIÑO**

DIRECTOR

DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA

CO-DIRECTOR

DR. JUAN GABRIEL TORRUCO UCO.



MCA-2018/01

Tuxtepec, Oaxaca, México.

Enero, 2018.

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
División de Estudios Profesionales

Procedimiento para la Titulación
Autorización de Presentación del Trabajo Profesional
Referencia a la Norma ISO 9001:2008 7.5.1

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
EXPEDIENTE: DEP-H/18

Tuxtepec, Oaxaca, **22/ENERO/2018**
OFICIO: No. 5082

I.B.Q. CHRISTIAN ALFREDO PENSAMIENTO NIÑO
EGRESADO DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS
CON NÚMERO DE CONTROL M10350047
PRESENTE.

POR MEDIO DE LA PRESENTE ME PERMITO COMUNICARLE QUE LA COMISIÓN REVISORA INTEGRADA POR LOS C.C. **DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA, DR. JUAN GABRIEL TORRUCO UCO, DR. ERASMO HERMAN Y LARA Y DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SÁNCHEZ** REVISÓ Y APROBÓ EN SU TOTALIDAD EL TRABAJO PROFESIONAL DENOMINADO **"OPTIMIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA BOTANA EXTRUDIDA ELABORADA CON HARINA DE MALANGA (*Colocasia esculenta* L.) Y PULPA DE MANGO (*Mangifera indica* L.)"** PRESENTADO POR USTED COMO PRODUCTO DE **TESIS** DEL LINEAMIENTO DE TITULACIÓN CORRESPONDIENTE, PARA OBTENER EL GRADO DE **MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS**.

POR LO ANTERIOR Y DE ACUERDO A LOS LINEAMIENTOS INSTITUCIONALES, SE LE DA TRÁMITE LEGAL PARA QUE PROCEDA A LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO PROFESIONAL.

ATENTAMENTE
"CIENCIA Y TÉCNICA PRESENTES AL FUTURO"

L.I. MARTHA MÓNICA HERNÁNDEZ CRUZ
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

C.c.p.-Coord. de titulación
MMHC/has



SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE TUXTEPEC
DIVISIÓN DE ESTUDIOS
PROFESIONALES



Av. Dr. Víctor Bravo C.P. 68350 Col. 5 de Mayo Tuxtepec, Oaxaca
Teléfono: (287) 87 5 10 44 Ext. 103, Fax: (287) 87 5 18 80
e-mail: info@tux.edu.mx



REGISTRO SGC
Código: ITTUX-AC-PO-008
Revisión:
Fecha de Autorización: 19 Junio 2014

Reservados todos los derechos que no estén expresamente permitidos o autorizados por escrito.



AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada, parte fundamental para llevar a cabo esta investigación.

Agradezco a mi director de tesis al Dr. Jesús Rodríguez Miranda, por brindarme la confianza para llevar a cabo este proyecto de investigación, por su paciencia, compartir sus conocimientos, consejos y brindarme su apoyo incondicional en todo momento durante mi formación profesional.

A mi co-director de tesis el Dr. Juan Gabriel Torruco Uco, por su apoyo, compartir sus conocimientos y brindarme consejos, que me permitieron culminar de buena forma los objetivos de esta tesis.

A mis sinodales Dr. Erasmo Herman Y Lara, Dra. Cecilia E. Martínez Sánchez, por el apoyo brindado, paciencia, por contribuir con sus observaciones, sugerencias y correcciones en esta tesis.

Mis agradecimientos sinceros a todas aquellas personas que compartieron sus conocimientos conmigo para poder culminar esta tesis.

Agradezco a Dios por permitirme tener la bendición de culminar una meta más.

A mi familia, quienes siempre han creído en mí brindándome apoyo incondicional en todo momento para lograr mis metas.



DEDICATORIAS

A mis padres, hermanos, novia y familiares que siempre me han brindado su apoyo, amor y comprensión en todo momento, a todos ellos dedico este logro importante, por siempre impulsarme a cumplir mis metas.



RESUMEN

Pensamiento Niño, C. A., Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Enero, 2018. “Optimización y caracterización de una botana extrudida elaborada con harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.) y pulpa de mango (*Mangifera indica* L.)”. Director: Dr. Jesús Rodríguez Miranda, Co-director: Dr. Juan Gabriel Torruco Uco.

Las botanas se definen como una comida ligera, generalmente una ración individual fácil de manipular, estar lista para comer, ser accesible y de tamaño pequeño que debe mitigar momentáneamente la sensación de hambre. Un proceso industrial versátil para obtenerlos es el proceso de extrusión, que generalmente se realiza a partir de cereales, sin embargo, pueden elaborarse a partir de materias primas no convencionales como la malanga y mango. El objetivo de esta investigación fue la optimización y caracterización de una botana extrudida elaborada con harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.) y pulpa de mango (*Mangifera indica* L.). Las botanas fueron elaboradas empleando un diseño experimental central compuesto con tres variables independientes: contenido de pulpa de mango (0 – 10%), contenido de humedad (16 – 30%) y temperatura de extrusión (80 – 150 °C) y como variables de respuesta en el producto: el índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), textura (TEXT), propiedades funcionales [índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de aceite (IAAC)] y contenido de β -caroteno [β -C] y los parámetros evaluados en el proceso de extrusión fueron: el tiempo de residencia (TR), torque (T_0), presión (P) y la energía mecánica específica (EME).

Los resultados del análisis químico de la harina de malanga (H.M.) y pulpa de mango (P.M.) fueron: de proteínas 6.12 y 4.33 (g/100 g), lípidos 0.25 y 0.33 (g/100 g), fibra cruda 1.82 y 8.83 (g/100 g), cenizas 3.09 y 9.19 (g/100 g), carbohidratos 88.72 y 77.32 (g/100 g) respectivamente. La H.M. presentó mayor luminosidad ($L^* = 91.08$) que la P.M. ($L^* = 81.20$), el [β -C] en la H.M. y P.M. fue de 68.45 y 108.85 ($\mu\text{g/g}$). Las propiedades funcionales que presentó la H.M. y P.M. fueron: IAA = 2.64 y 1.22 (g/g), ISA = 9.98 y 19.71 (%), IAAC = 2.22 y 1.76 (g/g). En los productos se obtuvieron los valores del IE = 0.92 – 1.65, DA = 0.69 – 1.46 (g/cm³), IAA = 5.20 – 6.84 (g/g), ISA = 8.97 – 24.14 (%), IAAC = 1.78 – 2.25 (g/g),



TEXT = 14.04 – 75.35 (N) y $[\beta\text{-C}] = 4.55 - 142.50 (\mu\text{g/g})$. Los coeficientes de regresión lineal múltiple de los parámetros de los productos muestran que el contenido de humedad presentó efecto significativo ($p < 0.05$) negativo y la temperatura efecto significativo ($p < 0.05$) positivo sobre el IE, la disminución del contenido de humedad y aumento de la temperatura generó mayor IE, menor DA y TEXT, sin embargo, la pulpa de mango, presentó efecto significativo ($p < 0.05$) positivo sobre la TEXT, la cual mostró que el aumento del contenido de pulpa de mango incrementó la TEXT de los productos extrudidos. El efecto significativo ($p < 0.05$) positivo del contenido de pulpa de mango sobre el $[\beta\text{-C}]$, mostró que el incremento del contenido de pulpa de mango influyó en la preservación y contenido final del compuesto bioactivo en los productos extrudidos, el contenido de humedad y temperatura no presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre esta variable. En el proceso de extrusión los coeficientes de regresión mostraron para el TR que el contenido de humedad presentó efecto significativo ($p < 0.05$) positivo, el incremento en el contenido de humedad generó más TR de las mezclas durante el proceso de extrusión. El contenido de humedad y temperatura presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo sobre el T_0 , el incremento en estas variables disminuyó el T_0 durante el proceso. Por otra parte, el contenido de pulpa de mango, humedad y temperatura presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo sobre la P, el incremento en los niveles de éstas variables disminuyó la P durante el proceso de extrusión. En la EME el contenido de humedad presentó efecto significativo ($p < 0.05$) negativo, el incremento del contenido de humedad generó menor EME. Las optimizaciones numéricas de los productos extrudidos se realizaron en base a los siguientes parámetros como el mayor IE, menor DA, menor TEXT, mayor $[\beta\text{-C}]$, menor EME y mayor deseabilidad. Se obtuvieron tres productos óptimos, con las siguientes condiciones de procesamiento: contenido de pulpa de mango (6.02, 6.08, 5.92%), contenido de humedad de 18.84% y temperatura de extrusión 135.81 °C, con una deseabilidad de 0.739. Los resultados obtenidos muestran que es posible la obtención de botanas extrudidas con un contenido de β -carotenos aceptable y de buenas características para su consumo, determinando que es viable utilizar frutas tropicales en el proceso de extrusión y elaborar productos botanas a partir de materias primas no convencionales.

ABSTRACT

Pensamiento Niño, C. A., Instituto Tecnológico de Tuxtepec. January, 2018. "Optimization and characterization of an extruded snack made with flour of taro (*Colocasia esculenta* L.) and mango pulp (*Mangifera indica* L.)". Director: Dr. Jesús Rodríguez Miranda, Co-director: Dr. Juan Gabriel Torruco Uco.

Snacks are defined as a light meal, usually an easy-to-manipulate, ready-to-eat, accessible, small-sized serving that must momentarily mitigate the feeling of hunger. A versatile industrial process to obtain them is the extrusion process, which is usually made from cereals, however, they can be made from unconventional raw materials such as taro and mango. The objective of this research was to develop and characterize an extruded snack made with taro flour (*Colocasia esculenta* L.) and mango pulp (*Mangifera indica* L.). The snacks were prepared using a central experimental design composed of three independent variables: content of mango pulp (0 - 10%), moisture content (16 - 30%) and extrusion temperature (80 - 150 °C) and as response variables in the product: the expansion index (EI), bulk density (BD), texture (TEXT), functional properties [water absorption index (WAI), water solubility index (WSI) and oil absorption index (OAI)] and content of β -carotene [β -C] and the parameters evaluated in the extrusion process were: residence time (RT), torque (T_0), pressure (P) and specific mechanical energy (SME).

The results of the chemical analysis of taro flour (T.F.) and mango pulp (M.P.) were: protein 6.12 and 4.33 (g/100 g), lipids 0.25 and 0.33 (g/100 g), crude fiber 1.82 and 8.83 (g/100 g), ash 3.09 and 9.19 (g/100 g), carbohydrates 88.72 and 77.32 (g/100 g) respectively. The T.F. presented greater luminosity ($L^* = 91.08$) than the M.P. ($L^* = 81.20$), the [β -C] in the T.F. and M.P. it was 68.45 and 108.85 ($\mu\text{g/g}$). The functional properties presented by T.F. and M.P. were: WAI = 2.64 y 1.22 (g/g), WSI = 9.98 y 19.71 (%), OAI = 2.22 y 1.76 (g/g). In the products the values of the EI = 0.92 – 1.65, BD = 0.69 – 1.46 (g/cm^3), WAI = 5.20 – 6.84 (g/g), WSI = 8.97 – 24.14 (%), OAI = 1.78 – 2.25 (g/g), TEXT = 14.04 – 75.35 (N) y [β -C] = 4.55 – 142.50 ($\mu\text{g/g}$). The coefficients of multiple linear regression of the parameters of the products show that the moisture content presented significant effect ($p < 0.05$) negative and the

temperature significant effect ($p < 0.05$) positive on the EI, the decrease of the moisture content and increase of the temperature generated higher EI, lower BD and TEXT, however, the mango pulp, had a significant effect ($p < 0.05$) positive on the TEXT, which showed that the increase in the content of mango pulp increased the TEXT of the extruded products. The significant ($p < 0.05$) positive effect of mango pulp content on $[\beta\text{-C}]$, showed that the increase in mango pulp content influenced the preservation and final content of the bioactive compound in the extruded products, the content of humidity and temperature showed no significant effect ($p < 0.05$) on this variable. In the extrusion process, the regression coefficients showed for the RT that the moisture content presented a significant effect ($p < 0.05$), the increase in moisture content generated more RT of the mixtures during the extrusion process. The moisture content and temperature showed a significant effect ($p < 0.05$) on the T_0 , the increase in these variables decreased the T_0 during the process. On the other hand, the content of mango pulp, humidity and temperature showed a significant effect ($p < 0.05$) on the P, the increase in the levels of these variables decreased the P during the extrusion process. In the SME the moisture content presented a significant ($p < 0.05$) negative effect, the increase in moisture content generated lower SME. The numerical optimizations of the extruded products were made based on the following parameters such as the higher EI, lower BD, lower TEXT, higher $[\beta\text{-C}]$, lower SME and greater desirability. Three optimal products were obtained, with the following processing conditions: content of mango pulp (6.02, 6.08, 5.92%), moisture content of 18.84% and extrusion temperature 135.81 °C, with a desirability of 0.739. The results obtained show that it is possible to obtain extruded snacks with an acceptable β -carotene content and good characteristics for consumption, determining that it is feasible to use tropical fruits in the extrusion process and to elaborate snack products from raw materials not conventional.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vii
CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
INTRODUCCIÓN	1
I. MARCO TEÓRICO	1
1.1. MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i> L.)	1
1.1.1. NOMBRES COMUNES	1
1.1.2. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	1
1.1.3. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	2
1.1.4. BOTÁNICA DE LA MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i> L.)	3
1.1.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MALANGA	4
1.1.6. PRINCIPALES USOS DE LA MALANGA	4
1.2. MANGO (<i>Mangifera indica</i> L.)	5
1.2.1. BOTÁNICA DEL MANGO	5
1.2.2. COMPOSICIÓN DEL MANGO	7
1.2.3. CONTENIDO NUTRICIONAL	7
1.2.4. VARIEDADES DE MANGO	8
1.2.5. MANGO VARIEDAD MANILA	9
1.3. CAROTENOIDES	10
1.3.1. ACTIVIDADES BIOLÓGICAS DE LOS CAROTENOIDES	12
1.3.2. β -CAROTENO	12
1.3.3. CAROTENOIDES EN LOS ALIMENTOS	12

1.3.4	IMPORTANCIA DE LOS CAROTENOIDES EN LA DIETA	13
1.3.5	NIVELES DE INGESTA DE CAROTENOIDES	13
1.3.6	CAROTENOIDES EN LA SALUD HUMANA	14
1.3.7	USO DE LOS CAROTENOIDES	14
1.3.	BOTANAS	15
1.3.1.	ASPECTOS GENERALES	15
1.3.2.	CLASIFICACIÓN DE LAS BOTANAS	16
1.3.2.1.	BOTANAS DE PRIMERA GENERACIÓN	16
1.3.2.2.	BOTANAS DE SEGUNDA GENERACIÓN	17
1.3.2.3.	BOTANAS DE TERCERA GENERACIÓN	17
1.3.3.	MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE BOTANAS	17
1.3.3.1.	PROCESO DE EXTRUSIÓN	17
1.3.3.2.	PROCESO DE EXTRUSIÓN SEMI-INDIRECTA	18
1.3.3.3.	PROCESO DE EXTRUSIÓN INDIRECTA	18
1.3.4.	EXPANSIÓN DE EXTRUDIDOS	19
1.3.5.	DENSIDAD APARENTE (DA)	19
1.3.6.	TEXTURA DE LOS EXTRUDIDOS	20
1.4.	EXTRUSIÓN	21
1.4.1.	GENERALIDADES	21
1.4.2.	ASPECTOS IMPORTANTES EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	24
1.4.3.	VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	25
1.4.3.1.	TIEMPO DE RESIDENCIA (TR)	25
1.4.3.2.	TORQUE (T_0)	25
1.4.3.3.	ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (EME)	26
1.5.	PROPIEDADES FUNCIONALES	27
1.5.1.	ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)	28
1.5.2.	ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA)	29
1.5.3.	ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE ACEITE (IAAC)	29
II.	ANTECEDENTES	30

III. JUSTIFICACIÓN	32
IV. OBJETIVOS	33
4.1 OBJETIVO GENERAL	33
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
V. MATERIALES Y MÉTODOS	34
5.1 MATERIA PRIMA	34
5.2 OBTENCIÓN DE LA HARINA DE MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i> L.)	34
5.3 OBTENCIÓN DE LA PULPA DE MANGO VARIEDAD MANILA (<i>Mangifera indica</i> L.)	34
5.4 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS	35
5.5 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HARINA DE MALANGA Y PULPA DE MANGO	35
5.6 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE β -CAROTENO	35
5.7 DETERMINACIÓN DE COLOR Y pH DE LA HARINA DE MALANGA Y PULPA DE MANGO	36
5.8 PROPIEDADES FUNCIONALES	36
5.8.1 ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA)	36
5.8.2 ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE ACEITE (IAA _c)	37
5.8.3 DENSIDAD APARENTE (DA)	37
5.9 PROCESO DE EXTRUSIÓN	37
5.9.1 VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	37
5.9.1.1 TIEMPO DE RESIDENCIA (TR)	37
5.9.1.2 TORQUE (T ₀)	38
5.9.1.3 ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (EME)	38
5.10 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS	38
5.10.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE EXPANSIÓN (IE) DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS	38
5.10.2 TEXTURA DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS	39
5.11 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS	39
5.11.1 OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA	40
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41

6.1	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i> L.) Y MANGO MANILA (<i>Mangifera indica</i> L.)	41
6.2	COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HARINA DE MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i> L.) Y PULPA DE MANGO MANILA (<i>Mangifera indica</i> L.)	42
6.3	COLOR DE LA HARINA DE MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i> L.) Y PULPA DE MANGO MANILA (<i>Mangifera indica</i> L.)	45
6.4	PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MALANGA (<i>Colocasia esculenta</i> L.) Y PULPA DE MANGO MANILA (<i>Mangifera indica</i> L.)	47
6.5	PARÁMETROS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	49
6.6	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS DE PULPA DE MANGO A BASE DE HARINA DE MALANGA	5651
6.7	COLOR DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS DE PULPA DE MANGO A BASE DE HARINA DE MALANGA	56
6.8	CONTENIDO DE β -CAROTENO DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS DE PULPA DE MANGO A BASE DE HARINA DE MALANGA	59
6.9	COEFICIENTES ESTIMADOS POR REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	61
6.10	COEFICIENTES ESTIMADOS POR REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS	84
6.11	COEFICIENTES ESTIMADOS POR REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DE LOS PARÁMETROS DE COLOR DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS	¡Error! Marcador no definido.
6.12	OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS	88
VII.	CONCLUSIONES	90
VIII.	REFERENCIAS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No.	Descripción	Página No.
1	Planta de Malanga	2
2	Árbol de Mango (<i>Mangifera indica</i> L.)	6
3	Mango variedad manila maduro	10
4	Diagrama representante de un extrusor	23
5	Apariencia visual de los productos extrudidos elaborados de harina de malanga y pulpa de mango	55
6	Efecto del contenido de humedad y contenido de pulpa de mango sobre el tiempo de residencia (TR)	63
7	Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el torque en el proceso de extrusión	64
8	Efecto del contenido de humedad y contenido de pulpa de mango sobre el torque en el proceso de extrusión	65
9	Efecto del contenido de pulpa de mango y humedad sobre la presión en el proceso de extrusión.	67
10	Efecto de la temperatura y contenido de humedad sobre la presión en el proceso de extrusión.	67
11	Efecto del contenido de humedad y contenido de pulpa de mango sobre la energía mecánica específica (EME) en el proceso de extrusión.	69
12	Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el índice de expansión	72
13	Efecto del contenido de pulpa de mango y temperatura sobre el índice de expansión	72
14	Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la densidad aparente	74

15	Efecto del contenido de pulpa de mango y temperatura sobre la densidad aparente	74
16	Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el índice de solubilidad en agua (ISA)	76
17	Efecto de la concentración de pulpa de mango y contenido de humedad sobre el índice de solubilidad en agua (ISA)	77
18	Efecto de la concentración de pulpa de mango y contenido de humedad sobre la textura	79
19	Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la textura	80
20	Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el pH	81
21	Efecto de la concentración de pulpa de mango y temperatura sobre el contenido de β -caroteno	83
22	Efecto de la temperatura y contenido de humedad sobre el contenido de β -caroteno	83
23	Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la luminosidad (L^*) de los productos extrudidos	86
24	Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la diferencia total de color (ΔE) de los productos extrudidos	87
25	Predicción de los puntos de los parámetros del producto extrudido mediante la optimización numérica	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No.	Descripción	Página No
1	Composición nutricional de mango	8
2	Variedades de mangos de importancia comercial en México	9
3	Diseño de experimentos central compuesto, para mezclas de productos extrudidos de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) a base de harina de malanga (<i>Colocasia esculenta</i> L.)	40
4	Porcentaje de las partes constituyentes de la malanga (<i>Colocasia esculenta</i> L.)	41
5	Porcentaje de las partes constituyentes del mango manila (<i>Mangifera indica</i> L.)	42
6	Composición química (Base seca) de la malanga (<i>Colocasia esculenta</i> L.) y mango manila (<i>Mangifera indica</i> L.)	43
7	Color de la harina de malanga (<i>Colocasia esculenta</i> L.) y pulpa de mango manila (<i>Mangifera indica</i> L.)	46
8	Propiedades funcionales de la harina de malanga (<i>Colocasia esculenta</i> L.) y pulpa de mango manila (<i>Mangifera indica</i> L.)	47
9	Parámetros del proceso de extrusión	49
10	Caracterización fisicoquímica de los productos extrudidos de pulpa de mango a base de harina de malanga	52
11	Color de los productos extrudidos de harina de pulpa de mango a base de harina de malanga	56
12	Contenido de β -Caroteno de los productos extrudidos de pulpa de mango a base de harina de malanga	59
13	Coefficientes estimados por regresión lineal múltiple de variables del proceso de extrusión de productos extrudidos de pulpa de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) a base de harina de malanga (<i>Colocasia esculenta</i> L.).	61

14	Coefficientes estimados por regresión lineal múltiple de las características fisicoquímicas (IE, DA, IAA, ISA, IAAC, H, pH y β -Caroteno) de productos extrudidos de pulpa de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) a base de harina de malanga (<i>Colocasia esculenta</i> L.)	70
15	Coefficientes estimados por regresión lineal múltiple de los parámetros de color de productos extrudidos de pulpa de mango (<i>Mangifera indica</i> L.) a base de harina de malanga (<i>Colocasia esculenta</i> L.).	84
16	Optimización numérica de los productos extrudidos	88

INTRODUCCIÓN

El interés por desarrollar nuevos y diferentes métodos para producir alimentos completos, balanceados e higiénicos que satisfagan la enorme demanda que cada día crece con la población, es una de las principales preocupaciones de la vida actual. El reto tecnológico es presentar los alimentos de forma tal que se conserven las características nutritivas y sensoriales para ser aceptado por el consumidor (Arias-García *et al.*, 2007). Uno de los problemas más importantes que se enfrentan al tratar de llevar a cabo estos nuevos procesos, es el de obtener la textura adecuada para cada tipo de alimento, la cual debe simular lo mejor posible las características sensoriales de alimentos naturales. Existen actualmente muchas técnicas para el desarrollo de productos con características y textura apropiadas, la extrusión térmica viene a ser una de las más importantes (Arias-García *et al.*, 2007).

El proceso de extrusión es un procedimiento cada vez más popular en la elaboración de cereales, botanas, procesamiento de granos y harinas y en la industria de alimentos para animales, basándose en materias primas que contienen proteínas y almidón. Presenta múltiples ventajas, la principal, es que los ingredientes sufren una serie de transformaciones que se llevarían a cabo en varias operaciones unitarias (mezclado, cizallamiento, cocción, secado y texturización) en un sólo paso, rápido y eficiente (Durán, 1988).

Dentro de los productos alimenticios fabricados con base en la extrusión, las botanas han venido incorporándose de manera exitosa al tipo de vida del hombre actual. La industria de las botanas abarca diversos mercados, y cubren muchas de las necesidades del consumidor: precio accesible, amplio surtido en sabor y tamaño, alta disponibilidad en venta, etc. Los alimentos botana hoy en día se están rediseñando para aumentar su valor nutrimental, adicionando micro y/o macronutrientes, componentes fitoquímicos, vitaminas, antioxidantes, etc., ingredientes que los hacen atractivos al consumidor (Van Hulle *et al.*, 1983).

Existe una gran diversidad de métodos y tecnologías que pueden ser utilizadas para la manufacturación de alimentos botana, sin embargo, la extrusión ha venido destacando sobre todas las demás. El proceso de cocimiento por extrusión representa una de las tecnologías de mayor impacto en el área de alimentos, ésta es importante en la producción de hojuelas de maíz, arroz inflado, cereales para desayuno, proteínas texturizadas, bebidas instantáneas, análogos de carne, alimentos para mascotas y alimentos botana, entre muchos otros productos (Martínez-Bustos 1999). Por lo anterior, es importante producir alimentos botana con un contenido nutricional mayor.

Este estudio centra la importancia en la elaboración de botanas extrudidas, utilizando materias primas no convencionales como la malanga (*Colocasia esculenta* L.) que es fuente de almidón, y pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) con propiedades nutritivas, fuente de vitamina E, capacidad antioxidante y aporte de fibra, esperando obtener una botana funcional con un mayor índice de expansión, característica más importante que se busca en una botana y que sea benéfico para el consumidor.

I. MARCO TEÓRICO

1.1. MALANGA (*Colocasia esculenta* L.)

La malanga (*Colocasia esculenta* L.) es un tubérculo comestible perteneciente a la familia de las *Araceae* originario de Asia, de forma ovoide redonda con una pulpa blanca almidonosa y una cáscara de color marrón oscura (Onwueme, 1999; Antonio-Estrada *et al.*, 2009). Actualmente, la malanga es uno de los tubérculos más cultivados en regiones tropicales y subtropicales del mundo, incluyendo África occidental, Asia, América Central, América del Sur y el Caribe y las Islas Polinesia (Onwueme, 1999). El tubérculo de malanga es un producto altamente perecedero debido a su alto contenido de humedad, estando sujeto a pérdidas post-cosecha importantes, por lo que su uso y consumo han sido limitados (Agbor-Egbe & Rickard, 1991). En México, su cultivo ha aumentado pero su uso ha sido limitado debido a su corta vida post-cosecha.

1.1.1. NOMBRES COMUNES

Montaldo (1991), reporta los siguientes nombres comunes en los países de Centro y Sudamérica, en Cuba le llaman malanga, yautía en Puerto Rico, tanía en Trinidad y Tobago, macal en México, quisca mote en Honduras, tiquizque en Costa Rica, otó en Panamá, okumo en Venezuela, uncucha en Perú, mangarito ó mangareto en Brasil, gualuza en Bolivia, malangay en Colombia y malanga ó sango en Ecuador.

1.1.2. ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

El género *Colocasia* es Originario de Asia Sur-Central, probablemente de India e Indonesia, de ahí fue expandida prácticamente por todo el mundo, en Indochina aún se encuentran poblaciones silvestres, su cultivo primeramente se expandió hacia el Este, hasta los confines de la Polinesia, Hawái, Pascua, Nueva Zelanda, Filipinas, China y Japón; hacia el Oeste llegó hasta Egipto, un siglo antes de la era cristiana quizás a través de Siria y se expandió hasta España, Chipré y otros países europeos, mientras que a los países africanos, los cuales hoy en día son importantes productores fue introducida por navegantes malayos. Mientras que su

introducción al continente americano, llegó a Cuba y a otros países del Caribe (PROMOTEC, 1998). La malanga, también conocida como Taro o Dashen, es considerada una de las especies de raíces y tubérculos con gran potencial en las zonas tropicales. Los cormos, denominación botánica del tallo subterráneo, se utilizan para la alimentación humana, animal y para diferentes usos industriales (Montaldo, 1991). Se enmarca dentro de los productos exóticos o no tradicionales, cuyo consumo mundial ha tenido un auge importante aprovechando el interés por parte de sectores crecientes de consumidores, forma parte de la dieta diaria de millones de personas alrededor del mundo, originalmente en África, Asia, Oceanía (Jirón, 1995). Existen varias regiones que cuentan con las condiciones adecuadas para explotación y cultivo de malanga en México (Figura 1), lo que lo hace un producto con alto potencial para su implantación en el país, participando activamente en la reconversión de cultivos que lo necesiten (Montaldo, 1991).



Figura 1. Planta de Malanga (Aguilar-Monge, 2011).

1.1.3. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

A continuación, se describe la clasificación taxonómica de la malanga.

Clase: Liliopsida,

Subclase: Aracidae,

Orden: Alismatales,

Familia: Araceae,

Género: *Colocasia*,

Especie: *Colocasia esculenta*.

1.1.4. BOTÁNICA DE LA MALANGA (*Colocasia esculenta* L.)

La malanga es una planta herbácea suculenta, que alcanzan una altura de 1-3 m, sin tallo aéreo. El tallo central es elipsoidal, conocido como cormo (tallo subterráneo), este es rico en carbohidratos (18-30% en base fresca) y rico en proteínas (1.7 - 2.5% en base fresca) (Barrett, 1977).

1.1.4.1. Cormos

Del cormo central se desarrollan cormelos laterales recubiertos con escamas fibrosas. El color de la pulpa por lo general es blanco, pero también se presentan clones coloreados hasta llegar al violáceo. Según el clon, la forma varía de cilíndrica hasta casi esférica y el tipo de ramificación desde simple a muy ramificada. Internamente el cormo se divide en la zona cortical y el cilindro central, la primera es angosta, de apariencia compacta, está formada por parénquima de células isodiamétricas con alto contenido de almidón. El cilindro central del tejido básico se conoce como parénquima, pero con células más irregulares y con paredes delgadas, constituidas principalmente por almidón. Estas características del almidón y el contenido de minerales y vitaminas hacen de los cormos de malanga una fuente de alimentos nutritivos y alta digestibilidad. En el cilindro central se localizan también los haces vasculares, canales de mucílago y rafidios de oxalato de calcio (Barrett, 1977).

1.1.4.2. Hojas

Por lo general son de forma peltada, se producen en el meristemo apical del cormo y aparecen arrolladas por la base formando un pseudotallo corto. Las hojas nuevas salen enrolladas de entre los peciolo de las ya formadas y las laterales más viejas se marchitan y se secan. En los primeros seis meses el área foliar se incrementa rápidamente, para luego mantenerse estable mientras aumenta el peso de los órganos subterráneos. El peciolo es cilíndrico en la base y acanalado en la parte superior, mostrando una coloración que varía según el clon. Es característica distintiva la presencia de líneas longitudinales amarillas o rosadas y de manchas o puntos rojizos a violáceos hacia la base. El peciolo se inserta en la parte media del limbo de la hoja del cual se observa directamente a los tres nervios principales. En algunos clones la

inserción del peciolo determina que la lámina tome una posición vertical y en otros inclinada. La proporción largo-ancho varía con el clon. De la inserción del peciolo parte el nervio central, que termina en el ápice de la hoja y dos nervios basales. El color varía de verde claro y verde púrpura (Barrett, 1977).

1.1.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MALANGA

Su valor radica en su alto contenido de almidón (30 - 85% base seca), proteínas (1.4 - 7%) además de ser una buena fuente de fibra (0.6 - 0.8%), vitamina A, C, calcio y fósforo (Dendy 2001).

1.1.6. PRINCIPALES USOS DE LA MALANGA

1.1.6.1. Alimentación humana

Los cormos y cormelos son la base de la alimentación de la población en países subdesarrollados, en particular, en el sureste de Asia. En muchos países se elaboran productos de forma casera como los siguientes: harina, tortilla, pan, pastas, bebidas, galletas, etc., (Jirón, 1995).

1.1.6.2. Alimentación animal

Varios autores indican que la malanga es un alimento satisfactorio para los animales. En algunos lugares los tallos, hojas y cormos son hervidos y se proporcionan como alimento a los cerdos, también la harina de malanga se ha usado para alimento de ovinos (Montaldo, 1991).

1.1.6.2. Uso industrial

La malanga también ha sido usada como un relleno modificador para plástico biodegradable y existen evidencias de que ha sido usada en la elaboración de alcohol para combustible (Jirón, 1995); en donde se obtiene un rendimiento de 142 L de etanol por tonelada de corno en peso húmedo (Montaldo, 1991).

1.2. MANGO (*Mangifera indica* L.)

El mango (*Mangifera indica* L.), cuyo nombre procede de manga, adaptación portuguesa del tamil hindú *mankai*, probablemente tuvo su centro de origen en el Noroeste de la India donde ha sido cultivado por más de 4000 años. También se considera la posibilidad de ser nativo de Filipinas, las laderas del Himalaya y Sri Lanka. De estas regiones el mango se extendió a África y más tarde fue introducido por los portugueses a las costas de Brasil y a la Isla de Barbados en el siglo XVI. El mango se conoce como uno de los frutos tropicales más finos y de mayor importancia a nivel mundial, debido a que ocupa el sexto lugar dentro de los principales productos frutícolas y es considerado como el fruto tropical más antiguo cultivado por el hombre (Prieto *et al.*, 2005; Téliz, 1998).

En México, la introducción del mango se inició en 1779, cuando el mango cv. "Manila" fue introducido por los españoles al puerto de Acapulco, proveniente de Filipinas. Posteriormente, en el siglo XIX, mangos tipo criollo se trajeron de las Antillas a la costa del Golfo de México y de allí se extendió rápidamente a todas las regiones del país que poseen condiciones ambientales favorables para su desarrollo (Prieto *et al.*, 2005; Téliz, 1998).

1.2.1. BOTÁNICA DEL MANGO

Mangifera indica L., conocido comúnmente como mango, es un árbol siempre verde de tamaño mediano a grande con una altura de 15 - 30 m, desarrolla una copa redonda y muy densa, con hojas verde oscuro y un tronco robusto de corteza gruesa y áspera (Figura 2) (Parrotta, 1993).



Figura 2. Árbol de Mango (*Mangifera indica* L.), (Bally, 2006).

El tronco es recto, con un diámetro de 75 - 100 cm, cuya corteza es de color gris-café, tiene grietas longitudinales o surcos reticulados poco profundos. La copa es densa y ampliamente oval o globular. Las ramas son gruesas y robustas; son redondeadas, lisas, de color verde amarillento y opaco cuando son jóvenes. El tamaño del fruto varía de 2.5 - 30 cm de largo. La cáscara es gruesa, frecuentemente con lenticelas blancas prominentes; la pulpa es de color amarillo o anaranjado, jugosa y sabrosa (Madrigal, 2009). Su forma es ovalada o redonda, con un hueso interior de tamaño significativo.

La semilla es ovoide, oblonga, alargada, estando recubierta por un endocarpo fibroso y por una membrana papirácea que posee una testa delgada de color café oscuro (COVECA, 2011; Barbosa, 2003). Las frutas o drupas poseen una sola semilla y son aromáticas, maduran de 2 a 4 meses después de la florescencia, dependiendo de la variedad y la localidad (Parrotta, 1993). Crece en árboles de hoja perenne. Presenta grandes variedades de tamaño y caracteres. El color depende de la región donde esté cultivado, pero abarca mezclas de verde, amarillo y rojo (Popenoe, 1974).

El mango (*Mangifera indica* L.), pertenece a la familia Anacardiaceae, que incluye alrededor de 600 miembros. Es una fruta popular y conocida como el rey de las frutas. Se cree que es una de las frutas más antiguas cultivadas; su origen es encontrado en la región Indo Burma. Es

una fruta climatérica que, en estado de maduración, ideal para el consumo, dura pocos días (Wu *et al.*, 1996), es decir que una vez alcanzada la madurez fisiológica puede seguir madurando fuera del árbol la cual es provocada por la producción de etileno auto catalítica y un incremento en la tasa de respiración (Bretch & Yahia, 2009). En México, existen diversas variedades como: Tommy, Haden, Ataúlfo, Manila, Irwin, Diplomático, Esmeralda, Keitt, Manzana, Naranja, Oro, Piña canario, Sensation y Kent, que se encuentran disponibles en verano (Stafford, 1983).

1.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MANGO

La semilla del mango abarca del 9 - 27% aproximadamente del peso total de la fruta. El color de la cáscara y la pulpa varía con la madurez y el cultivo. Su contenido de carotenoides aumenta durante su madurez; es buena fuente de provitamina A (Luh, 1980). La parte comestible del fruto total corresponde entre el 60 y 75%. El componente mayoritario es el agua en un 84%. El contenido de azúcar varía de 10 - 20% y de las proteínas en un 0.5%. El ácido predominante es el ácido cítrico, aunque también se encuentran el ácido málico, succínico, urónico, tartárico y oxálico en cantidades menores (Jagtiani *et al.*, 1988).

1.2.3. CONTENIDO NUTRICIONAL

El mango es una fruta popular y en su mayoría es consumido en estado fresco; ya que es considerado como una de las frutas tropicales más deliciosas (Luh, 1971). Representa una importante fuente nutritiva por su contenido de vitaminas y minerales (Tabla 1). El mango se caracteriza por ser una fuente importante de vitamina A, B y contiene cantidades variantes de Vitamina C (Purseglove, 1974). Su composición depende de la variedad, así como en el estado de madurez que se tenga (Stafford, 1983). El contenido de ácido ascórbico y la acidez total disminuyen durante el desarrollo del fruto, mientras que los carotenoides y azúcares totales aumentan (Laskshminarayana, 1973). El mango constituye un valioso suplemento dietético, pues es muy rico en vitamina A y C, minerales, fibras y antioxidantes; siendo bajo en calorías, grasas y sodio. Su valor calórico es de 62 - 64 cal/100 g de pulpa (COVECA, 2011).

Tabla 1. Composición química del mango.

Nutriente	100 g de pulpa
Energía (Kcal)	60.00
Agua (g)	83.46
Proteína (g)	0.82
Grasa total (g)	0.38
Carbohidratos (g)	14.98
Azúcares totales (g)	13.66
Fibra total dietaria (g)	1.60
Cenizas (g)	0.36
Calcio, Ca (mg)	11.00
Fósforo, P (mg)	14.00
Potasio, K (mg)	168.00
Sodio, Na (mg)	1.00
Vitamina A (µg)	54.00
Vitamina C (mg)	36.40
Vitamina B ₆ (mg)	0.12
Vitamina E (mg)	0.90
Niacina (mg)	0.67

Fuente: USDA (2010).

1.2.4. VARIEDADES DE MANGO

Existen diversas variedades de mango de importancia comercial en México (Tabla 2), las cuales se distinguen entre ellas por sus características físicas y sensoriales. Las diferentes variedades de mango se dan en enero hasta el mes de septiembre en diferentes estados como son Colima, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Campeche, Veracruz, Jalisco, Oaxaca, Nayarit y Sinaloa.

Tabla 2. Variedades de mangos de importancia comercial en México.

Variedad		Características
Ataúlfo		Color amarillo, tipo alargado, longitud 12.5 - 14 cm, anchura 5.5 - 6 cm, peso 180 - 260 g, pulpa con alto contenido de azúcares y bajo contenido de fibra.
Haden		Color rojo/amarillo, tipo redondo, longitud 10.5 - 14 cm, anchura 9 - 10.5 cm, peso 510 - 680 g, pulpa jugosa con bajo contenido de fibra.
Kent		Color verde/rojo/amarillo, tipo redondo, longitud 12 - 14 cm, anchura 9.5 - 11 cm, peso 450 - 700 g, pulpa jugosa, con alto contenido de azúcares y bajo contenido de fibra.
Tommy Atkins		Color amarillo/rojo, tipo redondo, longitud 12 - 14.5 cm, anchura 10 - 13 cm, peso 450 - 700 g, de regular a alto contenido de fibra.
Keitt		Color verde/rosado/amarillo, tipo redondo, longitud 13 - 15.5 cm, anchura 9-11 cm, peso 510 - 2000 g, de pulpa muy dulce y bajo contenido de fibra.
Manila		Color amarillo, tipo elíptico, peso 200 - 275 g, piel delgada y pulpa dulce con alto contenido de fibra.

Fuente: Prieto *et al.* (2007)**1.2.5. MANGO VARIEDAD MANILA**

El mango manila (*Mangifera indica* L.) es el mango más cultivado y consumido en México (Figura 3) (Villegas-Santiago *et al.*, 2011). Esta variedad de mango se destaca por su uso en la producción de jugos en el mercado interno, aunque una pequeña parte se exporta a EE UU, según el informe sectorial elaborado por SAGARPA (2014). Es de tamaño regular (243 - 269

g), de forma trapezoidal y probablemente la variedad de mango más dulce del mercado mexicano, alcanzando típicamente 21 °Bx (Ornelas-Paz *et al.*, 2007). La pulpa de esta fruta es muy tierna y menos fibrosa que la de otros cultivos de mangos (Naef *et al.*, 2006). El mango manila es considerado una buena fuente de vitamina C (Morga *et al.*, 1979), también considerado como una rica fuente de carotenoides, siendo el β -caroteno el carotenoide más importante en esta fruta (Morga *et al.*, 1979; Ornelas-Paz *et al.*, 2007; Ornelas-Paz *et al.*, 2008).

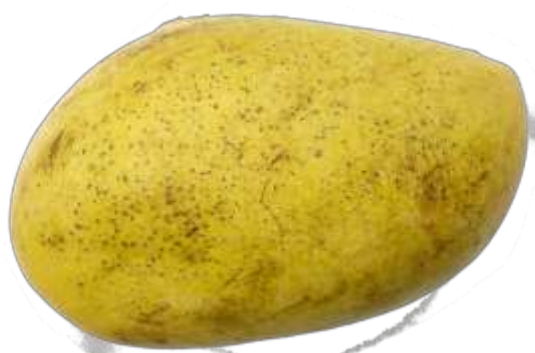


Figura 3. Mango variedad manila maduro.

1.3. CAROTENOIDES

Los carotenoides son pigmentos naturales que proporcionan colores naranjas, amarillo, rojo y morado en toda la naturaleza del mundo. Estos pigmentos son producidos por todas las plantas superiores, junto con algunas bacterias y algas (Britton *et al.*, 1995). Se derivan de la familia terpenoide y se relacionan de forma biosintética con otros metabolitos secundarios, como tocoferoles y ubiquinonas. Dentro del tejido vegetal están asociados con membranas fotosintéticas y están involucrados en la fotoprotección y la asimilación de la energía luminosa (Britton *et al.*, 1995). El color de los alimentos es quizás el primer atributo que los consumidores evalúan al determinar la calidad y la apariencia de un producto, y por lo tanto condiciona su aceptabilidad. El color se convierte en una medida de calidad y también una indicación de deterioro. En frutas y verduras, el color se debe principalmente a tres familias de pigmentos: clorofilas, carotenoides y antocianinas, que son responsables de las coloraciones verde, rojo-amarillo y azul-violeta, respectivamente. La primera función de estos pigmentos

que se puede observar en las plantas es la atracción de los animales para actuar como vectores para la diseminación de semillas y frutos, asegurando así el éxito reproductivo y la perpetuación de la especie (Bartley & Scolnik, 1995). Ciertamente, la adquisición de estos llamativos colores se ha seleccionado durante toda la evolución y ha ayudado a establecer otras características entre las que se encuentran las propiedades bioactivas.

Los carotenoides incluyen varios compuestos relacionados que tienen la fórmula general $C_{40}H_{56}$. Son un tipo simple de carotenoides y se presentan en varias formas isoméricas, como alfa (α), beta (β), gamma (γ), delta (δ), épsilon (ϵ) y zeta (ζ) (Rodríguez-Amaya, 1997). Entre los diversos carotenoides α y β -caroteno son las dos formas principales de carotenos. En el cuerpo humano, el β -caroteno se descompone por la β -caroteno dioxigenasa en la mucosa del intestino delgado en dos moléculas de retinilo, que luego se reduce a vitamina A (retinol) (During *et al.*, 2001). Los carotenos se pueden encontrar en muchos vegetales de hoja verde y amarillo oscuro y aparecen como pigmentos solubles en grasa, mientras que el β -caroteno se puede encontrar en frutas y verduras de color amarillo, naranja y rojo (Holden *et al.*, 1999).

Se ha demostrado que comer frutas y verduras puede reducir el riesgo de varios procesos degenerativos (Fung *et al.*, 2001). El aumento en el consumo de frutas y vegetales conduce a una mayor ingesta de vitaminas solubles en agua y grasa, fibra dietética y otros fitoquímicos (como carotenoides, glucosinolatos, fenoles y clorofilas), que tienen efectos benéficos para la salud (Liu, 2004; Lock *et al.*, 2005). Un interés en aumentar el consumo de carotenoides ha sido evidente desde 1981, cuando Peto *et al.* (1981) sugirieron que el consumo de β -caroteno reduce la incidencia de algunos tipos de cáncer, y se obtuvieron más evidencias en estudios posteriores (Ziegler *et al.*, 1996). Sin embargo, el porcentaje de carotenoide ingerido frente a la cantidad asimilada alcanza hasta el 10% cuando se consume un alimento natural (Boileau *et al.*, 1999). A la luz de este bajo porcentaje, sería interesante, y potencialmente útil, incluir carotenoides en alimentos procesados o nuevas matrices de alimentos para aumentar su biodisponibilidad. Las formulaciones de alimentos que proporcionan una alternativa a los alimentos naturales, en términos de aporte de carotenoides, se basan en matrices hidrofílicas que se han enriquecido con estos compuestos mediante dispersión, emulsión o encapsulación con otros compuestos para modificar la solubilidad de las grasas si es necesario (Pérez *et al.*, 2004).

1.3.1 **ACTIVIDADES BIOLÓGICAS DE LOS CAROTENOIDES**

Los carotenoides poseen una gama de actividades biológicas importantes y bien documentadas. Son potentes antioxidantes y eliminadores de radicales libres (Grassmann *et al.*, 2002) y pueden modular la patogenia de los cánceres (Van Poppel & Goldboggm, 1995) y la enfermedad coronaria (Kritchevsky, 1999). El consumo de licopeno en particular se asocia con una menor incidencia de cáncer de próstata (Giovannucci, 1999), mientras que los niveles elevados de β -caroteno, se correlacionan con una reducción en el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón (Block *et al.*, 1992). Varios carotenoides que incluyen α -caroteno, β -caroteno y β -criptoxantina tienen actividad pro-vitamina A, ya que son convertidos a retinol por los mamíferos. Este papel es de particular importancia, especialmente en los países en desarrollo donde la deficiencia dietética de vitamina A puede conducir a la ceguera y la mortalidad infantil prematura (Mayne, 1996).

1.3.2 **β -CAROTENO**

El β -caroteno es el componente responsable de los colores amarillo y naranja en varios vegetales y es uno de los carotenoides liposoluble más importantes. Sin embargo, contiene enlaces dobles conjugados y puede existir en cuerpos de plantas como complejos carotenoides-proteína (Bernhardt & Schlich, 2006). En particular el β -caroteno es un componente alimenticio menor que se sabe que protege las membranas celulares y mejora las funciones visuales, generativas e inmunes (Wintergerst *et al.*, 2007). Entre los carotenoides existentes en la naturaleza, algunos de ellos como el β -caroteno, α -caroteno y la β -criptoxantina se convierten en vitamina A por la mucosa intestinal.

1.3.3 **CAROTENOIDES EN LOS ALIMENTOS**

Aunque se han descrito más de 700 carotenoides en la naturaleza, no todas las fuentes naturales de ellos están presentes en nuestra dieta normal. Se estima que solo tenemos acceso a aproximadamente 40 carotenoides que pueden ser absorbidos, metabolizados y/o utilizados en nuestros cuerpos. Ese número se reduce a 6 si consideramos el perfil de carotenoides que generalmente se detecta en el plasma sanguíneo humano. Este grupo incluye α - y β -caroteno, licopeno, β -criptoxantina, zeaxantina y luteína, que están presentes regularmente en los alimentos (Britton & Khachik, 2009).

1.3.4 **IMPORTANCIA DE LOS CAROTENOIDES EN LA DIETA**

Además de la contribución de los carotenoides al color atractivo de las frutas y verduras, destaca, por su importancia a nivel fisiológico y dietético, la propiedad de algunos de ellos de tener actividad como provitamina A (Isler, 1971; Simpson, 1983). La vitamina A es esencial para la visión nocturna y necesaria para mantener sanos la piel y los tejidos superficiales. Puede aportarse como tal vitamina, llamada retinol, como algunos análogos menos activos, o como sus precursores, los carotenoides. El retinol es un alcohol cíclico, insaturado, de veinte átomos de carbono, compuesto por un núcleo de β -ionona y una cadena lateral insaturada. En la molécula de retinol existen cinco dobles enlaces conjugados, incluido el doble enlace del anillo de β -ionona que está conjugado con los de la cadena lateral. No todos los carotenoides son precursores de la vitamina A, por lo que podemos dividirlos en dos grandes grupos: provitamínicos y no provitamínicos. El número de carotenoides precursores de vitamina A oscila entre 50 y 60, destacando los carotenos (α , β y γ -caroteno) y algunas xantofilas (β -criptoxantina) (Simpson, 1981).

1.3.5 **NIVELES DE INGESTA DE CAROTENOIDES**

La actividad provitamínica A de algunos carotenoides, como α -caroteno, β -caroteno y β -criptoxantina, está ampliamente demostrada (Isler, 1971). El papel del β -caroteno en la prevención de enfermedades coronarias ha sido objeto de una serie de estudios que proporcionan unos datos a veces contradictorios, por lo que se postula que dicha prevención se debe más al consumo de alimentos ricos en β -caroteno que a dicho pigmento en particular (Tavani & La Vecchia, 1999). Las ingestas recomendadas están expresadas como equivalentes de retinol (ER) (1 equivalente de retinol = 1 μ g retinol = 12 μ g de β -caroteno = 24 μ g de α -caroteno = 24 μ g de β -criptoxantina). Se ha estimado que el consumo medio de vitamina A oscila entre los 744 y 811 equivalentes de retinol por día en los hombres y los 530 y 716 equivalentes retinol en las mujeres. Considerando equivalentes de retinol, se estima que aproximadamente un 26% y un 34% de la vitamina A consumida por hombre y mujeres, respectivamente, es proporcionada por los carotenoides provitamínicos. Por otra parte, el consumo de alimentos ricos en carotenoides está relacionado con un menor riesgo de padecer enfermedades crónicas.

1.3.6 **CAROTENOIDES EN LA SALUD HUMANA**

Los rayos ultravioleta, el humo del cigarro, el aire contaminado, etcétera, producen diversas moléculas altamente reactivas que son capaces de generar distintos radicales libres, los que a su vez llegan a dañar las células; se considera que algunos de los problemas que causan son las enfermedades crónicas del corazón y de los pulmones, así como artritis y hasta cáncer; incluso algunos autores relacionan el proceso de envejecimiento con la producción de radicales libres (Castenmiller & West, 1997). Para protegerse contra agentes generadores de radicales libres, el ser humano cuenta con defensas naturales, entre otras con la acción de las vitaminas C y E y del β -caroteno. En el ser humano, como en todos los animales, los carotenoides son introducidos al organismo a través de los alimentos y son transportados por la sangre (Argawi & Rao, 1998).

Los carotenoides con un anillo de β -ionona presentan actividad biológica de provitamina A, ya que la mucosa intestinal de los animales superiores los oxida y los transforma en retinol (Ganguly & Satry 1985). Los carotenoides, biológicamente activos son los que tienen todas sus insaturaciones en posición trans (Scita, 1992). Aunque la actividad de la provitamina A de algunos carotenoides está bien documentada, su potencial anticarcinogénico aún es objeto de intensas investigaciones; se ha estudiado con respecto a la reducción de enfermedades cardíacas y degenerativas de los ojos, así como en enfermedades de la piel (Simpson, 1983).

El licopeno, un carotenoide que se encuentra en el tomate, previene la oxidación del colesterol de baja densidad, y reduce el riesgo de desarrollar arterosclerosis y enfermedades coronarias; según los estudios realizados en los lípidos del cuerpo humano, se demostró que el consumo de al menos 40 mg de licopeno/día son suficientes (Argawi & Rao, 1998, Shi & Maguer, 2000). Otros investigadores manifiestan que también reduce el riesgo de desarrollar cáncer de próstata, pulmón, vejiga, cérvix y piel y reduce la susceptibilidad de daños oxidativos en ADN de linfocitos (Castenmiller & West, 1997).

1.3.7 **USO DE LOS CAROTENOIDES**

Los carotenoides se utilizan en una gran variedad de productos alimenticios a base de agua (jugos, refrescos, sopas, gelatinas, postres, pastas, productos de repostería y panadería y

productos cárnicos), sustitutos cárnicos a base de triglicéridos (margarina, aceites, mantecas vegetales, mantequilla, quesos y productos lácteos), y se añaden a la alimentación de aves para mejorar el color de piel y de la yema de huevo. Sin embargo, los usos de los carotenoides no se restringen a alimentos. Debido a la fuerte expansión de la acuicultura y a la necesidad de pigmentar animales de granja, en especial salmón, truchas, camarón y langosta, se ha generado a nivel mundial una gran demanda por fuentes pigmentantes (Hinostroza *et al.*, 1997). Dentro de los productos que se han empleado como fuentes naturales de carotenoides están los desechos de procesamiento de crustáceos, algunas plantas, algas y levaduras, con resultados variables (Shahidi *et al.*, 1998).

1.3. BOTANAS

1.3.1. ASPECTOS GENERALES

Las botanas son una industria que abarca diversos mercados, amplios rangos de edad y un alimento que se consume en cualquier momento y situación desde las reuniones de amigos, el recreo, el cine, entre otras. Las botanas en México al igual que en otros países del mundo ha sido un producto que cubre las necesidades del consumidor con respecto a: precio, accesibilidad, amplio surtido en sabor y tamaño, disponible en muchos puntos de ventas, no es exclusivo de una clase social y es para todas las edades (Arroyo *et al.*, 1999).

De acuerdo con la NOM-187-SSAI/SCFI-2002, las botanas son los productos de pasta de harinas, cereales, leguminosas, tubérculos o féculas; así como de granos, frutas, frutos, semillas o leguminosas con o sin cascara o cutícula, tubérculos; productos nixtamalizados y piel de cerdo, que pueden estar fritos, horneados, explotados, cubiertos, extrudidos o tostados; adicionados o no con sal y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos.

Definir lo que es una botana es difícil, ya que el término no puede ser confinado solo a productos tradicionales tales como palomitas, productos expandidos por extrusión, papas fritas o bocadillos similares. Puede decirse que es un aperitivo que se consume con ciertas bebidas o antes de una comida completa, aunque esta acepción excluiría a un gran número de productos.

Su homólogo en inglés es snack o snack food, aunque ha sido difícil dar una definición y clasificación pues se duda en separar ciertos alimentos listos para comer (ready to eat (RTE) por sus siglas en inglés), de las botanas (Hoseney, 1991). La industria de las botanas es muy variable debido en parte a los cambios en los estilos de vida de los consumidores. Por esta razón, constantemente se innovan nuevos productos para satisfacer las necesidades, jugando un papel muy importante los ingredientes utilizados para su elaboración ya que proporcionan características nutricionales y sensoriales adecuadas para el mercado actual.

Las botanas se han convertido en una parte importante de las dietas de muchos individuos. Existe un gran interés en incrementar la fibra dietética en los alimentos incluyendo botanas para conducirlos hacia un enfoque saludable (Ozer *et al.*, 2004). La demanda de los consumidores por productos nutritivos, convenientes y sabrosos tipo botana que satisfagan su hambre momentáneamente antes de la próxima comida se ha convertido en el principal problema a resolver. Poseer un perfil nutricional balanceado de calorías, grasa, carbohidratos y proteínas, así como de vitaminas y minerales, además de incluir fibra y granos enteros son parte de los requisitos deseados en una botana saludable (Ryland *et al.*, 2010). Es por ello que puede realizarse botanas nutritivas a partir de leguminosas, vegetales o frutas en su formulación. Se espera que los productos tipo botanas presenten una estructura "expandida", la cual puede ser medida y cuantificada por un número de métodos como la expansión, densidad y porosidad (Ozer *et al.*, 2004).

1.3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS BOTANAS

A continuación, se presenta los tres términos principales que se emplean para la clasificación de las botanas:

1.3.2.1. BOTANAS DE PRIMERA GENERACIÓN

En esta categoría se sitúan todos los productos naturales utilizados para botana, como nueces, papas fritas y palomitas. En ellas se destacan claramente dos inconvenientes: la materia prima es perecedera, con una vida de anaquel muy corta de 1 a 3 meses donde los empaques "abiertos" ocasionaban también una vida corta en el producto terminado (Riaz, 2006).

1.3.2.2. BOTANAS DE SEGUNDA GENERACIÓN

La mayoría de las botanas actuales están incluidas en esta categoría. Las botanas de un solo ingrediente como los totopos o cheetos y las botanas directamente expandidas se sitúan en esta categoría. Se llaman productos directamente expandidos porque no requieren procesamiento adicional después de la extrusión para completar la expansión del producto, y se dice que son los productos más fáciles de hacer con un extrusor (Sevatson & Huber, 2000). Una vez extrudidos, los productos directamente expandidos pueden terminarse al hornearlos o freírlos (Huber, 2001).

1.3.2.3. BOTANAS DE TERCERA GENERACIÓN

En esta categoría se incluyen las botanas y pellets de múltiples ingredientes, así como las botanas que se hayan cocinado mediante extrusión. También llamadas productos indirectamente expandidos, productos intermedios o semiproductos, aunque el producto obtenido no se encuentra listo para ser consumido. La presentación final viene comúnmente después de un freído en aceite caliente o expansión con aire caliente. Debido a su alta estabilidad, al almacenamiento y alta densidad aparente, las botanas de tercera generación no expandidas presentan un interesante mercado potencial (Riaz, 2006). Los pellets obtienen su forma por un “dado” utilizado a temperaturas bajas para prevenir la expansión (Moore, 1994). Generalmente contienen al menos 60% de almidón para alcanzar la expansión máxima durante el proceso de post-extrusión (Sevatson & Huber, 2000). Una variante más reciente de este proceso es la expansión por radiación infrarroja o calentado con microondas (Huber, 2001).

1.3.3. MÉTODOS DE ELABORACIÓN DE BOTANAS

1.3.3.1. PROCESO DE EXTRUSIÓN

Se inicia el proceso con la mezcla de los diferentes ingredientes (sémolas de maíz, arroz o trigo, y agua) en una mezcladora para una perfecta homogeneización y humectación.

La mezcla se introduce en la extrusora, y por la acción de la presión y la temperatura la mezcla se funde formando una masa plástica. Bajo condiciones de alta temperatura y alta presión la masa es flexible y se adapta a cualquier configuración. Al salir por el molde, la masa se expande al desaparecer la presión. La humedad es expulsada y el producto se enfría,

manteniendo una estructura muy ligera. Tras salir de la extrusora el producto debe pasar por un horno para reducirle la humedad. Después se le aplica el aroma y la sal que se adhiere al producto por un ligero spray de aceite y se envasa en máquinas automáticas (Empresa Risi, 2005).

1.3.3.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN SEMI-INDIRECTA

Se comienza la elaboración con la mezcla de los ingredientes seleccionados, como en la extrusión directa, pasando a la extrusora de fricción. La cocción del producto se lleva cabo mediante la fricción de dos placas, una móvil que gira a alta velocidad. La mezcla pasa por estas dos placas expulsando de forma irregular el producto al contacto con los toques de las placas, dándole la forma característica. Posteriormente, el producto se somete a un proceso de fritura y se envasa.

1.3.3.3. PROCESO DE EXTRUSIÓN INDIRECTA

Se comienza la elaboración con la mezcla de los ingredientes seleccionados, harinas y sémolas, de maíz, trigo, arroz, fécula de patata, al igual que en los dos casos anteriores, a la que se añade la cantidad necesaria de agua y se homogeniza en la mezcladora (Empresa Risi, 2005). La mezcla es introducida en la extrusora. Estas máquinas se componen de varios cuerpos regulables a diferentes temperaturas para que la mezcla, por los efectos combinados de presión y temperatura, se vaya modificando según el tipo de producto que se desee obtener. A la salida de la extrusora la temperatura siempre es más baja para evitar que el producto expanda, como ocurre en la extrusión directa. A este tipo de producto, por lo general se le da distintas formas (aros, cuadraditos, palitos, etc.) pasándolo a través de un molde, posteriormente, se pasa por secadores, para dejarle con la humedad óptima para la fritura.

La diferencia mayor con el proceso de extrusión directa es que las máquinas extrusoras poseen varios cuerpos para soportar cambios de temperatura, de forma que se pueda enfriar la masa a la salida de la boquilla evitando la expansión, como ocurre en la expansión directa. Cada producto de extrusión indirecta es sometido a un proceso de fritura durante un tiempo y temperatura determinados. En el proceso de fritura el producto se expande y aumenta su

tamaño, adquiriendo una estructura esponjosa pero crujiente. Esta operación es continua, entrando automáticamente aceite limpio en la freidora a medida que se consume.

1.3.4. EXPANSIÓN DE EXTRUDIDOS

La expansión de extrudidos es un fenómeno complejo que se produce normalmente durante la cocción por extrusión a alta temperatura y baja humedad. Es la consecuencia de varios eventos como las transformaciones estructurales de biopolímeros y las transiciones de fase, la nucleación, el hinchamiento del extrudido, el crecimiento de burbujas, y el colapso de burbujas, con la dinámica de las burbujas contribuyendo de forma dominante el fenómeno de expansión (Chang, 1992).

La expansión de productos directamente expandidos se lleva a cabo por el incremento de la fricción dentro del equipo usualmente debido a la combinación de la humedad y la temperatura para obtener una masa viscoelástica, obteniendo un incremento en la viscosidad del material, causando así un diferencial de presiones entre el equipo y el medio ambiente, esto produce la pérdida de la humedad de manera repentina e instantáneamente el material extrudido se expande (Brümmer *et al.*, 2002). Estos cambios físicos y químicos ocurridos durante la expansión son causados por los parámetros del proceso de extrusión como son las fuerzas de corte, temperatura del barril, humedad de alimentación, tiempos de residencia, velocidad de tornillo (Pan *et al.*, 1998).

1.3.5. DENSIDAD APARENTE (DA)

La densidad del producto es un atributo muy importante, porque en la producción industrial de productos expandidos, los contenedores se llenan por el peso y no por el volumen. Si la densidad varía durante la producción, el embalaje puede estar incompleto o se desbordará. Si uno de los dos eventos tiene serias implicaciones en la producción, la densidad se convierte en un atributo que, regularmente, garantiza la calidad (Ascheri & Carvalho, 2011). También la densidad es una característica importante de los productos extrudidos que es inversamente proporcional a la expansión seccional (Altan *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2007); esto es relacionado directamente con la aceptación por parte de los consumidores.

1.3.6. TEXTURA DE LOS EXTRUDIDOS

Parte de la aceptación de estos productos depende de sus propiedades reológicas. Tsukakoshi et al. (2008) consideran que los poros de la estructura alimenticia juegan un papel importante en la textura de las botanas basadas en cereales. La textura, es definida como la manifestación sensorial de la estructura de alimentos y la manera en que esta estructura 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, táctiles, visuales y auditivos (Szczeniak, 1963). Además, la textura puede estar relacionada con la deformación, desintegración y flujo del alimento cuando una fuerza es aplicada (Bourne, 2002).

El atributo sensorial crítico que puede dominar la calidad de un producto, como en botanas obtenidas mediante la extrusión es la textura. En botanas extrudidas, se desea una expansión y se esperan productos expandidos, por lo que la textura juega un papel importante en cuanto a la aceptabilidad de las botanas entre los consumidores (Anton & Luciano, 2007). La textura de productos expandidos, particularmente botanas, es uno de los parámetros de calidad más importantes para la industria y el consumidor, debido a que si el producto tiene una baja fuerza de corte, éste se quebrará fácilmente durante las operaciones de empaque, durante su distribución, o de lo contrario si el producto tiene altos valores de fuerza de corte (dureza), los consumidores encontrarán al producto difícil de morder y masticar (Maga & Liu, 1993). La dureza en el caso de los productos extrudidos es una percepción asociada con la expansión y celdas de aire de los extrudidos (Bouvier *et al.*, 1997). Debido a esto, se supone que los mismos factores que afectan a la expansión de botanas y cereales para el desayuno afectan a la textura. Como lo citan Suknark et al. (1999), quienes observaron un incremento en el grado de gelatinización, plastificación y propiedades reológicas al disminuir la humedad de alimentación, al incrementar la temperatura, en los cambios de configuración del tornillo, formulación, entre otras variables.

Para las botanas extrudidas, una de las propiedades físicas deseables es el grado de expansión porque esta determina su estructura y consecuentemente su calidad. La expansión de los extrudidos puede variar considerablemente dependiendo de las condiciones de procesamiento

y composición de la alimentación. Actualmente, la tendencia es producir botanas de mejor calidad nutricional ya que debido a que su consumo, lejos de verse disminuido por no representar una adecuada opción nutrimental, se ha visto aumentado en demasía. Este hábito de consumo puede ser aprovechado para convertirlo en un vehículo adecuado para suministrar nutrimentos de buena calidad a los consumidores.

1.4. EXTRUSIÓN

La extrusión es un proceso continuo de cocción integral, versátil y económico (Harper & Clark, 1979), clasificada como una técnica de operación de altas temperaturas-corto tiempo de cocción que involucra la combinación de humedad, presión y temperaturas (Riaz, 2001), que comprende de gelatinización de almidón, desnaturalización de proteínas, modificación de los lípidos y la inactivación de enzimas, microbios y muchos factores antinutricionales (Bhattacharya & Prakash, 1994).

Robín, (2003) define el proceso de extrusión como aquel en donde biopolímeros de almidón y proteínas se plastifican en presencia de humedad controlada y altas temperaturas, produciendo una masa cocida con un alto grado de corte mecánico. En la elaboración de cereales para desayuno, harinas modificadas, golosinas y botanas, el proceso de extrusión juega un papel fundamental (Ozer *et al.*, 2004). Se considera un tratamiento de corta duración, capaz de generar presiones manométricas altas de hasta 2000 libras/pulg² y temperaturas de hasta 180 °C. Es una tecnología muy conveniente para la preparación de mezclas, productos semicocidos o reconstituidos e inclusive alimentos completamente cocidos (Plahar *et al.*, 2003).

1.4.1. GENERALIDADES

Históricamente, alrededor de 1870 se registran los primeros extrusores para alimentos (extrusor a pistón para salchichas y carnes procesadas); sin embargo, entre 1935 - 1940 los extrusores de tornillos comienzan a ser utilizados por esta industria alimentaria para elaborar fideos, y dar formas a masas de cereales precocidas, (extrusores formadores) y entre 1940 - 1950 aparecen los extrusores cocedores que son usados para elaborar botanas y harinas precocidas (González *et al.*, 2002).

Un extrusor de alimentos es un biorreactor a alta temperatura y corto tiempo que transforma una variedad de ingredientes crudos a productos intermedios o terminados incluyendo botanas, cereales para desayuno, pastas, proteína texturizada. Este es un proceso único desde que acepta material relativamente seco, añade líquidos para plastificar el material crudo, gelatiniza el almidón, desnaturaliza proteínas e inactiva enzimas, antes de que expanda el producto. Este proceso podría ser usado para eliminar sabores indeseables, para inactivar inhibidores, y para modificar el almidón. La extrusión puede caracterizarse como una técnica eficiente para producir una variedad de productos dependiendo del material crudo seleccionado, las condiciones de extrusión y la configuración mecánica (Frazier *et al.*, 1983; El-Dash, 1983).

La extrusión puede definirse como un proceso que involucra el transporte de un material, bajo ciertas condiciones controladas, forzándola a pasar por una boquilla de una dada geometría y con un caudal másico pre-establecido. La palabra extrusión proviene del latín *extrudere* y debe conjugarse como el verbo difundir (González *et al.*, 2002). Este proceso es considerado eficiente, no solo desde el punto de vista de la versatilidad (ya que puede realizar simultáneamente operaciones de mezclado, cocción, texturización y secado parcial), sino también desde el punto de vista de la utilización de la energía, mano de obra y espacio requerido para la instalación (González *et al.*, 2002).

El extrusor combina varias operaciones unitarias, mezclado, amasado, cocinado, formado, enfriado y/o cortado. La combinación de estas operaciones es posible gracias a la gran cantidad de variables tales como velocidad de alimentación, humedad, velocidad del tornillo, temperatura del barril, perfil del tornillo y la configuración de la boquilla (González *et al.*, 2002; Van Zuilichem *et al.*, 1983). Un sistema de extrusión consta de varios subcomponentes. El ingreso de la materia prima está determinado por una tolva en la parte superior, de esta manera el extrusor opera de manera continua. Un tornillo de velocidad variable se utiliza para descargar material uniforme hacia el extrusor. También se trabaja con un cilindro pre acondicionador que posee cabezas encamisadas para mezclar vapor y/o agua con la masa de alimentación. De esta manera se asegura que cada partícula de la materia prima alcanza un equilibrio entre temperatura y humedad. El dado es la parte final del extrusor por donde sale el

material terminado, promueve evaporación instantánea de la humedad de la masa extrudida debido a un cambio de presión, ocasionando una expansión del producto, modificando la textura y la porosidad (Figura 4).

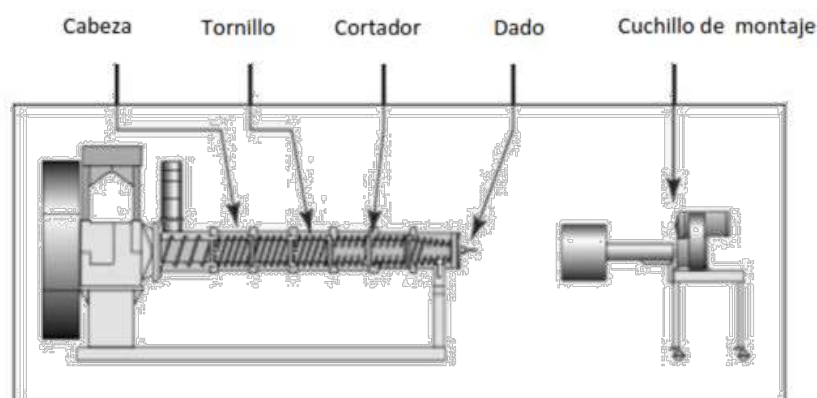


Figura 4. Diagrama representante de un extrusor (Robín, 2003).

El extrusor de un solo tornillo y el extrusor de tornillos gemelos son los que principalmente se utilizan en la industria de producción de alimentos para humanos y animales. El extrusor de un sólo tornillo trabaja bajo el principio de fricción producido en la superficie interna del barril, de esta manera la alimentación es arrastrada a lo largo del reactor. Esto dificulta utilizar cualquier tipo de formulación alimenticia. Mezclas con alto contenido de humedad y grasas no se recomiendan debido a que dificultan el proceso. Este tipo de extrusor es utilizado principalmente en la elaboración de alimentos animales. El extrusor de tornillos gemelos maneja dos sistemas donde los tornillos pueden girar en direcciones opuestas o donde giran en la misma dirección.

El primer sistema funciona como una bomba de desplazamiento positivo ya que ambos tornillos forman una cámara cerrada en forma de C evitando la filtración de material de un tornillo a otro disminuyendo el grado de mezclado y proveyendo velocidades de tornillo y corte muy bajas. Se utilizan mezclas sensibles a la temperatura que requieren procesamiento uniforme y son de baja viscosidad como suspensiones, azúcares y gomas de rápida solubilización. El sistema de tornillos girando hacia la misma dirección produce pasajes que permiten que el material se mueva de un tornillo a otro, por lo tanto, el mezclado de materiales

es muy eficiente. Pueden operarse a velocidades altas haciéndolos útiles para procesos de cocción con alto grado de corte mecánico. Se utilizan en la elaboración de botanas y cereales para el desayuno (Robín, 2003).

Los productos extrudidos poseen ventajas en términos de sus características sensoriales (textura, sabor, olor y color), en propiedades nutricionales (incremento en el contenido de proteína y perfil de aminoácidos balanceados) y además se ha comprobado que inactiva muchos compuestos antinutritivos (ácidos fíticos e inhibidores de tripsinas) (Ruiz-Ruiz *et al.*, 2008; Anton *et al.*, 2009). Básicamente, los alimentos extrudidos se componen de cereales, almidones y/o proteínas vegetales. Por sus propiedades físicoquímicas, estos ingredientes proveen estructura, textura, masticabilidad, densidad entre otras características deseables en los productos terminados (Anton *et al.*, 2009). La elaboración de productos extrudidos se ha basado en cereales como maíz, arroz, harina de trigo y papa, variando sus formas y texturas.

1.4.2. ASPECTOS IMPORTANTES EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Los factores que determinan las cualidades de los productos finales durante el proceso térmico son el contenido de humedad, temperatura, presión y velocidad de corte. Estos parámetros se ajustan dependiendo de los atributos de diseño del producto, ya que afectan las estructuras moleculares de los componentes de las matrices alimenticias.

Alavi *et al.* (2002) sometieron a extrusión materiales ricos en almidón a diferentes intervalos de humedad y temperatura encontrando que a contenidos de humedad del 20% y a temperaturas de 200 °C los gránulos de almidón comienzan a gelatinizarse, perdiendo el orden cristalino. En tiempos de retención en el extrusor menores a 1 minuto bajo condiciones extremas de temperatura y corte mecánico se obtiene una gelatinización completa. Lo anterior conlleva a una biodisponibilidad mayor del almidón en el caso de diversos cereales.

Por otro lado, Bello-Pérez & Paredes-López (2009), reportaron que el procesamiento hidrotérmico puede producir masas extrudidas sin generar gelatinización del almidón. Lo anterior ocurre siempre y cuando se trabaje con una temperatura por arriba de la temperatura de transición vítrea de los componentes amorfos de los alimentos (entre 67 y 80 °C) y a

humedades por debajo del 35%. Este tratamiento genera estructuras cristalinas altamente ordenadas, reduciendo la capacidad de hidrólisis de los compuestos amiláceos. El tratamiento térmico también puede ocasionar cambios en sustancias benéficas como compuestos fenólicos y fibra dietética. Cambios en los contenidos de estos compuestos puede originarse por diferentes reacciones catalizadas por la temperatura: degradación oxidativa de ácidos fenólicos incluyendo oscurecimiento enzimático, pérdida de ácidos libres de formas conjugadas y la formación de estructuras complejas de sustancias fenólicas con proteínas, taninos y antocianinas (Fleuriet & Macheix, 2003).

Las propiedades reológicas de la masa de alimentación también son afectadas por el proceso de extrusión. El tratamiento térmico desnaturaliza las proteínas y esto incrementa la accesibilidad de los grupos polares de los aminoácidos para crear interacciones con el agua circundante. Si la temperatura de proceso se incrementa, la capacidad de emulsificación, absorción de agua y aceite de la masa alimenticia es reducido por desnaturalización agresiva de la proteína. A bajas temperaturas de extrusión, se produce menos daño sobre la estructura del material obteniendo valores altos en absorción de agua (Rocha-Guzmán *et al.*, 2008).

1.4.3. VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

1.4.3.1. TIEMPO DE RESIDENCIA (T_R)

El tiempo de residencia se considera un parámetro del sistema que vincula las variables del proceso (como la velocidad del tornillo y el contenido de humedad) y parámetros del producto (como textura y sabor). El tiempo de residencia de los alimentos durante el proceso de extrusión determina el alcance de las reacciones químicas y, en última instancia, la calidad de los productos (Gogoi & Yam 1994). Representa el tiempo en que el material está expuesto al calor, al corte y permite que se produzcan reacciones químicas de interés en el cilindro de extrusión.

1.4.3.2. TORQUE (T_0)

El torque requerido para girar el tornillo del extrusor está relacionado con la velocidad del tornillo, el grado de llenado y la viscosidad del alimento en el canal del tornillo. En

consecuencia, el torque es una variable dependiente que proporciona información sobre el funcionamiento de la extrusora durante el procesamiento (Mercier *et al.*, 1989). Además, el monitoreo del torque del motor es muy importante para comprender la modificación de los biopolímeros durante el proceso de cocción por extrusión, ya que este parámetro del sistema está directamente relacionado con la viscosidad aparente de la masa extrudida a través de la extrusión (Lam & Flores, 2003).

1.4.3.3. ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (EME)

En el proceso de extrusión se utiliza energía para la cocción, los extrusores deben generar calor (energía) hacia el producto. Esto puede ser obtenido en varias formas, por conversión de energía mecánica (rotación del tornillo), aplicación de calor externo, y/o por inyección de vapor ya sea dentro o antes del extrusor. La energía es consumida por reacciones endotérmicas como la gelatinización de los almidones o desnaturalización de proteínas, y por aumento de temperatura del producto (acelerando esas reacciones, la curva del tiempo-temperatura de un proceso determina el grado de cocimiento alcanzado) (Miller, 1994).

La energía mecánica (conversión) es generada por corte. Los productos alimenticios trabajados por extrusión son muy viscosos, ellos resisten el corte generando fuerzas de fricción entre las capas en movimiento del producto. Para sobrepasar estas fuerzas se requiere energía, la cual se convierte en calor en el producto. La energía resultante en el producto es proporcional a la viscosidad del producto, al cuadrado del diámetro del tornillo, al cuadrado de la velocidad del tornillo (rpm) y al largo del tornillo (la proporción del tornillo lleno con material, algunas porciones de tornillos de extrusión, como aquellas usadas en la zona de alimentación, no está, llenas y no cortan el producto). La generación de energía es inversamente proporcional a la profundidad relativa del canal (profundidad dividida por el diámetro del tornillo) (Miller, 1994).

La energía específica mecánica (EME) es la energía derivada de la rotación de los tornillos que transporta el material dentro de la extrusora y se ha utilizado con frecuencia para cuantificar el aporte de energía de la conversión de energía mecánica a energía térmica (Chuang & Yeh, 2004). En la extrusión, el material es sometido a una alta energía mecánica

que se mide mediante la energía mecánica específica (Wolf, 2010), que puede usarse para indicar el consumo de energía. El torque requerido para calcular EME es suministrado por el equipo, que se define por la medida de tres lecturas tomadas al principio (después de la estabilización), en el medio y al final del procesamiento. El aumento de la energía interna puede facilitar la conversión del almidón y de este modo desarrollar la estructura de las burbujas de aire dentro del extrudido aumentando la cantidad de células de este tipo. La EME tiene un papel importante en la conversión de almidón, ya que cataliza el proceso de gelatinización por la ruptura de los enlaces intermoleculares de hidrógeno y la exposición de los grupos hidrófilos de almidón con agua y esto facilita la gelatinización (Gropper *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 1992).

1.5. PROPIEDADES FUNCIONALES

La funcionalidad de una sustancia se define como toda propiedad, nutricional o no, que interviene en su utilización (Mills *et al.*, 2003; Kligner & Mangino, 1991). Este comportamiento depende de las propiedades físicas y químicas que se afectan durante el procesamiento, almacenamiento, preparación y consumo del alimento. Las propiedades funcionales permiten el uso de las proteínas como ingredientes en alimentos, aunque generalmente se incorporan en mezclas complejas. Las características sensoriales resultan de más importancia para el consumidor que el valor nutricional, el que frecuentemente se altera para lograr buenas cualidades organolépticas, como textura, sabor, color y apariencia, las que a su vez son el resultado de interacciones complejas entre los ingredientes. La industria alimentaria se encuentra a la búsqueda de proteínas alternativas que puedan competir con las que actualmente dominan el mercado y que posean características nutritivas, funcionales y sensoriales adecuadas para utilizarse en el desarrollo de nuevos productos alimenticios (Pszczola, 2004).

La funcionalidad de una proteína no está del todo comprendida y hasta ahora no ha sido posible predecir su comportamiento en sistemas modelo, aunque se trabaja activamente en este sentido. La relación entre la composición de aminoácidos y las propiedades funcionales y fisicoquímicas se puede visualizar como una serie de eventos que están interrelacionados. Por

ejemplo, a partir de la composición y de su secuencia de aminoácidos se pueden deducir propiedades fisicoquímicas como hidrofobicidad, hidrofiliidad, tamaño, forma, carga neta y distribución de la carga, actividad superficial y viscosidad (Damodaran, 1997), que a su vez determinan las propiedades funcionales, como espumado, gelificación, formación de películas o estructuras vítreas, capacidad para ligar agua o aceite, emulsificación, etcétera.

Sin embargo, los modelos de predicción de propiedades funcionales a partir de la información sobre sus aminoácidos son todavía limitados (Siebert, 2003). Empíricamente las propiedades funcionales de las proteínas son una manifestación de dos aspectos moleculares de las proteínas: a) las propiedades hidrodinámicas, y b) propiedades de la proteína relacionadas con su superficie. Las propiedades funcionales como la viscosidad, gelación y texturización se relacionan con las primeras, que dependen del tamaño, forma y flexibilidad molecular. Las propiedades funcionales, como la humectabilidad, dispersabilidad, solubilidad, espumado, emulsificación y unión a sabores se relacionan con las propiedades de superficie de la proteína (Damodaran, 1997).

1.5.1. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)

El índice de absorción de agua puede definirse como la cantidad de agua que se mantiene unida a la proteína hidratada aun después de la aplicación de una fuerza externa como presión o más comúnmente centrifugación (Theobaudin *et al.*, 1997). En este método se mide tanto el agua ligada (agua de hidratación, no congelable) como el agua capilar, retenida físicamente entre las moléculas proteicas. La concentración proteica, el pH, la temperatura, el tiempo, la fuerza iónica y la presencia de otros componentes afectan a las fuerzas que toman parte en las interacciones proteína-proteína y proteína-agua. La fijación de agua por las proteínas descende generalmente a medida que se eleva la temperatura, debido a la disminución de los puentes de hidrógeno. El calentamiento provoca la desnaturalización y la agregación, pudiendo esta última reducir el área superficial y el número de grupos amino polares disponibles para fijar agua. Por otro lado, cuando se calientan proteínas con una estructura muy compacta, la disociación y el desplegamiento ocasionados pueden exponer enlaces peptídicos y cadenas laterales polares previamente ocultas, lo que aumenta la fijación. El tipo y la concentración de iones ejercen un considerable efecto sobre la absorción de agua.

Generalmente, se establece una competencia en la interacción entre el agua, la sal y las cadenas laterales de los aminoácidos (Fennema, 1993).

1.5.2. *ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA)*

La solubilidad de una proteína es la manifestación termodinámica del equilibrio entre las interacciones proteína-proteína y disolvente-proteína, que a su vez dependen de la hidrofobicidad y naturaleza iónica de las mismas (Hayase *et al.*, 1973). Las interacciones que influyen de forma más destacada en las características de solubilidad de las proteínas son las hidrófobas e iónicas. Las interacciones hidrofóbicas promueven la asociación proteína-proteína y disminuyen la solubilidad, en tanto que las iónicas promueven las interacciones proteína-agua y aumentan la solubilidad. La solubilidad se ve influenciada además de propiedades físico-químicas intrínsecas, por el pH, la fuerza iónica, la temperatura, la presencia de disolventes orgánicos y otras circunstancias concurrentes en la disolución, además de las propiedades intrínsecas de las moléculas (Shewry *et al.*, 1983). La solubilidad es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en un líquido. Puede expresarse en moles por litro, en gramos por litro, o en porcentaje de soluto; en algunas condiciones se puede sobrepasarla, denominándose solución sobresaturada. El índice de solubilidad en agua determina la cantidad de materia disuelta en exceso de agua, utilizándose como un indicador de la degradación de los componentes (Van den Einde *et al.*, 2003).

1.5.3. *ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE ACEITE (IAAc)*

El índice de absorción de grasa se relaciona con el número de cadenas laterales no polares de las proteínas u otras macromoléculas presentes en los alimentos como el almidón, que se enlazan con cadenas de grasa. La capacidad de absorción de grasa es una propiedad importante en la formulación de productos cárnicos, sustitutos de carne y en productos de panadería y sopas, que además se relaciona con la capacidad de retener las características de sabor y con la suavidad del producto (El-Adawy, 2001). La absorción de aceite es importante en la tecnología de alimentos, en productos congelados pre-cocidos listos para freír, en galletas y en algunos platos a base de cereales, además pueden mejorar el sabor y textura de los alimentos (Ramírez & Pacheco, 2009).

II. ANTECEDENTES

Rodríguez-Miranda et al. (2011). Investigaron la procesabilidad de mezclas de harina de malanga, maíz, y maíz nixtamalizado para producir botanas en un extrusor de tornillo simple. Evaluaron los efectos de la temperatura de extrusión y la proporción de harina de malanga en formulaciones sobre algunas propiedades físicas y funcionales de las botanas extrudidas. Utilizaron un diseño central compuesto para investigar los efectos de la proporción de harina de malanga en formulaciones (0 – 100 g) y temperaturas de extrusión (140 - 180 °C) en los siguientes índices: expansión (IE), solubilidad en agua (ISA), absorción de agua (IAA), y la absorción de aceite (IAAc). Concluyeron que el aumento en la proporción de harina de malanga en ambas formulaciones de productos produjo un aumento en el índice de expansión y la solubilidad en agua, pero disminuyó significativamente la absorción de grasa. La mezcla preparada con harina de malanga-maíz nixtamalizado en la proporción de 85.4 y 14.6 respectivamente, fue significativamente similar al de los extrudidos preparados con harina de malanga-maíz en la misma proporción, en composición química proximal, dureza, aceptabilidad general, el contenido de almidón resistente, pH, actividad de agua, y la densidad aparente.

Cortés et al. (2014). Estudiaron el efecto de la adición de la pulpa de maracuyá (0 - 7%), la variación de la temperatura de barrido en la tercera zona del extrusor (80 - 140 °C) y el contenido de humedad (16 - 30%) en la mezcla de almidón de maíz y pulpa de maracuyá sobre las diferentes características fisicoquímicas de la botana expandida por el proceso de extrusión. Reportaron que el índice de expansión osciló entre 1.0 - 1.8, la disminución de la humedad del alimento (18%), la concentración de la pulpa del maracuyá (1.42%) y el aumento de la temperatura del barril (127 °C) dio lugar a un alto índice de expansión. El aumento del contenido de humedad del almidón de maíz y la concentración de pulpa de maracuyá dio por resultado a que se obtuviera una mayor fuerza de penetración en los extrudidos, lo que no es muy deseable en botanas extrudidas. La concentración de la pulpa de maracuyá mostró un

efecto significativo ($p < 0.01$) en el parámetro de color L^* , a^* y b^* . Las botanas extrudidas tuvieron una coloración amarillenta características de la pulpa del maracuyá.

Basto et al. (2016). Evaluaron el efecto de la extrusión sobre las propiedades fisicoquímicas y el contenido de carotenoides de la harina de maíz adicionado con pulpa de durazno de palma (0, 15 y 25 g/100 g). Analizaron la expansión seccional, densidad aparente, viscosidad de pasta, difracción de rayos X y análisis de imagen a partir de los extrudidos. Determinaron que la expansión seccional se redujo de 6.1 a 3.8 a medida que se aumentaba la harina de pulpa de durazno de palma y aumentaba la densidad aparente de 0.22 a 0.35 g/cm³. Observaron que el perfil de viscosidad de la pasta fue influenciado por la adición de la harina de pulpa de durazno de palma, que redujo la viscosidad de pico frío 244 a 60.5 mPas y aumentó la viscosidad de 149 a 306.3 mPas. Las mezclas extruidas mostraron cristales de tipo V; sin embargo, aparecieron otros picos, indicando la formación de otras formas complejas de lípidos. La harina cruda de durazno de palma roja presentó un mayor contenido de β -caroteno (8.1 μ g/g) que fue el isómero principal. El contenido de carotenoides no disminuyó con el proceso de extrusión. Concluyeron que es posible producir extrudidos de maíz adicionando harina de durazno de palma de buena calidad nutricional por que el contenido de carotenoides no disminuyó con la extrusión. La harina de durazno de palma presentó el mismo tipo de cristal A que el almidón de maíz. La harina de durazno de palma puede ser un ingrediente interesante para mejorar el contenido de carotenoides en los productos extrudidos.

III. JUSTIFICACIÓN

La malanga es un tubérculo de importancia en la región de Tuxtepec para algunos productores, aunque en el SIAP-SAGARPA no se tiene registro de producción en el estado de Oaxaca, la región de Tuxtepec es considerada una región productora de malanga ya que existen las condiciones adecuadas para su producción y comercialización, siendo la forma de comercialización más común en fresco, y frituras. Por otra parte, el mango es una fruta de importancia en Tuxtepec, debido a que tiene una importante comercialización, además de que sus características nutricionales son considerables, es fuente de vitamina E, antioxidantes y da un buen aporte de fibra.

Por lo descrito anteriormente se propone la elaboración de botanas extrudidas usando materias primas no convencionales, como alternativa usar harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.) y pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) de la variedad manila, con la finalidad de aprovechar estos recursos naturales en la región de Tuxtepec, innovando la utilidad de estas materias primas y darle un valor agregado, y con lo anterior disminuir las pérdidas post-cosecha, evitando principalmente la pérdida del mango maduro de la variedad manila.

IV. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y caracterizar una botana extrudida elaborada con harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.) y pulpa de mango de la variedad manila (*Mangifera indica* L.).

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Obtener la materia prima: Malanga (*Colocasia esculenta* L.) y Mango de la variedad manila (*Mangifera indica* L.).
- ❖ Caracterizar físicoquímicamente la harina de Malanga (*Colocasia esculenta* L.) y la pulpa de mango de la variedad manila (*Mangifera indica* L.) y determinar el contenido de β -caroteno.
- ❖ Realizar un diseño de experimentos mediante el software estadístico Design expert 7.0.0 para encontrar las proporciones (0 - 10%) de pulpa de mango/harina de malanga, temperatura de extrusión (80 - 150 °C) y contenido de humedad (16 - 30%), para obtener productos tipo botana.
- ❖ Determinar el tiempo de residencia (TR), torque (T_0), presión (P) y la energía mecánica específica (EME) del proceso de extrusión.
- ❖ Determinar índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), textura (Text), y las propiedades funcionales: índice de absorción de agua (IAA), índice de absorción de aceite (IAAc) e índice de solubilidad en agua (ISA) de los productos obtenidos.
- ❖ Realizar la optimización numérica del proceso de extrusión y productos extrudidos.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 MATERIA PRIMA

La malanga (*Colocasia esculenta* L.) y el mango de la variedad manila (*Mangifera indica* L.) fueron adquiridos en el mercado local en la Ciudad de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México.

5.2 OBTENCIÓN DE LA HARINA DE MALANGA (*Colocasia esculenta* L.)

La malanga se lavó, peló y cortó en rodajas de 0.5 cm de espesor, posteriormente se secaron a 65 °C por 25 h (Secador de charola). Las rodajas secas se sometieron a molienda y se tamizaron con una malla número 30 para obtener un tamaño de partícula de 0.59 mm, se colocaron en bolsas de polietileno selladas y se almacenaron a 4 °C hasta su posterior uso (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

5.3 OBTENCIÓN DE LA PULPA DE MANGO VARIEDAD MANILA (*Mangifera indica* L.)

La pulpa de mango se obtuvo de acuerdo al procedimiento descrito por Cortés *et al.* (2014). El mango de la variedad manila se peló, se le quitó la pulpa y se trituró, posteriormente se llevó a centrifugar a 1027 x g durante 10 min a 15 °C (Centrifuge Hettich D-78532 1706-01, Model Rotina 380R, Germany), se colocó en bolsas de polietileno selladas y se almacenó a 4° C hasta su posterior uso.

5.4 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS

Las mezclas se prepararon de acuerdo al procedimiento descrito por Cortés et al. (2014). El precipitado (pulpa) se mezcló con harina de malanga en diferentes concentraciones de acuerdo al diseño experimental. La mezcla se homogenizó durante un período de 20 min usando un vortex (Vortex Mixer Taisite, Model XH-2000-I, Taisite Instrument, Co., Ltd., Tianjin, China), y luego se tamizó con una malla número 30 para obtener un tamaño de partícula de 0.59 mm (US Sieve Series).

5.5 DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HARINA DE MALANGA Y PULPA DE MANGO

La composición química proximal de las harinas se determinó por triplicado de acuerdo a los métodos de la A.O.A.C. (2005): humedad (925.10), cenizas (923.03), proteínas (920.87) y grasas (920.39). El contenido de fibra cruda se determinó por digestión ácido-alcalina (Tejeda, 1992) y el de carbohidratos totales por diferencia.

5.6 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE β -CAROTENO

La determinación del contenido de β -caroteno se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Ying et al. (2015). Para cuantificar el contenido de β -caroteno, se colocaron 80 mg de muestra en un tubo de vidrio de 30 mL y se añadieron 4 mL de Dimetilsulfóxido (DMSO). La muestra se colocó a baño maría a 75 °C y se agitó a 150 rpm durante 50 min para disolver la muestra. Posteriormente se enfrió a temperatura ambiente, y se le añadió 4 mL de butil-hidroxi-tolueno (BHT) al 0.1% (p/v) en hexano (C_6H_{14}), se agitó en vortex durante 10 s y se dejó reposar 30 min. Se agregaron de 2 a 3 gotas de etanol puro, para precipitar cualquier proteína presente en la fase de hexano, la capa de hexano se recuperó y se colocó en un vaso de precipitados de 10 mL, se le agregó 0.5 g de sulfato de sodio anhidrido (Na_2SO_4 anhidrido), finalmente el hexano recuperado se analizó a una absorbancia de 450 nm de longitud de onda usando un espectrofotómetro (Cary 60 UV-VIS MY11510011 Spectrophotometer, ©Agilent Technologies, Inc., USA.). La concentración de β -caroteno en la solución se calculó frente a

una curva estándar, que se obtuvo utilizando las concentraciones conocidas de β -caroteno (0 - 1 mg/100 mL) en hexano.

5.7 DETERMINACIÓN DE COLOR Y pH DE LA HARINA DE MALANGA Y PULPA DE MANGO

El color se determinó mediante un colorímetro triestímulo Hunter Laboratory (UltraScan[®] VIS, Hunter Laboratory, Model USVIS1347, Hunter Associates Laboratory, Inc., Reston, Virginia, U.S.A). Se obtuvieron los valores L^* (Luminosidad), a^* (cromaticidad rojo-verde) y b^* (cromaticidad amarillo-azul), a partir de los cuales se calcularon los valores de cromaticidad (C^*), ángulo Hue (h°) y la diferencia total de color (ΔE). El pH se midió utilizando un potenciómetro (Thermo Scientific Inc., Model Orion Star A211 pH/mV RmV[®], USA), previamente calibrado con tres soluciones buffer pH 4, 7 y 11. La medición se realizó dispersando 1 g de harina en 10 mL de agua destilada a 25 °C.

5.8 PROPIEDADES FUNCIONALES

Las siguientes propiedades funcionales fueron determinadas en la harina de malanga y pulpa de mango manila, así como en las mezclas obtenidas antes y después de extrudir de acuerdo al diseño experimental realizado.

5.8.1 ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA)

A 1 g de muestra se le añadieron 10 mL de agua destilada en tubos para centrifuga y se agitaron en vortex (Vortex Mixer Taisite, Model XH-2000-I, Taisite Instrument, Co., Ltd., Tianjin, China) durante 30 s y se centrifugaron a $1006 \times g$ por 15 min (Centrifuge Hettich D-78532 1706-01, Model Rotina 380R, Germany). Los resultados se expresaron como gramos de agua retenida por gramo de muestra para el IAA y para el ISA en porcentaje (Anderson *et al.*, 1969).

5.8.2 ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE ACEITE (IAAc)

A 1 g de muestra se le añadieron 10 mL de aceite de maíz, en tubos para centrifuga y se agitaron en vortex (Vortex Mixer Taisite, Model XH-2000-I, Taisite Instrument, Co., Ltd., Tianjin, China) durante 30 s y se centrifugaron a $1006 \times g$ por 15 min (Centrifuge Hettich D-78532 1706-01, Model Rotina 380R, Germany). Los resultados se expresaron como gramos de aceite retenido por gramo de muestra (Beuchat, 1977).

5.8.3 DENSIDAD APARENTE (DA)

Muestras de 50 g de harina se colocaron en una probeta de 100 mL. El contenido se compactó varias veces hasta obtener un volumen constante, registrando el volumen de cada muestra. La densidad aparente (g/cm^3) se calculó con el peso de la harina (g) dividido por el volumen de harina (cm^3) (Okaka & Potter, 1979).

5.9 PROCESO DE EXTRUSIÓN

El proceso de extrusión se realizó utilizando un extrusor de laboratorio (Extruder 19/25DN, Model 832005.007, Brabender® GmbH & Co. KG, Germany) de un sólo tornillo con una longitud de 428 mm y 19 mm de diámetro de la zona de barrido del extrusor, y una relación de compresión de 3:1. Se utilizó una boquilla circular de 3 mm de diámetro interno. Temperaturas del cilindro en la zona de alimentación, zona de transporte, y zona de cocción (zonas uno, dos, y tres, respectivamente) se mantuvieron constantes a 40, 60 y 80 °C, respectivamente) (Cortés *et al.*, 2014).

5.9.1 VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

5.9.1.1 TIEMPO DE RESIDENCIA (TR)

El tiempo de residencia se determinó durante la extrusión según lo informado por Iwe *et al.* (2001). Se introdujo un color rojo en el puerto de alimentación y el tiempo necesario para que el color apareciera por primera vez en la apertura del dado se registró como TR. Se tomaron tres determinaciones para cada corrida.

5.9.1.2 TORQUE (T_0)

Se determinó leyendo directamente desde el panel de operación del extrusor durante las corridas de extrusión de acuerdo con Iwe *et al.* (2001). Se restó un valor de 2.0 A del total obtenido, siendo la fuerza impulsora del motor según lo informado por Iwe *et al.* (2000). Se tomaron tres lecturas para cada ejecución, excepto cuando el torque era difícil de monitorear desde el panel. Los valores medios de torque se expresaron en Nm/s.

5.9.1.3 ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (EME)

La energía mecánica específica (EME) (J/g) definida como la entrada de energía mecánica total para obtener 1 g de producto extrudido, fue calculada de acuerdo a Harper (1981) y Martelli (1983) como:

$$EME = \frac{\Omega \times \omega \times 60}{m_{feed}}$$

Donde:

EME = Consumo de energía mecánica específica (J/g)

Ω = Es el torque neto ejercido sobre el extrusor (Nm)

ω = Velocidad angular del tornillo (rad/s)

m_{feed} = Flujo másico (g/min)

5.10 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS

A los productos extrudidos obtenidos después del proceso de extrusión se les realizó las siguientes determinaciones descritas anteriormente: Color y pH (apartado 5.7), propiedades funcionales como IAA, ISA, IAAC (apartado 5.8), densidad aparente (apartado 5.8.3), determinación de β -caroteno (apartado 5.6), y las descritas a continuación: índice de expansión y textura

5.10.1 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE EXPANSIÓN (IE) DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS

El índice de expansión (IE) se calculó para 20 muestras con un vernier (Vernier, Science Pursache, 0604CAL6, USA) calibrado previamente, dividiendo el diámetro medio de los

productos extruidos por el diámetro interno del orificio de la boquilla el extrusor (Gujska & Khan, 1990). Quince repeticiones se realizaron por tratamiento.

5.10.2 TEXTURA DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS

Se realizó la determinación de la fuerza máxima de ruptura por compresión (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2014) a las botanas extrudidas mediante un analizador de textura TA-XT2 (Texture Technologies Corp. Sacrsdale NY/Stable Micro Systems, Haslemere, Surrey, UK), la cual fue utilizado en modo de compresión, utilizando una cuchilla de corte Warner-Bratzler con una velocidad de ensayo de 5 mm/s. La dureza fue determinada en Newton (N) del promedio de la fuerza máxima requerida para romper el extrudido. Se realizaron 15 repeticiones por tratamiento, se reportaron los valores medios.

5.11 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS

Se realizó un diseño (Tabla 3) de experimentos central compuesto con tres variables independientes usando un paquete estadístico comercial (Design-Expert 7.0.0 Statease Inc., Minneapolis, MN, USA). Las variables independientes consideradas fueron el contenido de pulpa de mango (0 - 10%) (X_1), contenido de humedad (16 - 30%) (X_2) y temperatura (80 - 150 °C) (X_3), manteniendo constante el volumen de alimentación y la velocidad de tornillo. Las variables de respuestas fueron: características fisicoquímicas (índice de expansión [IE], densidad aparente [DA], Textura [Dureza], color [L^* , a^* , b^* C*, h° , ΔE] y pH), y propiedades funcionales (índice de adsorción de agua [IAA], índice de solubilidad en agua [ISA] é índice de absorción de aceite [IAAc] y contenido de β -caroteno). Los resultados se analizaron por medio de regresión lineal múltiple. La significancia estadística de los términos de la regresión se examinó mediante el análisis de varianza (ANDEVA) para cada respuesta.

Tabla 3. Diseño de experimentos central compuesto, para mezclas de productos extrudidos de mango (*Mangifera indica* L.) a base de harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.).

Tratamiento	Contenido de pulpa de mango (%) (X ₁)	Humedad (%) (X ₂)	Temperatura (°C) (X ₃)
1	5.07	18.84	94.19
2	19.93	18.84	94.19
3	5.07	18.84	135.81
4	19.93	18.84	135.81
5	5.07	27.16	94.19
6	19.93	27.16	94.19
7	5.07	27.16	135.81
8	19.93	27.16	135.81
9	0	23.00	115.00
10	25	23.00	115.00
11	12.5	23.00	80.00
12	12.5	23.00	150.00
13	12.5	16.00	115.00
14	12.5	30.00	115.00
15	12.5	23.00	115.00
16	12.5	23.00	115.00
17	12.5	23.00	115.00
18	12.5	23.00	115.00
19	12.5	23.00	115.00
20	12.5	23.00	115.00

Variables independientes: X₁ = Contenido de pulpa de mango (0 - 10%), X₂ = Contenido de humedad (16 - 30%), y X₃ = Temperatura (80 - 150 °C).

5.11.1 OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA

La optimización numérica se realizó a través de la superposición de las diferentes superficies de respuestas de acuerdo a los máximos y mínimos encontrados, los cuales fueron: máximo IE, mínima DA, mínima Textura (Dureza), máximo contenido de β -caroteno, mínima energía mecánica específica (EME), mismas que fueron establecidas en el programa Design Expert 7.0 (State-Ease Inc., Minneapolis, MN, U.S.A) como valores óptimos, que deben contener los productos extrudidos.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA MALANGA (*Colocasia esculenta* L.) Y MANGO MANILA (*Mangifera indica* L.)

La caracterización física presentada en la Tabla 4, muestra el porcentaje de las partes que constituyen la malanga (*Colocasia esculenta* L.), donde la cáscara de éste tubérculo fue de 9.56% y mientras que la pulpa constituye un 90.45%, que luego de ser sometido al proceso de secado para la elaboración de harina, se obtuvo un rendimiento del 64.89%. Cabe señalar que no existe información acerca del porcentaje que constituyen las partes de la malanga como la cáscara y pulpa.

Tabla 4. Porcentaje de las partes constituyentes de la malanga (*Colocasia esculenta* L.).

Parte	%
Cáscara	9.56 ± 0.53
Pulpa	90.45 ± 0.53

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones.

Por otro lado, en la Tabla 5 se muestran los porcentajes de las partes que constituyen el fruto del mango manila (*Mangifera indica* L.), se puede observar que la pulpa del mango manila representa un 78.23%, y que al ser sometido a centrifugación se obtuvo un rendimiento del 64.89% de pulpa precipitada y 35.11% de líquido sobrenadante. Estos resultados pueden ser comparados con lo reportado por Siller-Cepeda *et al.* (2009), quienes informaron que la cáscara del mango manila representa un 20% y un 14% su semilla del fruto, siendo estos valores mayores a lo reportado en esta investigación, sin embargo, el porcentaje de pulpa que ellos obtuvieron resultó ser menor reportando un valor del 66%, estos mismos autores, también reportaron datos para distintas variedades de mango, la cual en comparación con lo

reportado en ésta investigación tienen un porcentaje mayor de cáscara y semilla, como la variedad Haden que tiene 9% de semilla, 21% de cáscara y 70% de pulpa, la variedad Van Dyke con 13% de semilla, 22% de cáscara y 65% de pulpa, la variedad Tommy Atkins 10% de semilla, 14% de cáscara y 76% de pulpa, y la variedad Kent con 15% de cáscara, 10% de semilla y 75% de pulpa, sin embargo estas variedades de mango resultaron tener una menor cantidad de pulpa que el mango manila.

Tabla 5. Porcentaje de las partes constituyentes del mango manila (*Mangifera indica* L.)

Parte	%
Cáscara	12.76 ± 0.52
Semilla	8.85 ± 0.52
Pulpa	78.23 ± 0.84

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones.

6.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA HARINA DE MALANGA (*Colocasia esculenta* L.) Y PULPA DE MANGO MANILA (*Mangifera indica* L.)

La composición química de la harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.) y pulpa de mango manila (*Mangifera indica* L.) (base seca) se presenta en la Tabla 6, encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los componentes. La harina de malanga tuvo un contenido de humedad de 73%, mientras que la pulpa de mango fue de 75.53%.

Tabla 6. Composición química (Base seca) de la malanga (*Colocasia esculenta* L.) y mango manila (*Mangífera indica* L.).

Componente (g/100 g)	Malanga	Mango
Proteínas (N x 6.25)	6.12 ± 0.29 ^a	4.33 ± 0.01 ^b
Lípidos	0.25 ± 0.04 ^a	0.33 ± 0.12 ^b
Fibra cruda	1.82 ± 0.16 ^a	8.83 ± 0.97 ^b
Cenizas	3.09 ± 0.13 ^a	9.19 ± 0.31 ^b
Carbohidratos	88.72 ± 0.00 ^a	77.32 ± 0.00 ^b
β-caroteno (μg/g)	68.45 ± 0.04 ^a	108.85 ± 0.03 ^b

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones.

^{a-b}Diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

El contenido de humedad de la malanga fue mayor a lo reportado por otros autores como Antonio-Estrada et al. (2009), quienes reportaron un valor de 71.91% para la malanga variedad *Colocasia esculenta* L., Sefa-Dedeh & Agyr-Sackey (2004) reportaron un contenido de humedad de 63.36% para malangas cosechadas en Ghana.

Los componentes mayoritarios que se encontraron en la composición química de la harina de malanga destacan el contenido de proteínas, fibra cruda y carbohidratos (Tabla 6), y estos fueron relativamente superiores a lo reportado por Rodríguez-Miranda et al. (2011), quienes reportaron un contenido de proteínas de 5.73 g/100 g, fibra cruda 1.56 g/100 g y carbohidratos 87 g/100 g, sin embargo, en cuanto al contenido de lípidos y cenizas reportaron valores de 0.79 g/100 g y 4.02 g/100 g respectivamente. Por otra parte, Dendy (2001) reportó valores de proteínas de 1.4 - 7 g/100 g y fibra 0.6 - 0.8 g/100 g. Las diferencias en la composición química de la malanga en comparación con lo reportado por otros autores, puede ser atribuido a las zonas donde son cultivadas, temporada de cultivo y del grado de madurez del tubérculo (Moorthy 2002, Sefa-Dedeh & Sackey 2002). Las características químicas de los tubérculos dependen en gran medida de las características del suelo de donde fueron cosechados, así como de los factores ambientales como la sequía o la falta de nutriente (Onwueme, 1999).

El contenido de humedad del mango manila puede ser comparada con los valores reportados por autores como Vásquez-Caicedo et al. (2002) quienes reportaron un valor de 83%, Gopalan

et al. (1997) 78.9% y la USDA (2010) 83.46% para *Mangifera indica* L. En la composición química del mango los componentes que se encontraron en mayor concentración fue la fibra cruda, cenizas y carbohidratos (Tabla 6). El contenido de proteínas, fibra cruda y cenizas del mango reportados en esta investigación son mayores a los encontrados por Gopalan et al. (1997), quienes reportaron valores de proteínas de 1.99 g/100 g, fibra 4.71 g/100 g y cenizas 1.88 g/100 g, Vásquez-Caicedo et al. (2002) reportaron valores de proteínas de 3.07 g/100 g y fibra 4.91 g/100 g, Stafford (1983) reportó un contenido de proteínas de 3.65 g/100 g, fibra cruda 4.69 g/100 g y cenizas 2.08 g/100 g. Sin embargo, el contenido de proteínas encontrado en esta investigación es similar a lo reportado por USDA (2010) de 4.96 g/100 g, por otra parte Vásquez-Caicedo et al. (2002) reportaron un contenido de carbohidratos de 92.02 g/100 g valor que es superior a lo encontrado en esta investigación, los siguientes autores reportaron un contenido de lípidos y carbohidratos mayor, Gopalan et al. (1997) reportaron valores de lípidos de 1.66 g/100 g y carbohidratos 89.75 g/100 g, Stafford (1983) reportó un valor de lípidos 2.08 g/100 g y carbohidratos 87.50 g/100 g y la USDA (2010) informó valores de lípidos de 2.30 g/100 g y carbohidratos 90.57 g/100 g.

El contenido de β -caroteno 68.45 $\mu\text{g/g}$ de la harina de malanga encontrado en esta investigación resultó ser inferior en comparación a lo reportado por otros autores en *Colocasia esculenta* L., Huang et al. (2007) reportaron valores de 744 a 936 $\mu\text{g/g}$ en malanga de Taiwan, por otro lado, Lako et al. (2007) reportaron un valor de 190 $\mu\text{g/g}$ en malanga de Fiji, sin embargo, el valor encontrado en esta investigación es superior a lo reportado por Englberger et al. (2003) informaron valores de 0.5 a 20.4 $\mu\text{g/g}$, Temesgen-Yirmaga (2017) reportó un valor de 0.021 a 0.0231 $\mu\text{g/g}$ de malanga de Ethiopian, Shin et al. (2016) reportaron un valor de 0.098 $\mu\text{g/g}$ en malanga de Korea, las diferencias en el contenido de β -caroteno en comparación con los autores antes mencionados puede deberse al grado de madurez, condiciones de procesamiento y lugar de cosecha. El contenido de β -caroteno 108 $\mu\text{g/g}$ del mango manila encontrado en esta investigación, es inferior a lo reportado por Britton & Khachik (2009) quienes reportaron un valor de 4450 $\mu\text{g/g}$, Jiménez-Hernández et al. (2016) reportaron un valor de 232 $\mu\text{g/g}$, cabe destacar que estos autores no reportan la variedad del mango, por otra parte, el valor del contenido de β -caroteno encontrado en esta investigación es

superior a lo reportado por Khoo et al. (2011) quienes reportaron un valor de 17.1 $\mu\text{g/g}$, Ribeiro et al. (2007) reportaron el contenido de β -caroteno de 4 variedades de mango, mango Haden con un contenido de 9.29 $\mu\text{g/g}$, mango Tommy Atkins 5.71 $\mu\text{g/g}$, mango Palmer 6.43 $\mu\text{g/g}$ y mango Ubá 22.86 $\mu\text{g/g}$. Las diferencias en el contenido de β -caroteno del mango con respecto a lo reportado por los otros autores se puede atribuir a la variedad de mango utilizada, condiciones de procesamiento y el grado de madurez del mango. Cabe destacar que, en la harina de malanga y pulpa de mango, el principal componente mayoritario son los carbohidratos, siendo el más importante de este grupo el almidón, un componente que es importante en el proceso de extrusión, responsable de originar una de las propiedades físicas más importante en botanas extrudidos "la expansión", los cambios que pueda sufrir este componente afectan directamente la expansión y textura final del producto extrudido.

6.3 COLOR DE LA HARINA DE MALANGA (*Colocasia esculenta* L.) Y PULPA DE MANGO MANILA (*Mangifera indica* L.)

Los parámetros de color y pH de la harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.) y pulpa de mango manila (*Mangifera indica* L.) se muestran en la Tabla 7. Los valores de pH de la harina de malanga y pulpa de mango manila se encuentran en los valores ácidos de la escala de pH, encontrando diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las dos muestras, siendo la pulpa de mango tiene un valor de pH más ácido.

Mientras que los valores de los parámetros de color muestran que la harina de malanga tiene mayor luminosidad (L^*), el valor de a^* (rojo-verde) tiene una tendencia ligeramente hacia el color rojo, mientras que b^* (amarillo-azul) tiene una tendencia hacia el color amarillo, los parámetros C^* y h° muestran que el color de la harina de malanga se ubica en el primer cuadrante rojo-amarillo de la gráfica de color CIELAB con baja saturación de color.

Tabla 7. Color y pH de la harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.) y pulpa de mango manila (*Mangífera indica* L.).

	Parámetro	Harina de Malanga	Pulpa de Mango
pH		4.48 ± 0.06^a	3.92 ± 0.01^b
	L*	91.08 ± 0.41^a	41.95 ± 0.18^b
Color	a*	0.34 ± 0.05^a	8.77 ± 0.06^b
	b*	6.18 ± 0.18^a	23.46 ± 0.34^b
	C*	6.19 ± 0.18^a	25.04 ± 0.34^b
	h°	86.84 ± 0.42^a	69.51 ± 0.16^b
	ΔE	12.34 ± 0.45^a	64.86 ± 0.03^b

Los valores representan la media $\pm$ desviación estándar de tres determinaciones.

^{a-b}Diferentes letras en la misma fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Por otra parte, la pulpa de mango presentó menor luminosidad (L^*), con un valor de a^* que tiende hacia el color rojo, el valor de b^* tiende al color amarillo, por lo tanto el valor de los parámetros C^* y h° muestran que el color de la pulpa de mango se ubicó en el cuadrante antes mencionado, sin embargo tiene una saturación ligeramente mayor. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los parámetros de ambas muestras. El valor de luminosidad ($L^* = 91.08$) de la harina de malanga en esta investigación es superior a lo reportado por autores como Rodríguez-Miranda et al. (2011) quienes reportaron un valor de $L^* = 81.2$ en harina de malanga, Palomino et al. (2010) reportaron un valor de $L^* = 84.96$ en harina de malanga de origen venezolano, Njintang et al. (2008) reportaron valor de $L^* = 87.7$ en harina de origen Camerunés y Chinnasarn & Manyasi (2010) reportaron un valor de $L^* = 44.48$ en harina de origen Tailandés. El valor del parámetro a^* se encuentra por debajo de lo reportado por Rodríguez-Miranda et al. (2011) quienes reportaron un valor de $a^* = 3.30$ en harina de malanga, Njintang et al. (2008) reportaron un valor de $a^* = 1.45$ y Chinnasarn & Manyasi (2010) quienes reportaron un valor de $a^* = 14.61$, mientras que el valor de b^* es similar a lo reportado por Njintang et al. (2008) quienes reportaron un valor de $b^* = 6.98$, pero inferior a lo encontrado por Rodríguez-Miranda et al. (2011) y Chinnasarn & Manyasi (2010) quienes reportaron valores de $b^* = 10.6$ y $b^* = 24.65$ respectivamente. La diferencia total de color (ΔE) de la harina de malanga obtenida fue menor a lo reportado por Rodríguez-Miranda et al. (2011) quienes reportaron un valor de $\Delta E = 17.80$ en la harina de malanga, sin embargo, el

valor reportado en esta investigación fue mayor a lo reportado por Pérez et al. (2007) quienes reportaron un valor de $\Delta E = 7.08$ en harina de malanga. Los valores de los parámetros de color de la pulpa de mango manila pueden ser comparados con las siguientes variedades de mango (Haden, Tommy Atkins, Palmer, Ubá) destacando que se realiza la comparación con estas variedades de mango debido a una escasa información de trabajos donde se haya realizado una caracterización del color de la pulpa del mango antes mencionado, los valores de los parámetros L^* , a^* y b^* que presenta la pulpa de mango en esta investigación es inferior a lo reportado por Ribeiro et al. (2007) quienes reportaron valores para las siguientes variedades como: Haden $L^* = 61.3$, $a^* = 13$, $b^* = 48.3$, Tommy Atkins $L^* = 58.3$, $a^* = 11.5$, $b^* = 45.9$, Palmer $L^* = 54.9$, $a^* = 11.7$, $b^* = 39.6$ y Ubá $L^* = 59.1$, $a^* = 14.4$, $b^* = 49.7$. Por otra parte Liu et al. (2013) reportan parámetros de color a mangos de la variedad Irwin y Keitt, reportando para la variedad Irwin $L^* = 47.27$, $a^* = 10.87$, $b^* = 52.39$ y para la variedad Keitt $L^* = 45.75$, $a^* = 10.55$, $b^* = 52.27$, comparando los siguientes valores de los parámetros C^* y h° del mango Irwin $C^* = 53.51$, $h^\circ = 81.98$ y Keitt $C^* = 53.32$, $h^\circ = 82.29$ con los valores del mango manila, se puede observar que el color de la pulpa de estos mangos tiende a ser más amarillenta, estas diferencias de los valores entre los mangos se le puede atribuir a los pigmentos que pueden encontrarse entre una variedad y otra, además la comparación realizada son de mangos de distintas variedades.

6.4 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA HARINA DE MALANGA (*Colocasia esculenta* L.) Y PULPA DE MANGO MANILA (*Mangifera indica* L.)

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos de las propiedades funcionales de la harina de malanga y pulpa de mango manila.

Tabla 8. Propiedades funcionales de la harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.) y pulpa de mango manila (*Mangifera indica* L.).

Propiedades Funcionales	Harina de Malanga	Pulpa de Mango
IAA (g agua/g muestra)	2.64 ± 0.15^a	1.22 ± 0.08^b
ISA (%)	9.98 ± 0.39^a	19.71 ± 0.28^b
IAAc (g aceite/g muestra)	2.22 ± 0.04^a	1.76 ± 0.03^b

DA (g/cm ³)	0.80 ± 0.00 ^a	1.10 ± 0.00 ^b
-------------------------	--------------------------	--------------------------

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones. IAA = Índice de absorción de agua, ISA = Índice de solubilidad en agua, IAAc = Índice de absorción de aceite, DA = Densidad aparente, pH. ^{a-b}Diferentes letras en la misma fila, indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Las propiedades funcionales de la harina de malanga pueden ser comparados con lo reportado por Rodríguez-Miranda et al. (2011), quienes reportaron valores de IAA = 1.78 g agua/g muestra, ISA = 9.24% e IAAc = 0.99 g aceite/g muestra valores que son inferiores a los reportados en esta investigación. Por otra parte autores como Tagodoe & Nip (1994) reportaron un valor de IAA = 1.5 g agua/g muestra en harina de malanga de origen Hawaiano, por otra parte Mbofung et al. (2006) reportaron valores de IAAc = 1.74 – 1.86 g aceite/g muestra en harinas de seis variedades de malanga cultivadas en Camerún, y Tagodoe & Nip (1994) reportaron un valor de IAAc = 1.9 g aceite/g muestra en harinas de malanga de origen Hawaiano, valores que son inferiores a lo reportado en esta investigación. Con respecto al mango cabe mencionar que no hay suficiente información acerca de las propiedades funcionales del mango manila. Los resultados indican que la harina de malanga presenta mayor índice de absorción de agua y aceite en comparación con la pulpa de mango, sin embargo, la pulpa de mango tiene una mayor solubilidad en agua y es de mayor densidad aparente.

Las diferencias de los valores en los parámetros de propiedades funcionales entre las muestras se deben a que son materias primas distintas y por la composición química que presentan. La diferencia en la absorción de agua y de aceite entre ambas muestras puede atribuirse a la presencia de una mayor cantidad de carbohidratos en la harina de malanga. Aboubakar et al. (2008) sugirieron que el componente no almidón como el mucílago, contribuyen en gran medida a la absorción de la harina de malanga. Esta propiedad funcional de la harina de malanga puede ser utilizada en una posible aplicación en la industria alimentaria. Por otra parte, la absorción de aceite es de gran importancia desde un punto de vista industrial, ya que refleja la capacidad emulsionante (Kaur *et al.*, 2007). La capacidad de las harinas para absorber y retener agua y aceite pueden ayudar a mejorar la unión de la estructura, mejorar la retención del sabor, mejorar la sensación en la boca, reducir humedad y pérdida de grasa de productos cárnicos (McWatters & Heaton, 1979).

6.5 PARÁMETROS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

En la Tabla 9 se muestran los valores de los parámetros del proceso de extrusión.

Tabla 9. Parámetros del proceso de extrusión.

Tto	TR	T ₀	P	EME
1	37.01	27.13 ± 0.10	2524 ± 36.51	460.67 ± 18.70
2	36.32	32.93 ± 0.70	1730 ± 121.57	569.79 ± 12.15
3	37.15	18.10 ± 0.10	1510 ± 56.35	306.10 ± 1.69
4	37.74	15.87 ± 0.23	871 ± 63.24	264.16 ± 3.84
5	44.17	23.20 ± 0.44	739 .67 ± 24.34	330.04 ± 6.20
6	43.21	14.33 ± 0.35	619 ± 25.51	208.44 ± 5.11
7	43.44	10.77 ± 0.21	363 ± 29.87	155.74 ± 3.01
8	42.13	11.70 ± 0.10	350.33 ± 24.58	174.51 ± 1.49
9	41.12	31.77 ± 0.40	1172 ± 72.96	485.45 ± 6.18
10	33.14	25.23 ± 0.21	835.33 ± 49.70	478.45 ± 3.95
11	32.80	28.10 ± 0.20	2042 ± 56.50	538.31 ± 3.83
12	34.03	18.07 ± 0.15	370.33 ± 24.95	333.55 ± 2.82
13	33.92	47.80 ± 0.40	2080.67 ± 49.66	885.37 ± 81.56
14	41.95	16.83 ± 0.21	566 ± 7.55	252.15 ± 3.12
15	37.54	23.50 ± 0.10	976 .33 ± 58.86	393.34 ± 1.67
16	35.13	20.83 ± 0.67	895.33 ± 46.54	372.66 ± 11.91
17	35.06	23.67 ± 0.15	845.67 ± 44.07	424.14 ± 2.74
18	35.01	21.23 ± 0.45	872.33 ± 25.89	381.08 ± 8.09
19	34.94	15.93 ± 0.15	605.33 ± 7.57	286.53 ± 2.75
20	34.23	22.97 ± 0.15	811 ± 60.11	421.53 ± 2.80

Los valores representan la media ± desviación estándar. TR = Tiempo de residencia (g/min), T₀ = Torque (Nm), P = Presión (Psi), EME = Energía mecánica específica (J/g).

Los parámetros determinados durante el proceso de extrusión muestran que el TR varió de 32.80 a 44.17 g/min, T₀ de 10.77 a 47.80 Nm, P de 350.33 a 2524 Psi y la EME de 155.74 a 885.37 J/g.

El mayor TR (44.17 g/min) durante el proceso de extrusión se obtuvo en el Tto 5, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 5.07%, contenido de humedad 27.16% y temperatura 94.19 °C, por otro lado, el menor TR (32.80 g/min) se obtuvo en el Tto 11 elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 23% y temperatura 80 °C, en general se puede decir que durante el proceso de extrusión los mayores TR que se obtuvieron fueron en los tratamientos que tienen un contenido de pulpa de mango de 5 a 20%, contenido

de humedad de 27 a 30% y temperatura de 94.19 a 135 °C, mientras que los tratamientos que tienen un contenido de pulpa de mango de 12.5 a 25%, contenido de humedad de 16 a 23% y temperatura de 80 a 150 ° C presentaron un menor TR. El contenido de humedad de las mezclas tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) positivo sobre el TR (Tabla 13), el incremento en los niveles del contenido de humedad generó un mayor TR en el proceso de extrusión.

Por otra parte el valor más alto del T_0 (47.80 Nm) que se obtuvo fue en el Tto 13, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 16% y temperatura 115 °C, mientras que el T_0 (10.77 Nm) más bajo se obtuvo en el Tto 7, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 5.07%, contenido de humedad 26.16% y temperatura 135.81 °C, el contenido de humedad y temperatura tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo sobre el T_0 (Tabla 13), lo que indica que el incremento en los niveles del contenido de humedad y temperatura de extrusión disminuye el torque durante el proceso de extrusión, la disminución del torque con el aumento del contenido de humedad se puede atribuir a que hay más cantidad de agua disponible para la gelatinización del almidón, lo que causa una disminución de la viscosidad en la mezcla durante el proceso de extrusión, y por ende, hay una menor fricción en la extrusora, por lo que la dificultad del procesamiento disminuye. Filli et al. (2012) reportaron que el aumento en el contenido de humedad en la alimentación causa una disminución en el torque durante el proceso de extrusión. La P más alta (2524 Psi) generada en el proceso de extrusión se obtuvo en el Tto 1, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 5.07%, contenido de humedad 18.84% y temperatura 92.19 °C, por otro lado, la P mínima (350.33 Psi) generada fue en el Tto 8, elaborada con un contenido de pulpa de mango de 19.93%, contenido de humedad 23% y temperatura 135.81 °C, las altas presiones generadas en el proceso de extrusión se obtuvieron en productos elaborados con un intervalo del contenido de pulpa de mango de 5.07 a 19.93%, contenido de humedad de 16 a 23% y temperatura de 80 a 135.81 °C, mientras que las bajas presiones se obtuvieron en productos elaborados con un intervalo del contenido de pulpa de mango de 5.07 a 19.93%, contenido de humedad de 23 a 30% y temperatura de 94.19 a 150 °C. El contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo sobre la P, lo que muestra que el incremento en estas variables independientes disminuye la P durante

el proceso de extrusión, la disminución de la presión puede ser atribuida al incremento en el contenido de humedad y temperatura que disminuye la viscosidad y fricción de la mezcla fundida en el barril del extrusor. El valor más alto de la EME (885.37 J/g) se obtuvo en el Tto 13, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 16% y temperatura 115 °C, por otro lado, la mínima EME (155.74 J/g) se obtuvo en el Tto 7, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 5.07%, contenido de humedad 27.16% y temperatura 135.81 °C. Los valores más altos de la EME en el proceso de extrusión fueron obtenidos en los productos elaborados con un intervalo del contenido de pulpa de mango de 0 a 19.93%, contenido de humedad de 16 a 23% y temperatura de 80 a 115 °C, sin embargo, los valores mínimos de la EME fueron obtenidos en productos elaborados con un intervalo del contenido de pulpa de mango de 5.07 a 19.93%, contenido de humedad de 18.84 a 30% y temperatura de 94.19 a 135.81 °C. El contenido de humedad tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) negativo sobre la EME, lo que muestra que el incremento del contenido de humedad disminuye la EME durante el proceso de extrusión, la disminución de la EME puede atribuirse a la disminución de la viscosidad de la mezcla fundida y esto genera una disminución de la EME.

6.6 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS DE PULPA DE MANGO A BASE DE HARINA DE MALANGA

La caracterización físicoquímica de los productos extrudidos de pulpa de mango a base de harina de malanga se muestran en la Tabla 10. En un producto botana elaborado por el proceso de extrusión, la expansión del producto extrudido es una propiedad fundamentalmente importante, describiendo la calidad del producto, funcionalidad y aceptabilidad del producto final (Escalante-Aburto *et al.*, 2013). La calidad de las botanas expandidas es juzgada principalmente por su textura, la cual es directamente relacionada con su expansión (Chinnaswamy & Hanna, 1987).

Tabla10. Caracterización fisicoquímica de los productos extrudidos de pulpa de mango a base de harina de malanga.

Tto.	Parámetros						
	IE	DA	IAA	ISA	IAAc	pH	Text
1	1.13 ± 0.02	1.46 ± 0.07	6.35 ± 0.17	10.77 ± 0.27	1.80 ± 0.14	6.27 ± 0.04	3.40 ± 0.07
2	1.10 ± 0.02	1.33 ± 0.06	6.34 ± 0.28	10.41 ± 0.14	1.85 ± 0.06	6.25 ± 0.00	94.08 ± 0.05
3	1.26 ± 0.08	0.84 ± 0.09	6.10 ± 0.37	14.09 ± 0.08	1.79 ± 0.06	6.25 ± 0.00	16.14 ± 0.87
4	1.47 ± 0.09	0.70 ± 0.08	5.83 ± 0.11	15.89 ± 0.07	1.79 ± 0.09	6.20 ± 0.00	8.47 ± 0.38
5	1.01 ± 0.02	1.26 ± 0.05	5.36 ± 0.32	10.58 ± 0.07	1.81 ± 0.01	6.14 ± 0.00	65.44 ± 0.34
6	0.92 ± 0.02	1.35 ± 0.06	5.24 ± 0.27	13.23 ± 0.40	1.83 ± 0.07	6.16 ± 0.01	36.85 ± 0.23
7	1.47 ± 0.05	0.91 ± 0.07	5.75 ± 0.33	9.56 ± 0.22	1.84 ± 0.05	6.14 ± 0.01	20.69 ± 0.42
8	1.35 ± 0.10	0.96 ± 0.18	6.34 ± 0.30	12.51 ± 0.43	1.91 ± 0.04	6.11 ± 0.00	95.73 ± 0.33
9	1.03 ± 0.02	1.34 ± 0.08	5.51 ± 0.12	8.97 ± 0.61	1.82 ± 0.10	6.23 ± 0.01	67.65 ± 0.57
10	1.05 ± 0.03	1.30 ± 0.07	5.28 ± 0.12	11.46 ± 0.28	1.78 ± 0.04	6.19 ± 0.02	77.16 ± 0.42
11	1.12 ± 0.02	1.39 ± 0.05	6.24 ± 0.20	10.09 ± 0.44	1.83 ± 0.13	6.30 ± 0.01	96.54 ± 0.31
12	1.65 ± 0.08	0.69 ± 0.04	6.84 ± 0.03	24.14 ± 0.30	1.95 ± 0.02	6.27 ± 0.02	0.80 ± 0.32
13	1.63 ± 0.10	0.74 ± 0.11	5.68 ± 0.14	11.88 ± 0.22	1.92 ± 0.05	6.22 ± 0.03	1.13 ± 0.02
14	1.01 ± 0.04	1.31 ± 0.14	5.20 ± 0.03	11.72 ± 0.09	2.00 ± 0.03	5.92 ± 0.00	3.51 ± 0.18
15	1.02 ± 0.01	1.39 ± 0.04	6.74 ± 0.12	11.99 ± 0.53	1.92 ± 0.07	6.15 ± 0.01	3.20 ± 0.13
16	1.02 ± 0.00	1.38 ± 0.04	5.57 ± 0.35	9.60 ± 0.09	1.97 ± 0.03	6.19 ± 0.01	3.52 ± 0.52
17	1.03 ± 0.01	1.39 ± 0.05	6.58 ± 0.16	15.98 ± 0.37	1.99 ± 0.07	6.23 ± 0.03	3.45 ± 0.14
18	1.05 ± 0.04	1.37 ± 0.10	5.51 ± 0.27	14.27 ± 0.37	1.85 ± 0.05	6.24 ± 0.02	3.40 ± 0.11
19	1.02 ± 0.02	1.43 ± 0.08	5.60 ± 0.11	11.28 ± 0.22	1.94 ± 0.05	6.11 ± 0.01	3.27 ± 0.12
20	1.02 ± 0.01	1.40 ± 0.07	5.93 ± 0.01	13.47 ± 0.58	2.25 ± 0.57	6.21 ± 0.00	3.22 ± 0.11

Los valores representan la media ± desviación estándar. Tto = Tratamiento, IE = Índice de expansión, DA = Densidad aparente (g/cm³), IAA = Índice de absorción de agua (g agua/g muestra), ISA = Índice de solubilidad en agua (%), IAAc = Índice de absorción de aceite (g aceite/g muestra), Text = Textura (N).

Los valores del IE de los productos extrudidos variaron de 0.92 - 1.65 (Tabla 10), obteniendo el menor IE en el Tto 6 bajo las siguientes condiciones: pulpa de mango 19.93%, humedad 27.16% y temperatura 94.19 °C, por otra parte el mayor índice de expansión se obtuvo en el Tto 12 con un contenido de pulpa de mango (12.5%), humedad (23%) y temperatura (150 °C), lo anterior es debido a que el contenido de humedad y temperatura de extrusión (Tabla 14) tuvieron efectos significativos ($p < 0.05$) negativos y positivos respectivamente sobre este parámetro, ya que a contenido de humedades bajas y el incremento de la temperatura en el proceso de extrusión favoreció a obtener productos extrudidos con una mayor expansión, esto puede atribuirse a que la expansión es un fenómeno complejo, que se produce a temperaturas altas y bajos contenidos de humedad, produciendo transformaciones estructurales de los biopolímeros, transiciones y transformaciones de fases que conducen a la formación de

burbujas de aire dentro del almidón y conservándolas después de la salida del material (Moraru & Kokini, 2003). Típicamente el grado de expansión alcanzado durante la extrusión a alta temperatura es proporcional a la concentración de almidón (Linko & Linko, 1981). Durante el proceso de extrusión, el calor y el cizallamiento facilitan la hidratación de almidones y proteínas, ambos clasificados como materiales estructurales (Guy, 2001).

Los valores de DA de los productos extrudidos tienen un intervalo de 0.69 - 1.46 g/cm³, se determinó que el contenido de humedad tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) positivo y temperatura de extrusión efecto significativo ($p < 0.05$) negativo (Tabla 14), observando que tiene una correlación con la expansión de los productos obtenidos, el incremento de la temperatura en el proceso de extrusión favoreció a obtener los valores más bajos de este parámetro (Tto 12), obteniéndose bajo las siguientes condiciones: pulpa de mango (12.5%), humedad (23%) y temperatura (150 °C), la DA de las botanas es uno de los principales índices de expansión, este mide lo hinchado de los productos extrudidos, y tiene una correlación negativa a la expansión (Charunch *et al.*, 2011), de acuerdo a los datos (Tabla 10) la DA tiene una correlación negativa con el índice de expansión en cada tratamiento, debido a que la DA se controla por el grado de expansión ya que se ha informado que productos más expandidos tiene paredes celulares más grandes y delgadas, lo que da como resultado una menor DA (Stojceska *et al.*, 2008).

Otro parámetro relacionado con el IE de la botana es la textura (dureza), la cual es una fuerza requerida para probar la compresión del extrudido, los intervalos de la dureza de los productos extrudidos fueron de 0.80 - 96.54 N, destacando que el valor más bajo de dureza se obtuvo en el Tto 12 (Tabla 10) bajo las mismas condiciones que el parámetro anterior: pulpa de mango (12.5%), humedad (23%) y temperatura (150 °C), donde el contenido de pulpa de mango y humedad tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) positivo y la temperatura efecto significativo ($p < 0.05$) negativo (Tabla 14), este valor varía dependiendo del grado de expansión, ingredientes utilizados y condiciones de procesamiento. Varios estudios han encontrado que el aumento del contenido de humedad de la materia prima utilizada para elaborar productos extrudidos aumenta la DA, IAA, ISA y la dureza, y disminuye el IE (Chiu *et al.*, 2013; Kirjoranta *et al.*, 2012; Oke *et al.*, 2013). Sin embargo, a una mayor temperatura de extrusión

se obtienen una mayor expansión y reduce la dureza de los extrudidos (Sebio & Chang 2000). Otros parámetros como el IAA varió de 5.20 - 6.84 g agua/g muestra, ISA 8.97 - 24.14%, IAAC 1.78 - 2.25 g aceite/g muestra y el pH 5.92 - 6.30.

El índice de solubilidad en agua (ISA) es un parámetro que indica la degradación total sufrida por los gránulos de almidón. Es decir, esta es la integración de los efectos de la gelatinización, dextrinización, y la consiguiente solubilización. El incremento en la solubilidad en productos extrudidos es atribuido a la dispersión de moléculas de amilosa y amilopectina seguido de la gelatinización, cuando las condiciones de procesamiento son leves, y la formación de componentes de bajo peso molecular bajo condiciones drásticas (Colonna *et al.*, 1984). Gómez & Aguilera (1984) muestran que la gelatinización del almidón produce modificaciones estructurales significativas, con destrucción de cadenas de polímeros con su pérdida total. Como la gelatinización es más intensa, esto es un incremento en la fragmentación del almidón con baja absorción de agua. En contraste, el ISA depende de la cantidad de moléculas solubles y está relacionada a la degradación de almidón. Además, el ISA incrementa con tratamientos más severos.

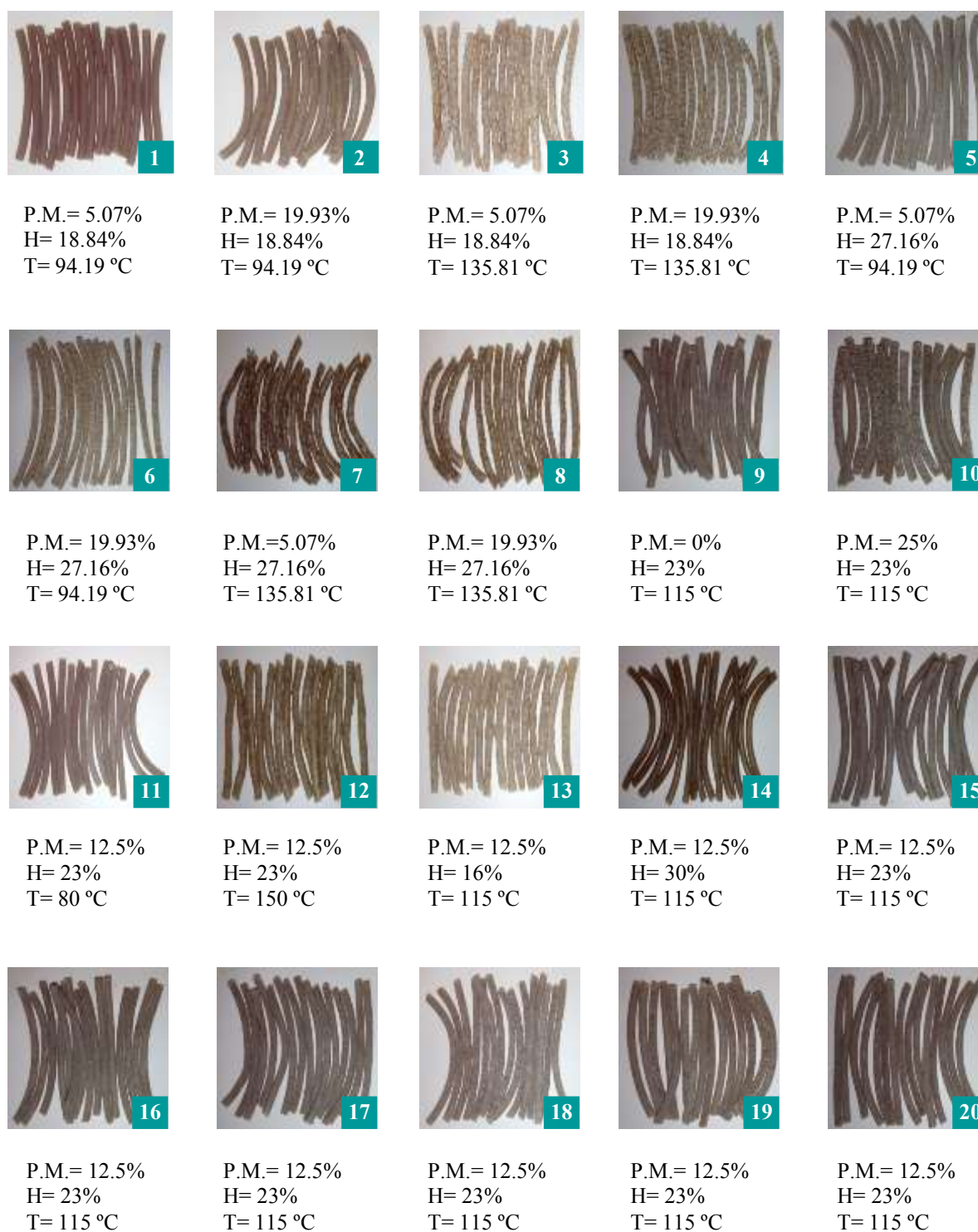


Figura 5. Apariencia visual de los productos extrudidos elaborados de harina de malanga y pulpa de mango.

6.7 COLOR DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS DE PULPA DE MANGO A BASE DE HARINA DE MALANGA.

El aspecto y el color de la superficie de los alimentos es el primer parámetro de calidad evaluado por los consumidores y es fundamental para la aceptación del producto. El color es la primera sensación que el consumidor percibe y usa como herramienta para aceptar o rechazar un alimento. La observación del color permite la detección de ciertas anomalías o defectos que los alimentos pueden presentar (Abdullah *et al.*, 2004; Du & Sun, 2004; Hatcher *et al.*, 2004; Pedreschi *et al.*, 2000). El análisis de color de las botanas extrudidas (Tabla 11) indicaron valores de L^* que varían de 63.47 a 70.52, a^* de 4.56 a 6.03, b^* de 9.89 a 12.43, C^* de 11.05 a 13.82, h° 61.73 a 65.88 y ΔE varía de 31.09 a 38.50.

Tabla 11. Color de los productos extrudidos de pulpa de mango a base de harina de malanga.

Tto.	Parámetros					
	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	ΔE
1	68.43 ± 0.33	4.48 ± 0.12	9.91 ± 0.07	11.05 ± 0.11	63.80 ± 0.43	32.89 ± 0.28
2	68.26 ± 0.51	5.00 ± 0.16	10.96 ± 0.52	12.05 ± 0.54	65.45 ± 0.33	33.39 ± 0.67
3	67.83 ± 0.13	4.93 ± 0.08	9.97 ± 0.15	11.12 ± 0.15	63.66 ± 0.41	33.47 ± 0.17
4	67.47 ± 0.38	5.49 ± 0.12	11.94 ± 0.43	13.14 ± 0.42	65.31 ± 0.74	34.53 ± 0.32
5	66.26 ± 0.57	5.08 ± 0.06	10.13 ± 0.30	11.33 ± 0.26	63.33 ± 0.83	35.02 ± 0.62
6	68.17 ± 0.38	4.56 ± 0.57	10.17 ± 0.82	11.14 ± 0.98	65.88 ± 0.96	33.16 ± 0.66
7	68.16 ± 0.65	5.17 ± 0.28	9.89 ± 0.23	11.16 ± 0.33	62.42 ± 0.75	33.18 ± 0.71
8	65.16 ± 0.40	5.17 ± 0.50	10.50 ± 0.67	11.71 ± 0.80	63.25 ± 0.61	36.19 ± 0.39
9	67.74 ± 0.12	5.12 ± 0.56	10.68 ± 0.57	11.85 ± 0.76	65.17 ± 0.27	33.81 ± 0.38
10	64.75 ± 0.55	5.42 ± 0.21	11.44 ± 0.35	12.65 ± 0.40	64.66 ± 0.26	36.89 ± 0.54
11	69.26 ± 0.57	4.69 ± 0.18	10.44 ± 0.54	11.44 ± 0.57	65.81 ± 0.34	32.24 ± 0.66
12	69.38 ± 0.56	4.78 ± 0.12	10.29 ± 0.15	11.35 ± 0.09	65.06 ± 0.34	32.09 ± 0.52
13	70.52 ± 0.46	4.91 ± 0.31	10.43 ± 0.14	11.53 ± 0.17	65.64 ± 0.02	31.09 ± 0.47
14	63.47 ± 0.38	6.03 ± 0.34	12.43 ± 0.66	13.82 ± 0.72	64.11 ± 0.83	38.50 ± 0.10
15	67.31 ± 0.84	4.80 ± 0.25	10.17 ± 0.25	11.25 ± 0.33	64.75 ± 0.68	34.00 ± 0.77
16	65.32 ± 0.31	5.39 ± 0.19	10.83 ± 0.30	12.10 ± 0.22	64.25 ± 0.73	36.16 ± 0.25
17	64.47 ± 0.56	5.51 ± 0.42	10.75 ± 0.29	12.45 ± 0.13	61.73 ± 0.21	37.08 ± 0.57
18	66.09 ± 0.32	5.12 ± 0.29	10.18 ± 0.81	11.39 ± 0.85	63.25 ± 0.73	35.21 ± 0.53
19	64.40 ± 0.34	5.73 ± 0.32	10.85 ± 0.75	12.28 ± 0.63	62.47 ± 0.67	37.10 ± 0.46
20	63.95 ± 0.76	5.56 ± 0.06	10.52 ± 0.64	12.23 ± 0.12	62.78 ± 0.18	37.39 ± 0.91

Los valores representan la media ± desviación estándar por triplicado. L^* = Luminosidad, a^* = rojo-verde; b^* = amarillo-azul; C^* = Cromaticidad; h° = Ángulo hue; ΔE = Diferencia total de color.

El mayor valor de L^* (70.52) fue encontrado en el producto extrudido (Tto 13) elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 16% y temperatura 115 °C, por otra parte el valor más bajo de luminosidad fue encontrado en el producto (Tto 14) elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 30% y temperatura 115 °C, en general los productos extrudidos con mayor luminosidad tienen un intervalo del contenido de pulpa de mango de 5 a 20%, contenido de humedad de 16 a 27% y temperatura de 80 a 150 °C, sin embargo, los que presentan un mayor oscurecimiento son los productos con un intervalo de pulpa de mango de 12 a 25%, contenido de humedad de 23 a 30% y temperatura de 115 a 135 °C, el efecto significativo ($p < 0.05$) negativo (Tabla 15) que presentó el contenido de humedad sobre L^* en los productos extrudidos, muestra que el incremento en los niveles del contenido de humedad provocó la obtención de productos más oscuros, los cambios en los valores de L^* pueden ser debido a la degradación de pigmentos (principalmente carotenoides) durante el proceso de extrusión (Anton *et al.*, 2008). Aunque las burbujas de gas del producto extrudido pueden provocar cambios en el aspecto y el color, que también dependen del tamaño de las células (Campbell & Mougeot, 1999), estos cambios son menos expresivos que las reacciones no enzimáticas (caramelización de azúcar y Maillard) o la degradación de pigmentos, muchos estudios muestran el cambio de color durante el proceso de extrusión (Ondo *et al.*, 2013; Singkhornart *et al.*, 2014). El alto valor de a^* (6.03) fue encontrado en el producto elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 30% y temperatura 115 °C, el valor más bajo de a^* (4.56) fue encontrado en el producto elaborado con un contenido de pulpa de mango de 19.93%, contenido de humedad 27.16% y temperatura 94.19 °C, en general los productos con mayor valor de a^* y con más tendencia hacia el color rojizo son los productos elaborados con un contenido de pulpa de mango de 12.5 a 25%, contenido de humedad de 18 a 30% y temperatura de 115 a 135 °C. El mayor valor de b^* (12.43) fue encontrado en el producto elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 30% y temperatura 115 °C, por otra parte, el menor valor de b^* (9.89) fue encontrado en el producto elaborado con un contenido de pulpa de mango de 5.07%, contenido de humedad 27.16% y temperatura 135.81 °C, los productos con más tendencia hacia el color amarillento fueron elaborados con un contenido de pulpa de mango de 12.5 a 25%, contenido de humedad de 18 a

30% y temperatura de 94 a 135 °C. El incremento en el nivel del contenido de pulpa de mango en los productos extrudidos causa un incremento en los valores del parámetro a^* y b^* , lo anterior puede ser atribuido posiblemente a los pigmentos (principalmente carotenoides) que están presentes en la pulpa de mango, por otra parte, también los altos niveles del contenido de humedad posiblemente provocaron la obtención de productos más oscuros, Stojceska et al. (2009) reportaron que el incremento de la humedad en la alimentación conduce a una disminución de la luminosidad en productos extrudidos. La mayor saturación de color ($C^* = 13.82$) en los productos extrudidos se obtuvo en el Tto 14, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 30% y temperatura 115 °C, sin embargo, la baja saturación de color se obtuvo en el Tto 1 elaborado con un contenido de pulpa de mango de 5.07%, contenido de humedad 18.84% y temperatura 94.19 °C. La tonalidad de color ($h^\circ = 65.88$) más alta se obtuvo en el Tto 6, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 19.93%, contenido de humedad 27.16% y temperatura 94.19 °C, sin embargo, en el Tto 17 se obtuvo la tonalidad de color ($h^\circ = 61.73$) mínima, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 23% y temperatura de 115 °C, se puede apreciar que los niveles del contenido de pulpa de mango y el contenido de humedad influyen en los valores de C^* y h° , a manera que el incremento en éstas variables los valores de C^* y h° también incrementan.

La diferencia total de color ($\Delta E = 38.50$) más alta encontrada en los productos extrudidos se obtuvo en el Tto14, elaborado con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 30% y temperatura 115 °C, por otro lado, en el Tto 13 la diferencia total de color ($\Delta E = 31.09$) fue el valor más bajo, la cual fue elaborada con un contenido de pulpa de mango de 12.5%, contenido de humedad 30% y temperatura 115 °C, en general, los productos con mayor diferencia total de color fueron elaborados con un intervalo del contenido de pulpa de mango de 12.5 a 25%, contenido de humedad de 23 a 30% y temperatura de 115 a 135.81 °C, el efecto significativo ($p < 0.05$) (Tabla 15) positivo que presentó el contenido de humedad, muestra que el incremento en los niveles del contenido de humedad causa una mayor diferencia total de color en los productos.

El color de los productos extrudidos es afectado por los parámetros del proceso de extrusión y composición química del material procesado. La posible presencia de altas cantidades de azúcares (uno de los principales componentes involucrados en la reacción de Maillard) pueden ser la razón del oscurecimiento y disminución de la homogeneidad del color, particularmente a altas temperaturas (Dini *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2012).

6.8 CONTENIDO DE β -CAROTENO DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS DE PULPA DE MANGO A BASE DE HARINA DE MALANGA

En la Tabla 12 se muestran los valores del contenido de β -caroteno de los productos extrudidos elaborados de pulpa de mango a base de harina de malanga.

Tabla 12. Contenido de β -Caroteno de los productos extrudidos de pulpa de mango a base de harina de malanga.

Tratamiento	β -Caroteno ($\mu\text{g/g}$)	Tratamiento	β -Caroteno ($\mu\text{g/g}$)
1	64.28 ± 0.11	11	115.59 ± 0.45
2	49.73 ± 0.04	12	52.55 ± 0.41
3	78.27 ± 0.13	13	6.26 ± 0.33
4	109.98 ± 0.20	14	6.78 ± 0.25
5	62.59 ± 0.22	15	38.40 ± 0.43
6	30.27 ± 0.15	16	35.38 ± 0.25
7	102.05 ± 0.17	17	38.42 ± 0.45
8	138.15 ± 0.35	18	39.28 ± 0.34
9	49.91 ± 0.44	19	38.43 ± 0.15
10	142.50 ± 0.29	20	38.61 ± 0.28

Los valores representan la media $\pm$ desviación estándar de tres repeticiones por tratamiento.

El contenido de β -caroteno de los productos extrudidos variaron de 6.26 - 142.50 ($\mu\text{g/g}$), de acuerdo a la Tabla 12, el tratamiento que tuvo menor contenido de β -caroteno fue el Tto 13, elaborado bajo las siguientes condiciones: contenido de pulpa de mango (12.5%), contenido de

humedad (16%) y temperatura de extrusión (115 °C), por otra parte en el Tto 10 elaborado con un contenido de pulpa de mango (25%), contenido de humedad (23%) y temperatura (115 °C), fue en este tratamiento en el que se pudo obtener un mayor contenido de β -caroteno. Lo anterior puede deberse a que la temperatura de extrusión fue una variable que no afectó de manera significativa ($p < 0.05$) el contenido de β -caroteno en los productos extrudidos (Tabla 14). Sin embargo, el contenido de pulpa de mango y humedad fueron significativos ($p < 0.05$) positivamente (Tabla 14), el aumento del contenido de pulpa de mango en las mezclas para extrudir y humedades intermedias permitieron la conservación de este componente en los productos extrudidos finales. La conservación del β -caroteno y el incremento en los productos obtenidos, puede ser atribuido a la posible presencia de una matriz proteína-carbohidratos que pudo haber protegido este componente bioactivo durante el proceso de extrusión (Basto *et al.*, 2016). Además, debido a que la extrusión es un proceso corto de cocción por cizallamiento, puede que no haya proporcionado suficiente tiempo para causar daño efectivo a los compuestos de bajo peso molecular, pero en lugar de ello el calentamiento y el cizallamiento pudo haber causado una ruptura en la pared celular, lo que tal vez ayudó a mejorar el rendimiento de extracción durante el análisis, liberando más carotenoides y sus isómeros (Rojas-Garbanzo *et al.*, 2011; Shi *et al.*, 2008). Autores como Basto *et al.* (2016) evaluaron el efecto de la extrusión sobre las propiedades fisicoquímicas y el contenido de carotenoides de harina de maíz adicionado con pulpa de durazno de palma, ellos concluyeron que el proceso de extrusión no afectó el contenido de carotenoides en los productos botanas y que fue posible la elaboración de extrudidos de buena calidad nutricional de arroz adicionado con durazno de palma, por otra parte, Cortés *et al.* (2014) evaluaron el efecto de la temperatura de extrusión, contenido de humedad y contenido de pulpa de maracuyá, sobre algunas características fisicoquímicas, térmicas y micro estructurales de extrudidos a base de almidón de maíz y pulpa de maracuyá, ellos reportaron que la máxima retención de β -caroteno que obtuvieron fue a humedades y temperaturas elevadas, y que las mejores condiciones para preservar el β -caroteno fueron a un contenido de humedad de 27% y a una temperatura de extrusión de 127 °C, además de que la pulpa de maracuyá tiene la ventaja de ser una fuente atractiva de β -caroteno, proteínas y fibra dietaria para botanas expandidas. La estabilidad de las vitaminas durante la extrusión es investigada extensamente (Camire *et al.*, 1990; Cheftel, 1986; Killeit,

1994; Riaz *et al.*, 2009). Athar *et al.* (2006) estudiaron las condiciones del proceso de extrusión sobre la estabilidad de las vitaminas. Ellos observaron que los extrudidos obtenidos de extrusores de barril corto (90 mm) tienen una tasa de retención alta de vitaminas del grupo B (44 - 62%) comparado a un 20% para extrusores de barril largo. Athar *et al.* (2006) observaron que la retención de vitaminas durante el proceso de extrusión no está relacionada con los niveles iniciales de vitaminas y varía con el tipo de cereal o materia prima utilizada. La retención de vitaminas durante la extrusión es dependiente generalmente sobre la estabilidad de las vitaminas por ejemplo la tiamina y piridoxina son más termo sensibles comparado con la riboflavina.

La retención de bioactivos sensibles como el β -caroteno durante el proceso de extrusión es un desafío para la industria alimentaria (Emin *et al.*, 2012; Killeit, 1994; Lee *et al.*, 1978). Lee *et al.* (1978) informaron que el 30% de los carotenoides se preservaron durante la extrusión de un producto alimenticio de harina de maíz usando una temperatura del barril de aproximadamente 130 °C. Por otra parte, Guzmán-Tello & Cheftel (1990) encontraron que el 38 - 73% de β -caroteno se degradaba durante la extrusión y la pérdida de β -caroteno aumentaba con el incremento de la temperatura del barril (125 - 200 °C).

6.9 COEFICIENTES ESTIMADOS POR REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

En la Tabla 13 se muestran los coeficientes de regresión del proceso de extrusión de las variables como TR, T_0 , P y EME.

Tabla 13. Coeficientes estimados por regresión lineal múltiple de variables del proceso de extrusión de productos extrudidos de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) a base de harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.).

Coeficientes		Respuesta			
		TR	T_0	P	EME
	Intercepto	35.190*	21.650*	837.891*	386.142*
Lineal	X_i	-1.157	-1.124	-156.151*	-3.472

	X_2	2.798*	-6.305*	-520.644*	-131.576*
	X_3	0.134	-4.250*	-390.260*	-74.162
	X_1^2	1.470	0.603	36.618	-4.827
Cuadrático	X_2^2	1.755*	1.952	149.638*	25.865
	X_3^2	0.158	-1.312	108.213*	-21.097
	X_1X_2	-0.271	-1.438	162.458*	-21.252
Interacción	X_1X_3	0.116	0.221	32.875	-1.337
	X_2X_3	-0.423	1.379	153.458*	31.497
	R²	0.730	0.674	0.958	0.660

*Los números en negrita indican estimaciones de parámetros significativos ($p < 0.05$). X_1 = Contenido de pulpa de mango; X_2 = Humedad; X_3 = Temperatura; TR = Tiempo de residencia; T_0 = Torque; P = Presión; EME = Energía mecánica específica.

El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales del TR de las mezclas utilizadas durante el proceso de extrusión mostró un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.730$ (Tabla 13), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica la validez de la ecuación para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para el TR bajo el contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dado por:

$$TR = 35.190 - 1.157X_1 + 2.798X_2 + 0.134X_3 + 1.470X_1^2 + 1.755X_2^2 + 0.158X_3^2 - 0.271X_1X_2 + 0.116X_1X_3 - 0.423X_2X_3 \quad (R^2 = 0.730)$$

Los coeficientes de regresión del TR (Tabla 13) muestran que el contenido de humedad tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en su término lineal (X_2) y efecto cuadrático positivo (X_2^2), mientras que el contenido de pulpa de mango y temperatura no presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) en ninguno de sus términos. En la Figura 6 se observa el efecto del contenido de humedad y contenido de pulpa de mango sobre el TR de las mezclas en el proceso de extrusión, el TR fue influenciado significativamente ($p < 0.05$) por el contenido de humedad, ya que observa que el incremento en el nivel de esta variable independiente origina un incremento en el TR. Se observa que los mayores TR se presentan a contenidos de humedad de 27 - 30%, mientras que a humedades de 16 - 23% hay una disminución de este tiempo.

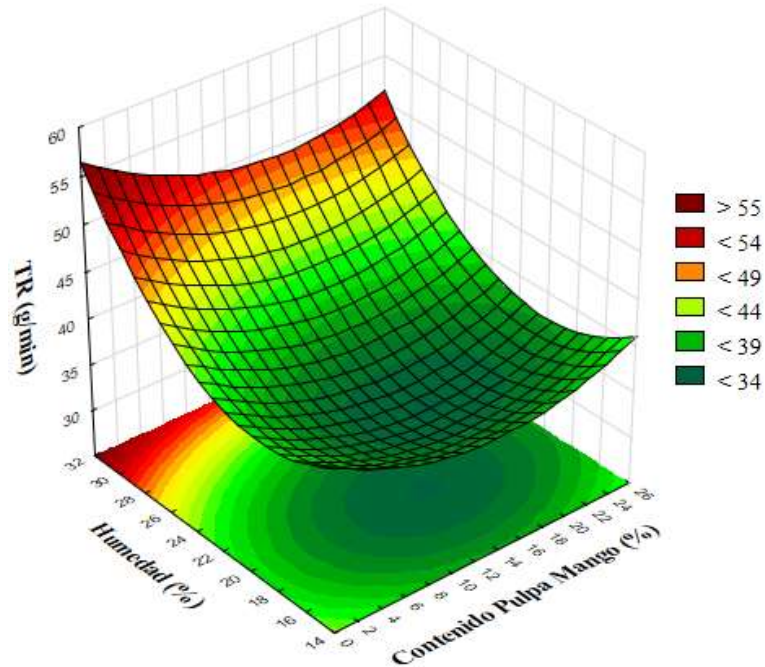


Figura 6. Efecto del contenido de humedad y contenido de pulpa de mango sobre el tiempo de residencia (TR).

El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales del T_0 durante el proceso de extrusión mostró un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.674$ (Tabla 13), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica la validez de la ecuación para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para el T_0 bajo el contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dada por:

$$T_0 = 21.650 - 1.124X_1 - 6.305X_2 - 4.250X_3 + 0.603X_1^2 + 1.952X_2^2 - 1.312X_3^2 - 1.438X_1X_2 + 0.221X_1X_3 + 1.379X_2X_3 \quad (R^2 = 0.674)$$

Los coeficientes de regresión del T_0 (Tabla 13) muestran que el contenido de humedad y temperatura tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en su término lineal (X_2 , X_3) y el contenido de pulpa de mango no presentó ningún efecto significativo sobre esta variable. El torque indica la carga de resistencia en el motor. El torque requerido para girar el tornillo de

extrusión está relacionado con su velocidad, la carga rellena en el extrusor y la viscosidad en el material de alimentación en el canal del tornillo (Mercier *et al.*, 1989).

En la Figura 7 se presenta el efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el T_0 en el proceso de extrusión, observando que a contenidos bajos de humedad (16 - 23%) y bajas temperaturas (80 - 115 °C) el T_0 incrementa, sin embargo el efecto significativo ($p < 0.05$) negativo de estas dos variables independientes influye sobre el T_0 , ya que al incrementar el contenido de humedad (18 - 27%) y temperatura (94 - 135 °C) se logra reducir el valor del T_0 , la disminución en el torque con el incremento del contenido de humedad puede deberse a que hay más agua disponible para la gelatinización del almidón lo que resulta en la disminución de la viscosidad aparente, el efecto de la disminución del torque puede atribuirse a la reducción de fricción en la extrusora a consecuencia del aumento en el contenido de humedad en la alimentación, lo que minimiza la dificultad del procesamiento de las mezclas. En general, el valor del torque disminuye con el incremento de la temperatura debido a una disminución en la viscosidad (Kannadhasan *et al.*, 2009). También es interesante a considerar el posible rol de varias porciones de gránulos de almidón durante el hinchamiento y su posible interacción con fracciones lipídicas. En la Figura 8 se observa el efecto del contenido de humedad y contenido de pulpa de mango sobre el torque del proceso de extrusión.

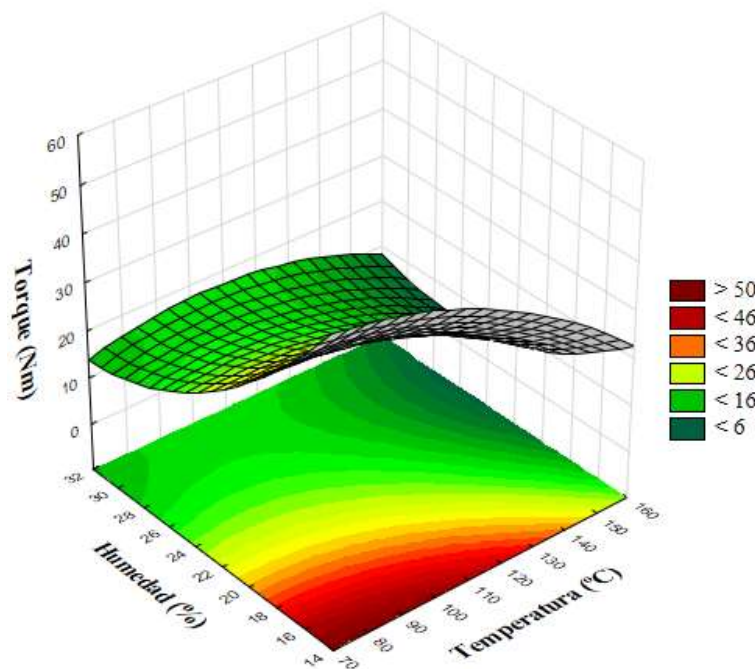


Figura 7. Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el torque en el proceso de extrusión

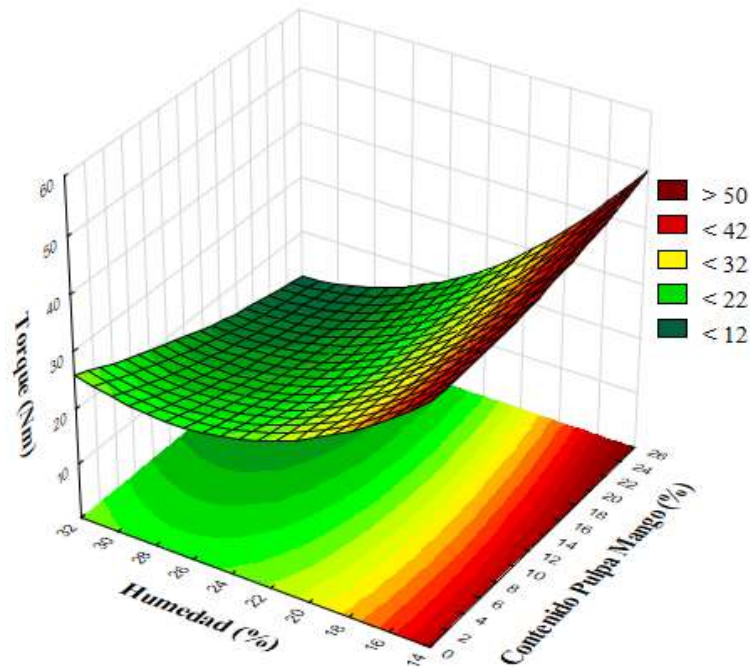


Figura 8. Efecto del contenido de humedad y contenido de pulpa de mango sobre el torque en el proceso de extrusión

El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de la P durante el proceso de extrusión mostró un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.958$ (Tabla 15), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica la validez de la ecuación para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para la P bajo el contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dada por:

$$P = 837.891 - 156.151X_1 - 520.644X_2 - 390.260X_3 + 36.618X_1^2 + 149.638X_2^2 + 108.213X_3^2 + 162.458X_1X_2 + 32.875X_1X_3 + 153.458X_2X_3 \quad (R^2 = 0.958)$$

Los coeficientes de regresión de la P (Tabla 13) muestran que el contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en el término lineal (X_1, X_2, X_3), y el contenido de humedad y temperatura de extrusión tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en el término cuadrático (X_2^2, X_3^2), las interacciones contenido de pulpa de mango-humedad (X_1X_2) y contenido de humedad-temperatura (X_2X_3) tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) positivo. En la Figura 9 se observa el efecto del contenido de pulpa de mango y contenido de humedad sobre la P generada en el proceso de extrusión, el efecto significativo ($p < 0.05$) negativo que presentaron las dos variables independientes antes mencionadas muestran que la presión del dado incrementa con la disminución del contenido de pulpa de mango y contenido de humedad. En la Figura 10 se observa que el aumento de la temperatura provoca una disminución de la P durante el proceso, este efecto puede ser atribuido debido al aumento de la temperatura, que provoca una disminución de la viscosidad de la mezcla fundida. El aumento de temperatura y aumento de la humedad de la alimentación afecta la viscosidad de la masa a través de la extrusora que conduce a una disminución en la presión del dado. La viscosidad de los materiales fluidos disminuye con el incremento de temperatura, (Kaur *et al.*, 2000). Las altas presiones generadas en el proceso de extrusión fueron a concentración de pulpa de mango (0 - 19%), humedad (16 - 23%) y temperatura (80 - 135 °C), sin embargo, la disminución de la presión se obtuvo a contenidos de pulpa de mango (5 - 19%), humedad (23 - 30%) y temperatura (94 - 150 °C).

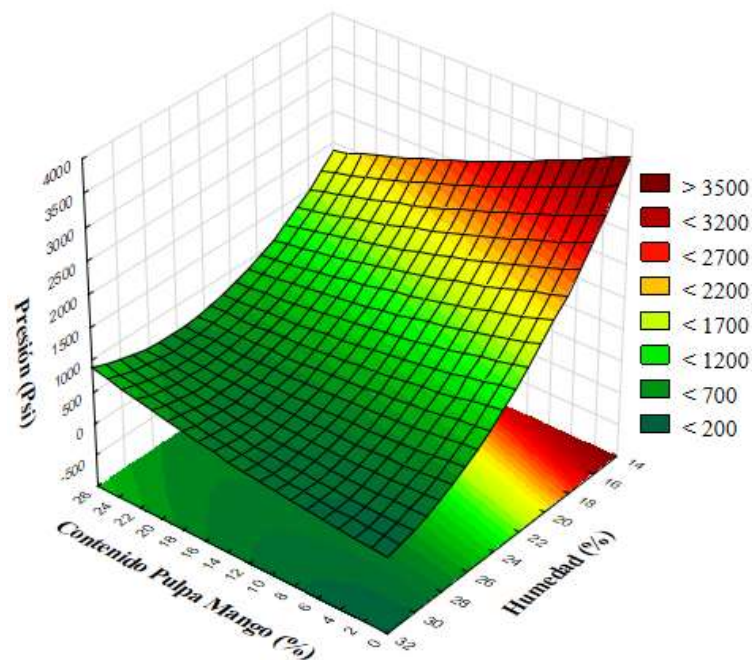


Figura 9. Efecto del contenido de pulpa de mango y humedad sobre la presión en el proceso de extrusión.

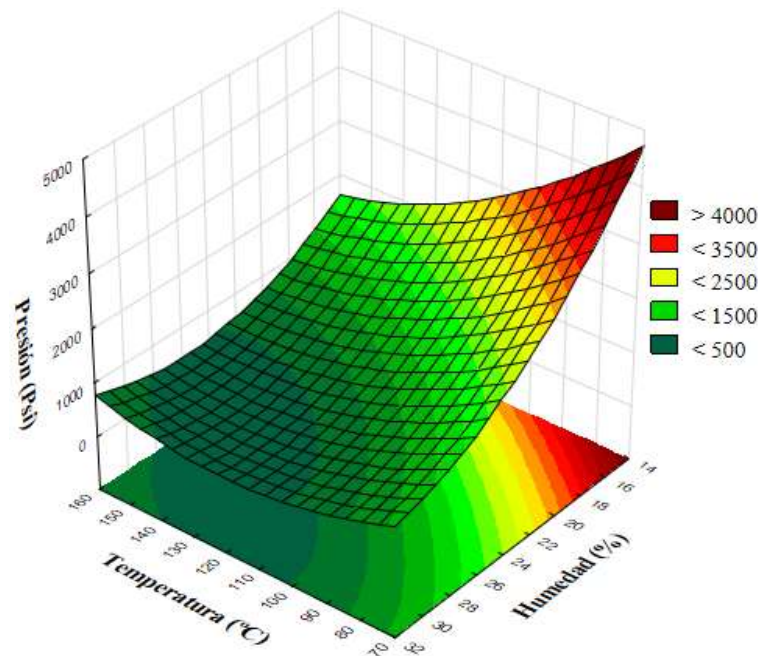


Figura 10. Efecto de la temperatura y contenido de humedad sobre la presión en el proceso de extrusión.

El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de la energía mecánica específica (EME) durante el proceso de extrusión mostró un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.660$ (Tabla 13), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica la validez para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para la EME bajo contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dada por:

$$EME = 386.142 - 3.472X_1 - 131.576X_2 - 74.162X_3 - 4.827X_1^2 + 25.865X_2^2 - 21.097X_3^2 - 21.252X_1X_2 - 1.337X_1X_3 + 31.497X_2X_3 \quad (R^2 = 0.660)$$

Los coeficientes de regresión de la EME (Tabla 13) muestran que el contenido de humedad tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en el término lineal (X_2), las demás variables independientes no tuvieron efecto significativo sobre este parámetro. La EME es un parámetro cuantitativo que permite la comparación directa de diferentes combinaciones de condiciones de extrusión, tales como velocidad de alimentación, velocidad de tornillo y torque. La cantidad de energía mecánica durante la extrusión tiene un papel directo en las transformaciones macromoleculares y las interacciones de diferentes componentes en los materiales de alimentación. Las transformaciones macromoleculares pueden ser conversión de almidón o cambios en la estructura de la proteína que, en consecuencia, determina las propiedades reológicas del derretimiento (Aguilar-Palazuelos *et al.*, 2012).

En la Figura 11 se observa el efecto del contenido de humedad y pulpa de mango sobre la EME del proceso de extrusión, se observa que el efecto significativo ($p < 0.05$) negativo que presentó el contenido de humedad muestra que la energía mecánica incrementa cuando la humedad disminuye, éste efecto se puede observar a contenidos de pulpa de mango (0 - 19%) y humedad (16 - 23%), mientras que a contenidos de pulpa de mango (5 - 19%) y humedad (18 - 30%) se presentaron los valores más bajos de la EME. La viscosidad del alimento aumenta cuando hay una disminución del contenido de humedad y por lo tanto la energía mecánica específica incrementa. También se observó que al incrementar la temperatura la EME disminuye. Las altas temperaturas generalmente están asociadas con una disminución en

la viscosidad de la masa fundida dentro de la extrusora, que a su vez reduce la entrada de energía a la extrusora. Con el aumento del contenido de humedad en la alimentación, la viscosidad disminuye, lo que finalmente conduce a una mínima energía mecánica específica (Chang *et al.*, 1999; Hsieh *et al.*, 1991).

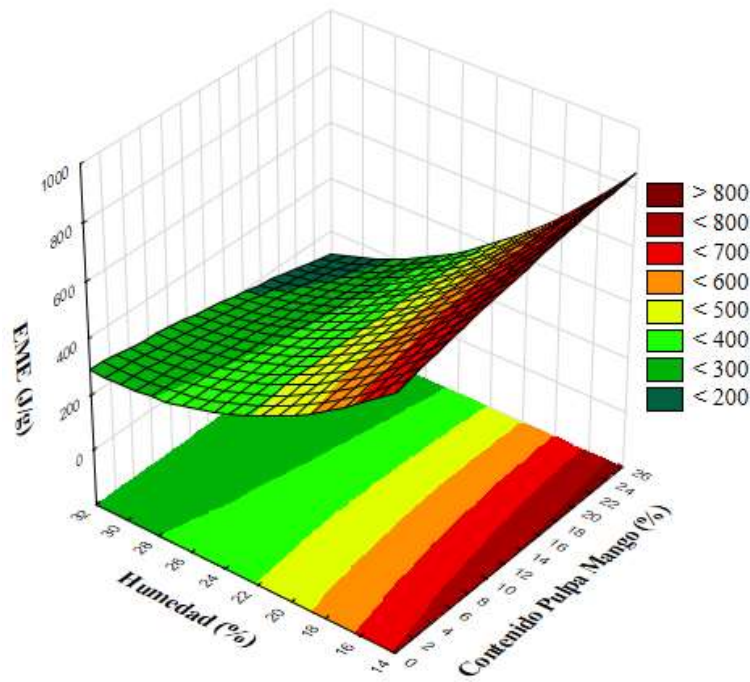


Figura 11. Efecto del contenido de humedad y contenido de pulpa de mango sobre la energía mecánica específica (EME) en el proceso de extrusión.

6.10 COEFICIENTES ESTIMADOS POR REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DE LAS VARIABLES DE RESPUESTA DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS

En la Tabla 14 se observan los coeficientes estimados por regresión lineal múltiple de las variables de respuestas del producto extrudido como el IE, DA, IAA, ISA, IAAC, Text (dureza), pH, y $[\beta\text{-C}]$.

Tabla 14. Coeficientes estimados por regresión lineal múltiple de las características fisicoquímicas (IE, DA, IAA, ISA, IAAC, Text, pH y β -Caroteno) de productos extrudidos de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) a base de harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.).

Coeficientes		Respuesta							
		IE	DA	IAA	ISA	IAAc	Text	pH	$[\beta\text{-C}]$
Lineal	Intercepto	1.060*	1.396*	5.983*	12.794*	1.988*	3.423	6.186*	37.414*
	X_1	0.000	-0.014	-0.014	0.822	0.007	10.503*	-0.011	12.936*
	X_2	-0.093*	0.087*	-0.200	-1.917*	0.022	8.087*	-0.068*	2.320*
	X_3	0.165*	-0.226*	0.128	0.737	0.018	-14.097*	-0.012	8.461
	X_1^2	-0.017	-0.027	-0.183	-1.097	-0.076*	24.363*	0.008	23.914
Cuadrático	X_2^2	0.083*	-0.142*	-0.164	1.629*	-0.021	-2.417	-0.040*	-7.794
	X_3^2	0.107*	-0.120*	0.224	-0.825	-0.046	14.166*	0.034*	19.622*
	$X_1 X_2$	-0.048	0.050	0.093	0.521	0.006	-11.117*	0.008	-1.672
Interacción	$X_1 X_3$	0.025	-0.006	0.057	0.309	0.000	0.001	-0.010	14.336*
	$X_2 X_3$	0.049	0.064	0.283	-1.318	0.022	8.315*	0.001	9.139
R^2		0.855	0.929	0.653	0.722	0.528	0.684	0.869	0.656

*Los números en negrita indican estimaciones de parámetros significativos ($p < 0.05$). X_1 = Contenido de pulpa de mango; X_2 = Contenido de Humedad; X_3 = Temperatura; IE = Índice de expansión; DA = Densidad aparente; IAA = Índice de absorción de agua; ISA = Índice de solubilidad en agua; IAAC = Índice de absorción de aceite; Text = Textura; $[\beta\text{-C}]$ = Contenido de β -caroteno.

El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales del IE mostró un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.855$ (Tabla 14), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica que la ecuación tiene validez para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para el IE bajo las condiciones de contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dada por:

$$IE = 1.060 + 0.000X_1 - 0.093X_2 + 0.165X_3 - 0.017X_1^2 + 0.083X_2^2 + 0.107X_3^2 - 0.048X_1X_2 + 0.025X_1X_3 + 0.049X_2X_3 (R^2 = 0.855)$$

Los coeficientes de regresión para el IE (Tabla 14) muestran que el contenido de humedad tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en el término lineal (X_2) y efecto positivo cuadrático (X_2^2), mientras que la temperatura de extrusión tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en el término lineal (X_3) y cuadrático (X_3^2), por otro lado, la pulpa de mango no tuvo ningún efecto significativo en ninguno de los términos sobre este parámetro. El efecto significativo ($p < 0.05$) negativo que tiene la humedad y efecto significativo ($p < 0.05$) positivo de la temperatura sobre el IE muestra que un aumento en los niveles del contenido de humedad provoca obtener bajo IE, y por otra parte el aumento de la temperatura favorece a la obtención de botanas más expandidas.

En la Figura 12 se muestra el efecto del contenido de humedad y temperatura de extrusión sobre el IE, observándose que a contenidos de humedad (16 - 27%) y aumento de la temperatura (115 - 150 °C) se obtiene un incremento en el IE. La Figura 13 muestra el efecto del contenido de pulpa de mango y temperatura de extrusión, se observa que a contenidos de pulpa de mango (5 - 20%) y temperaturas de (115 - 150 °C) se logra obtener un incremento en el IE, bajo las siguientes condiciones de contenido de pulpa de mango de (12.5%), contenido de humedad (23%) y temperatura (150 °C) se obtuvo el mayor IE (1.65).

El efecto del contenido de humedad y temperatura observado en esta investigación puede ser comparado con resultados similares reportados por Cortés et al. (2014), quienes reportaron que el IE de botanas elaboradas de almidón de maíz adicionado con pulpa de maracuyá incrementó con la disminución del contenido de humedad (18%) e incremento de la temperatura de extrusión (127 °C). Por otra parte, Ruiz-Armenta et al. (2017) reportaron que altos valores del IE en botanas adicionadas con bagazo de naranjita se obtuvieron a altas temperaturas (> 128 °C) y bajo contenido de humedad ($< 24\%$). Liu et al. (2000) han informado que un índice de expansión bajo puede deberse al aumento en el contenido de humedad.

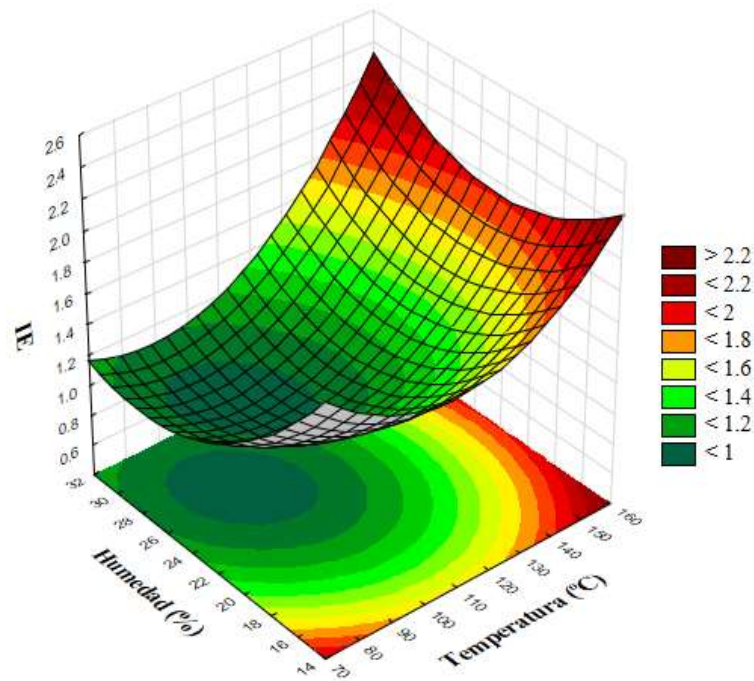


Figura 12. Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el índice de expansión (IE).

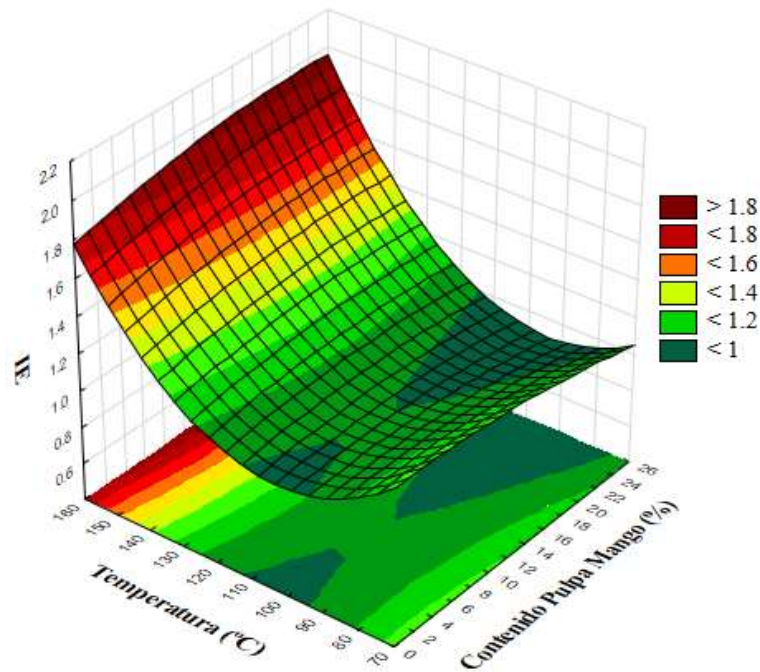


Figura 13 Efecto del contenido de pulpa de mango y temperatura sobre el índice de expansión (IE).

Por otra parte, el modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de la DA presentó un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.929$ (Tabla 14), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica la validez de la ecuación para predecir la respuesta. La ecuación para el modelo de regresión para la DA está dada por:

$$DA = 1.396 - 0.014X_1 + 0.087X_2 - 0.226X_3 - 0.027X_1^2 - 0.142X_2^2 - 0.120X_3^2 + 0.050X_1X_2 - 0.006X_1X_3 + 0.064X_2X_3 \quad (R^2 = 0.929)$$

Los coeficientes de regresión para la DA (Tabla 14) muestran que el contenido de humedad tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en el termino lineal (X_2) y efecto negativo cuadrático (X_2^2), por otro lado, la temperatura de extrusión tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) negativo sobre el termino lineal (X_3) y efecto negativo cuadrático (X_3^2).

En la Figura 14 se observa el efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la DA de los productos extrudidos, se observa que a elevados contenido de humedad y bajas temperaturas se obtiene un incremento en la DA, sin embargo cuando hay un contenido de humedad (16 - 27%) y temperatura (115 - 150 °C) la DA tiende a disminuir, este efecto de la disminución en la DA es consecuencia de la expansión que se logró en los productos extrudidos bajo estas mismas condiciones de procesamiento. Algunos autores muestran que la expansión de los productos extrudidos depende del grado de gelatinización del almidón y la cantidad de este producto en el diseño y condiciones de procesamiento (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). En la Figura 15 se muestra el efecto del contenido de pulpa de mango y temperatura sobre la DA, observándose el incremento o disminución del contenido de pulpa de mango no genera ningún efecto sobre esta variable de respuesta, sin embargo cuando hay una interacción con el incremento de la temperatura se pueden obtener una disminución en la DA, la disminución de la DA con el aumento de la temperatura fue probablemente debido a la temperatura que aumenta el grado de sobrecalentamiento del agua en el extrusor, dando lugar a la formación de burbujas y menor viscosidad del fundido, y por lo tanto menor densidad aparente en los extrudidos (Fletcher *et al.*, 1985).

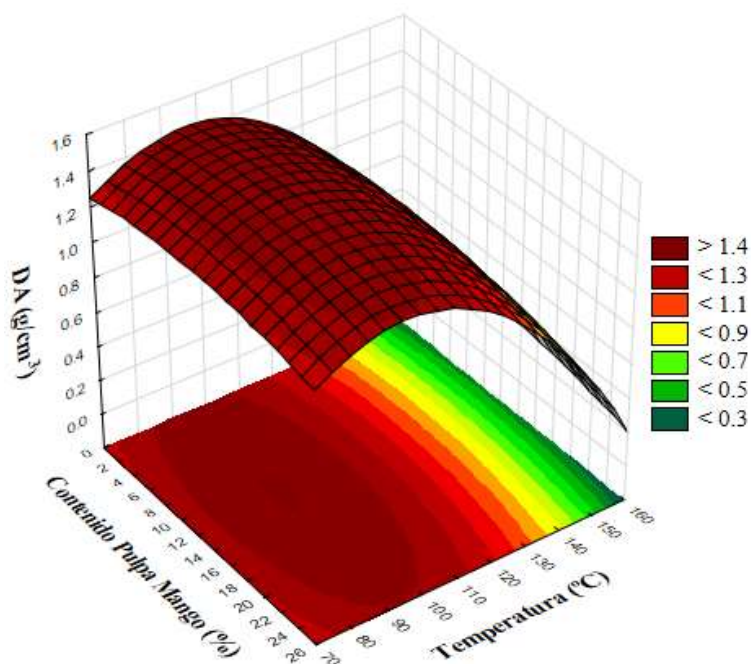


Figura 14. Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la densidad aparente (DA).

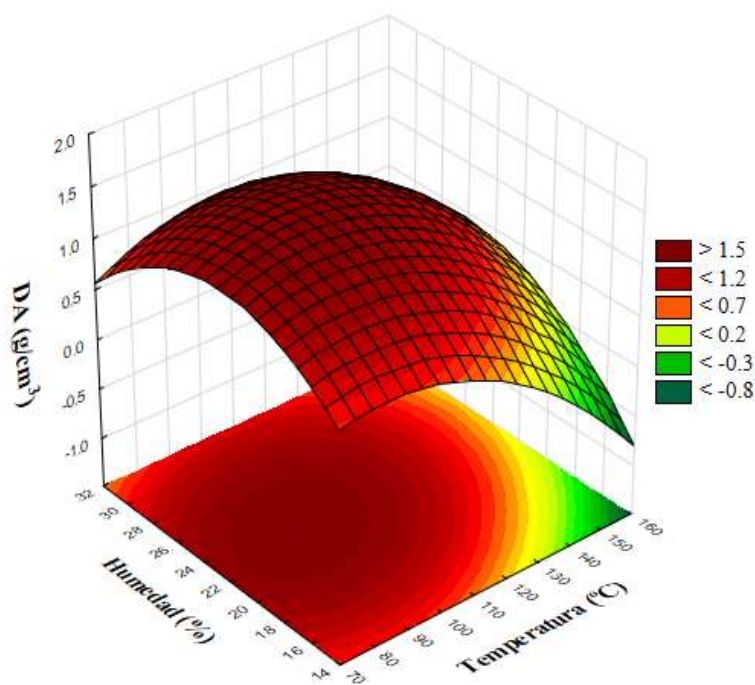


Figura 15. Efecto del contenido de pulpa de mango y temperatura sobre la densidad aparente (DA).

Para el IAA el modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de esta variable el valor del coeficiente de correlación fue $R^2 = 0.653$ (Tabla 14), sin embargo el modelo de regresión no fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica que la ecuación generada no es válida para predecir la respuesta, lo anterior debido a que las variables independientes como el contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión no tuvieron efectos significativos ($p < 0.05$) sobre ésta variable de respuesta.

Para el ISA el modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales muestra un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.722$ (Tabla 14), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica que la ecuación tiene validez para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para el ISA bajo las condiciones de contenido de pulpa de mango, contenido de humedad, y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos está dada por:

$$ISA = 12.794 + 0.822X_1 - 1.917X_2 + 0.737X_3 - 1.097X_1^2 + 1.629X_2^2 - 0.825X_3^2 + 0.521X_1X_2 + 0.309X_1X_3 - 1.318X_2X_3 \quad (R^2 = 0.722)$$

Los coeficientes de regresión para el ISA (Tabla 14), muestran que el contenido de humedad tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en el termino lineal (X_2) y efecto positivo cuadrático (X_2^2), las demás variables como el contenido de pulpa de mango y temperatura de extrusión no presentaron efectos significativos ($p > 0.05$). En la Figura 16 se observa el efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el ISA, observándose que a bajo contenido de humedad (18 - 27%) y temperaturas altas (94 - 150 °C) se incrementa el índice de solubilidad, esto puede ser debido a que en estas condiciones de procesamiento se pudo haber generado una mayor cantidad de material gelatinizado provocando una mayor precipitación de componentes solubles. La solubilidad es usada en el proceso de extrusión como un indicador de la degradación de componentes moleculares tal como el almidón, fibras y proteínas (Seth & Rajamanickam, 2012; Suksomboon *et al.*, 2011).

En la Figura 17 se muestra el efecto del contenido de pulpa de mango y contenido de humedad sobre el ISA, se observa que el incremento de la pulpa de mango (5 - 20%) y a bajo contenido de humedad (18 - 27%) genera un incremento sobre éste parámetro, esto puede estar

relacionado con la solubilización de los componentes que pudiese aportar la pulpa de mango como proteínas y fibra, debido al efecto del corte mecánico del proceso de extrusión (Oikonomou & Krokida, 2011; Ghumman *et al.*, 2016).

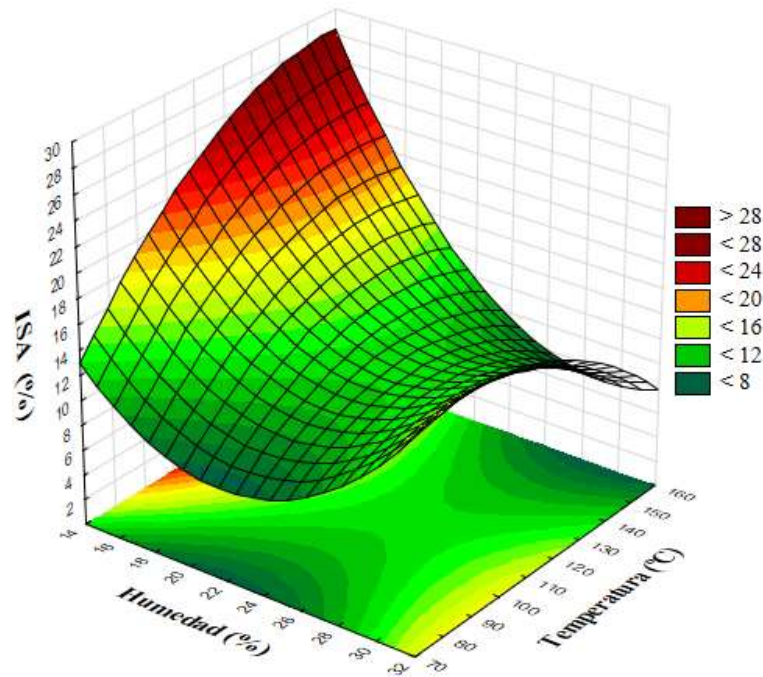


Figura 16. Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el índice de solubilidad en agua (ISA).

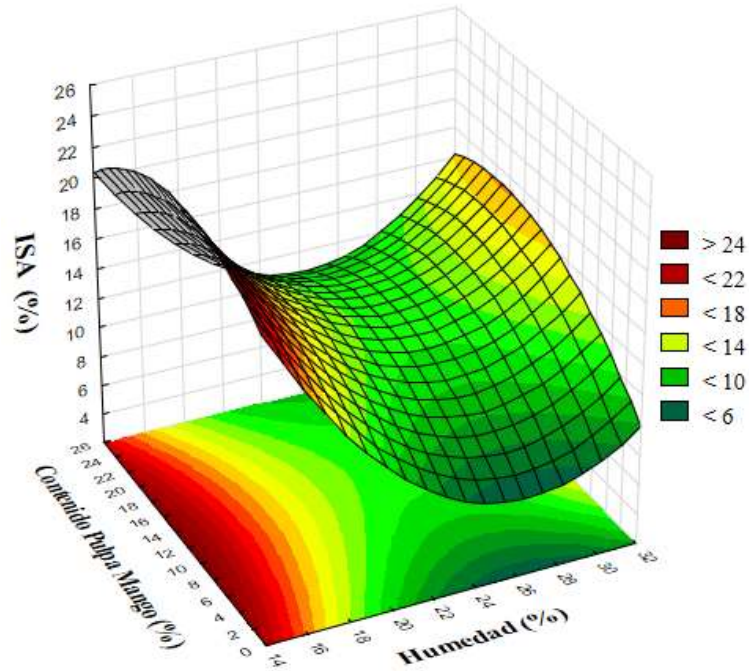


Figura 17. Efecto del contenido de pulpa de mango y contenido de humedad sobre el índice de solubilidad en agua (ISA).

Para el IAAC el modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales tuvo un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.528$ (Tabla 14), el modelo de regresión no fue significativo ($p < 0.05$) lo que indica en este caso, la ecuación obtenida no puede predecir la respuesta. Los coeficientes de regresión para el IAAC (Tabla 14) muestran que las variables independientes no tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) para esta respuesta. El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de Text (dureza) presenta un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.684$ (Tabla 14), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica que la ecuación tiene validez para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para la Text bajo ciertas condiciones de concentración de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dada por:

$$\begin{aligned} \text{Text} = & 3.423 + 10.503X_1 + 8.087X_2 - 14.097X_3 + 24.363X_1^2 - 2.417X_2^2 \\ & + 14.166X_3^2 - 11.117X_1X_2 - 0.001X_1X_3 + 8.315X_2X_3 \quad (R^2 = 0.684) \end{aligned}$$

Los coeficientes de regresión para la Text (Tabla 14) muestran que el contenido de pulpa de mango tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en el termino lineal (X_1) y cuadrático (X_1^2), el contenido de humedad tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en el termino lineal (X_2), mientras que la temperatura tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en el termino lineal (X_3) y cuadrático positivo (X_3^2). Se observó que hay un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en la interacción contenido de pulpa de mango-humedad (X_1X_2) y efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en la interacción humedad-temperatura (X_2X_3). La textura de productos extrudidos es uno de los parámetros claves que manejan la preferencia de consumo. Entre los atributos de textura de productos alimenticios, la crujibilidad es uno de los atributos de textura más importantes y deseables en la evaluación de la calidad de los productos extrudidos (Castro-Prada *et al.*, 2009; Robin *et al.*, 2011; Varela *et al.*, 2006).

En la Figura 18 se observa el efecto del contenido de pulpa de mago y el contenido de humedad sobre la textura de los productos extrudidos. El efecto positivo que tiene el contenido de humedad y pulpa de mango afecta directamente en la textura de los productos ya que un incremento en estas variables independientes conlleva a obtener mayores valores de dureza en los productos extrudidos, estudios previos también reportan que la dureza de los extrudidos incrementan al incrementar el contenido de humedad en la alimentación (Bardrie & Mellowes, 1991; Liu *et al.*, 2000), la disminución de los valores de la dureza en los productos se obtuvieron a bajas concentraciones de pulpa de mango (12.5 - 19.93%) y contenido de humedad (16 - 23%).

En la Figura 19 se observa el efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la textura, el efecto negativo ($p < 0.05$) que presentó la temperatura sobre este parámetro evidencia que un incremento en la temperatura de extrusión tiene efecto negativo sobre la textura obteniendo una menor dureza en los productos. Los mínimos valores de dureza se obtuvieron a bajas concentraciones de humedad (16 - 23%) y altas temperatura (94 - 150 °C). El efecto que tuvo el contenido de humedad y temperatura sobre la textura, pueden ser comparados con lo reportado por Ruiz-Armenta *et al.* (2017) quienes reportaron que valores bajos de Textura en los productos extrudidos adicionados con bagazo de naranjita se obtuvieron a altos niveles de

temperaturas y en el intervalo establecido de humedad. Moraru & Kokini (2003) informaron que, en los productos extrudidos, altos valores del IE y bajos valores de textura se producen a altos valores de temperatura, como resultado de varios eventos como transformaciones estructurales de biopolímeros, transiciones de fase y nucleación, hinchamiento, crecimiento y colapso de burbujas de aire. Pérez et al. (2008) informaron que la textura se correlaciona negativamente con el IE, mientras que esta respuesta se correlaciona positivamente con la densidad aparente.

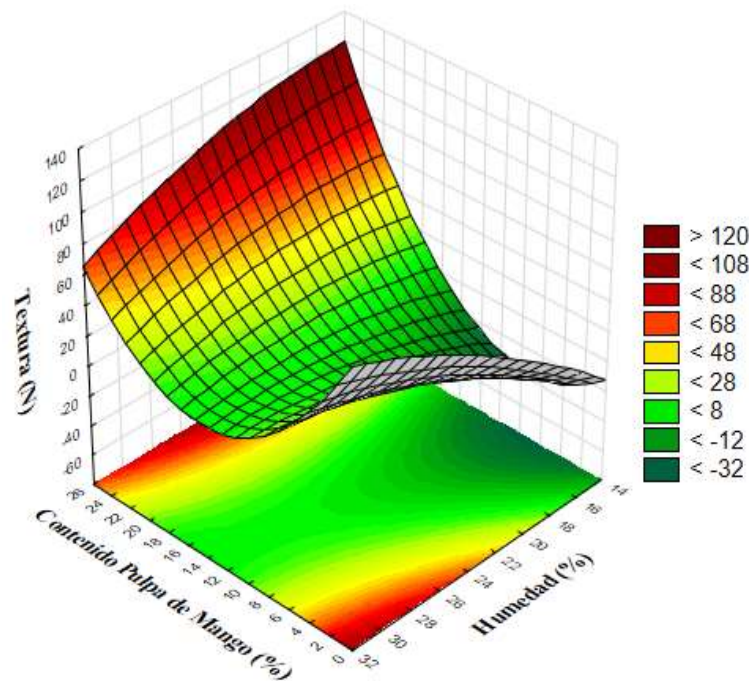


Figura 18. Efecto del contenido de pulpa de mango y contenido de humedad sobre la textura.

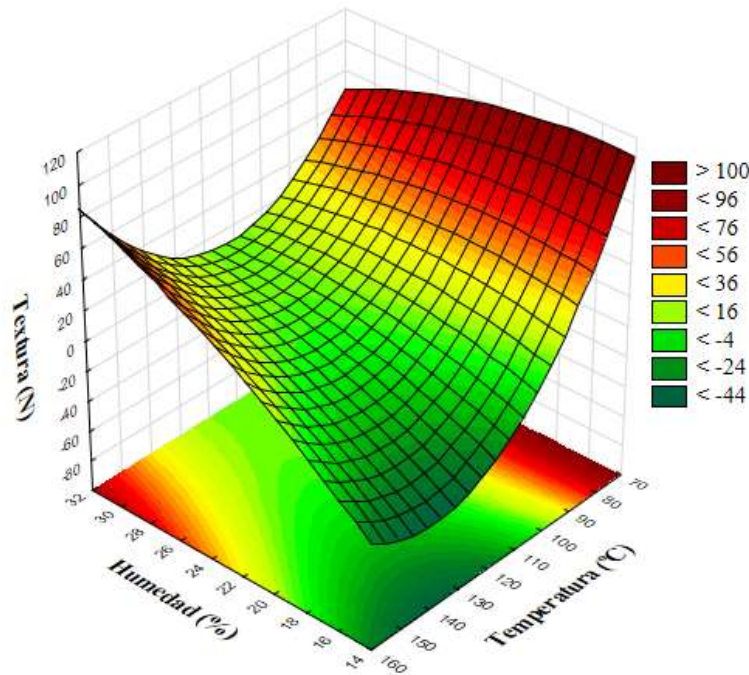


Figura 19. Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la textura

El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales del pH mostró un coeficiente de correlación $R^2 = 0.869$ (Tabla 14), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica que la ecuación tiene validez para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para el pH bajo condiciones de contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dada por:

$$pH = 6.186 - 0.011X_1 - 0.068X_2 - 0.012X_3 + 0.008X_1^2 - 0.040X_2^2 + 0.034X_3^2 + 0.008X_1X_2 - 0.010X_1X_3 + 0.001X_2X_3 \quad (R^2 = 0.869)$$

Los coeficientes de regresión para el pH (Tabla 14) muestran que el contenido de humedad tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en el término lineal (X_2) y cuadrático (X_2^2), mientras que la temperatura tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo cuadrático (X_3^2). En la Figura 20 se observa el efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el pH de los productos extrudidos, el efecto significativo ($p < 0.05$) negativo del contenido de humedad

que tiene sobre el pH se puede observar el incremento en esta variable independiente disminuye los valores del pH de los productos extrudidos

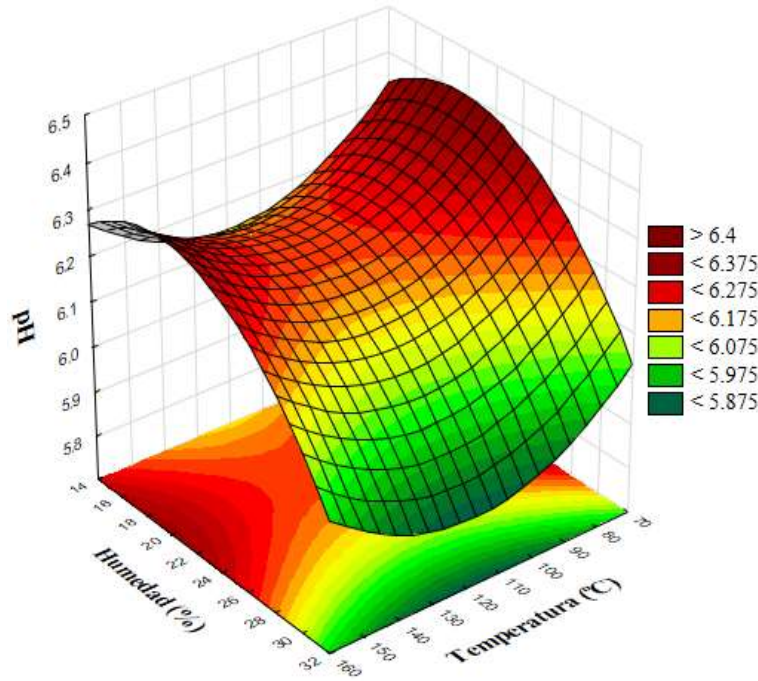


Figura 20. Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el pH

Finalmente, el modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales del $[\beta c]$ tuvo un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.656$ (Tabla 14), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica que la ecuación tiene validez para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para el $[\beta c]$ bajo ciertas condiciones de concentración de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dada por:

$$[\beta c] = 37.081 + 12.936X_1 + 2.320X_2 + 8.461X_3 + 24.028X_1^2 - 7.680X_2^2 + 19.736X_3^2 - 1.672X_1X_2 + 14.336X_1X_3 + 9.139X_2X_3 \quad (R^2 = 0.658)$$

Los coeficientes de regresión para el [βc] (Tabla 14), muestran que el contenido de pulpa de mango tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en el termino lineal (X_1) y cuadrático (X_1^2), mientras que la temperatura tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo cuadrático (X_3^2), también se observó en la interacción contenido de pulpa-temperatura (X_1X_3) un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo.

En la Figura 21 se muestra el efecto del contenido de pulpa de mango y temperatura sobre el contenido de β-caroteno de los productos extrudidos, el efecto significativo ($p < 0.05$) positivo del contenido de la pulpa de mango muestra que un aumento en esta variable ayuda a la retención y preservación final del contenido de β-caroteno en el producto. En la Figura 22 se presenta el efecto de la temperatura y contenido de humedad, se observa que cuando hay un incremento de la temperatura a bajo contenido de humedad se logra preservar el mayor contenido de β-caroteno.

El mayor contenido de β-caroteno en los productos se obtuvo a mayores contenidos de pulpa de mango y altas temperaturas de extrusión, lo anterior puede deberse a que la temperatura no presentó un efecto significativo ($p > 0.05$) sobre esta variable de respuesta, y la conservación del β-caroteno posiblemente puede ser atribuido a la presencia de una matriz proteína-carbohidratos que pudo haber protegido este componente bioactivo durante el proceso de extrusión. También un aspecto a considerar es que la extrusión, es un proceso de cocción de corto tiempo, por lo que se infiere que no hubo suficiente tiempo para causar daño efectivo a los compuestos de bajo peso molecular, sin embargo, el calentamiento y cizallamiento pudieron haber causado una ruptura en la pared celular, lo que pudo haber ayudado a mejorar el rendimiento de extracción durante el análisis, liberando más carotenoides, como el β-caroteno (Rojas-Garbanzo *et al.*, 2011; Shi *et al.*, 2008).

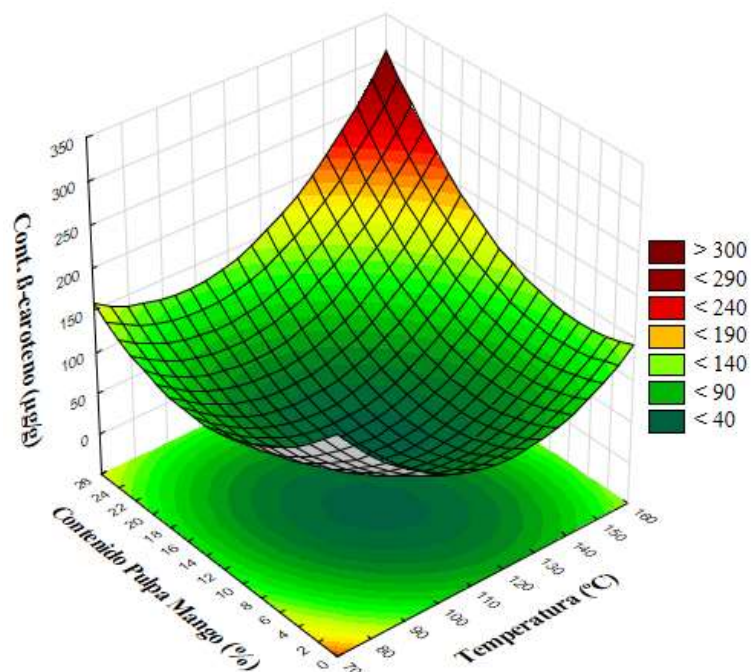


Figura 21. Efecto de la concentración de pulpa de mango y temperatura sobre el contenido de β -caroteno.

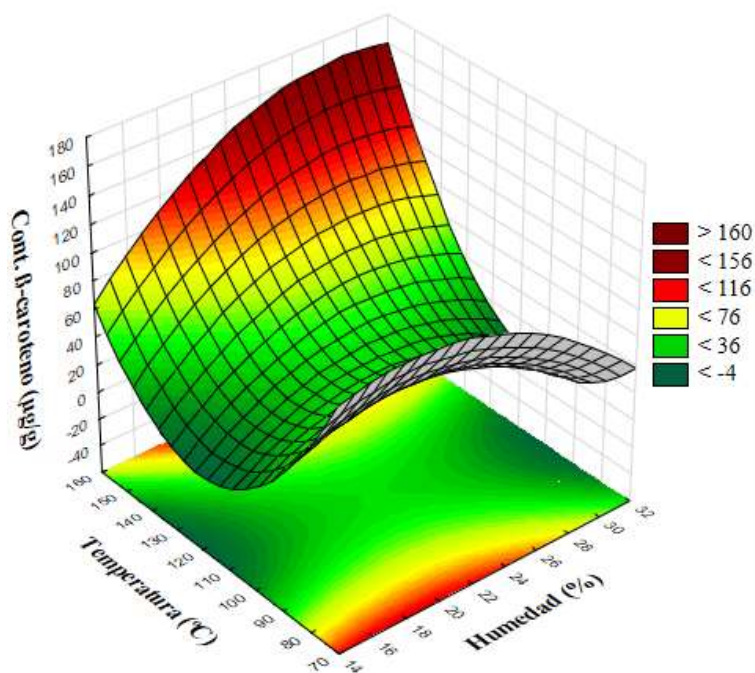


Figura 22. Efecto de la temperatura y contenido de humedad sobre el contenido de β -caroteno.

6.11 COEFICIENTES ESTIMADOS POR REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE DE LOS PARÁMETROS DE COLOR DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS

En la Tabla 15 se presentan los valores de los coeficientes estimados por regresión lineal múltiple de las variables de respuesta de los parámetros de color de los productos extrudidos.

Tabla 15. Coeficientes estimados por regresión lineal múltiple de los parámetros de color de productos extrudidos de pulpa de mango (*Mangifera indica* L.) a base de harina de malanga (*Colocasia esculenta* L.).

Coeficientes		Respuesta					
		L^*	a^*	b^*	C^*	h°	ΔE
	Intercepto	65.263*	5.355*	10.568*	11.967*	62.936*	36.159*
Lineal	X_1	-0.486	0.048	0.362	0.347	0.558	0.578
	X_2	-1.179*	0.115	0.094	0.135	-0.287	1.152*
	X_3	-0.168	0.102	0.065	0.103	-0.328	0.194
	X_1^2	0.309	-0.053	0.066	-0.005	0.428	-0.287
Cuadrático	X_2^2	0.574	0.019	0.198	0.145	0.395	-0.481
	X_3^2	1.397*	-0.241*	-0.181	-0.309	0.739*	-1.411*
	$X_1 X_2$	-0.069	-0.150	-0.297	-0.333	0.083	-0.051
Interacción	$X_1 X_3$	-0.637	0.118	0.188	0.219	-0.141	0.679
	$X_2 X_3$	0.035	0.019	-0.118	-0.098	-0.335	-0.068
R²		0.731	0.574	0.506	0.495	0.634	0.711

Los números en negrita indican estimaciones de parámetros significativos ($p < 0.05$). X_1 = Contenido de pulpa de mango; X_2 = Humedad; X_3 = Temperatura; L^ = Luminosidad; a^* = rojo-verde; b^* = amarillo-azul; C^* = Cromaticidad; h° = Ángulo hue; ΔE = Diferencia total de color.

El color es uno de los atributos clave utilizados para juzgar la apariencia general de los alimentos extrudidos y constituye una base sólida para su aceptación o rechazo durante la comercialización. El proceso de extrusión produce cambios de color y puede proporcionar información sobre el grado de tratamiento térmico (Stanley, 1986; Chen *et al.*, 1991). Estos cambios de color podrían ser el resultado de reacciones tales como el pardeamiento no enzimático y la degradación de pigmentos. El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales del parámetro L^* mostró un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.731$ (Tabla 15), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica que la ecuación tiene validez para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para el parámetro L^* bajo

ciertas condiciones de concentración de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dada por:

$$L^* = 65.263 - 0.486X_1 - 1.179X_2 - 0.168X_3 + 0.309X_1^2 + 0.574X_2^2 + 1.397X_3^2 \\ - 0.069X_1X_2 - 0.637X_1X_3 + 0.035X_2X_3 \quad (R^2 = 0.731)$$

Los coeficientes de regresión para el parámetro L^* (Tabla 15) muestran que el contenido de humedad tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en el termino lineal (X_2) y efecto significativo ($p < 0.05$) positivo cuadrático (X_3^2). El intervalo del parámetro L^* encontrado fue de 63.47 - 70.52. En la Figura 23 se observa el efecto del contenido de humedad y temperatura sobre el parámetro L^* de los productos extrudidos. El efecto significativo ($p < 0.05$) negativo del contenido de humedad sobre L^* , muestra que el incremento del contenido de humedad disminuye la luminosidad de los productos extrudidos, por otra parte, el incremento de la temperatura genera el oscurecimiento de los productos. Se sabe que la reacción redox entre azúcares y proteínas (aminoácidos) en los alimentos pueden reaccionar a altas temperaturas de procesamiento y promover el pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard), lo que da como resultado el oscurecimiento del producto final (Nayak *et al.*, 2011). Los cambios en el parámetro L^* con el aumento de la temperatura tambien pueden deberse a la degradación de algunos pigmentos durante el proceso de extrusión.

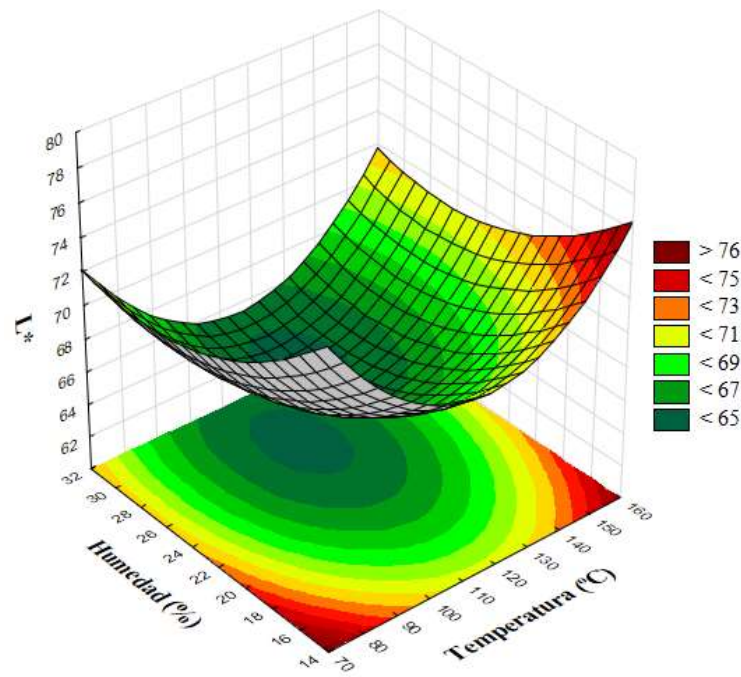


Figura 23. Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la luminosidad (L^*) de los productos extrudidos.

El modelo de regresión ajustado a los resultados experimentales de la diferencia total de color (ΔE) mostró un valor del coeficiente de correlación $R^2 = 0.711$ (Tabla 15), el modelo de regresión fue significativo ($p < 0.05$), lo que indica que la ecuación tiene validez para predecir la respuesta. La ecuación de regresión para el parámetro ΔE bajo ciertas condiciones de concentración de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura de extrusión dentro de los intervalos establecidos en el diseño está dada por:

$$\Delta E = 36.159 + 0.578X_1 + 1.152X_2 + 0.194X_3 - 0.287X_1^2 - 0.481X_2^2 - 1.411X_3^2 - 0.051X_1X_2 + 0.679X_1X_3 - 0.068X_2X_3 \quad (R^2 = 0.711)$$

Los coeficientes de regresión para el parámetro ΔE (Tabla 15) muestran que el contenido de humedad tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en el termino lineal (X_2) y efecto significativo ($p < 0.05$) negativo cuadrático. El intervalo de ΔE encontrado en esta

investigación fue de 31.09 a 38.50. En la Figura 24 se observa el efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la diferencia total de color de los productos extrudidos. El efecto significativo ($p < 0.05$) positivo que tuvo el contenido de humedad en los productos extrudidos, muestra que el incremento en los niveles del contenido de humedad provoca un mayor cambio en el color de los productos extrudidos. Por otro lado, el incremento del contenido de pulpa de mango causa un cambio de color en los productos extrudidos.

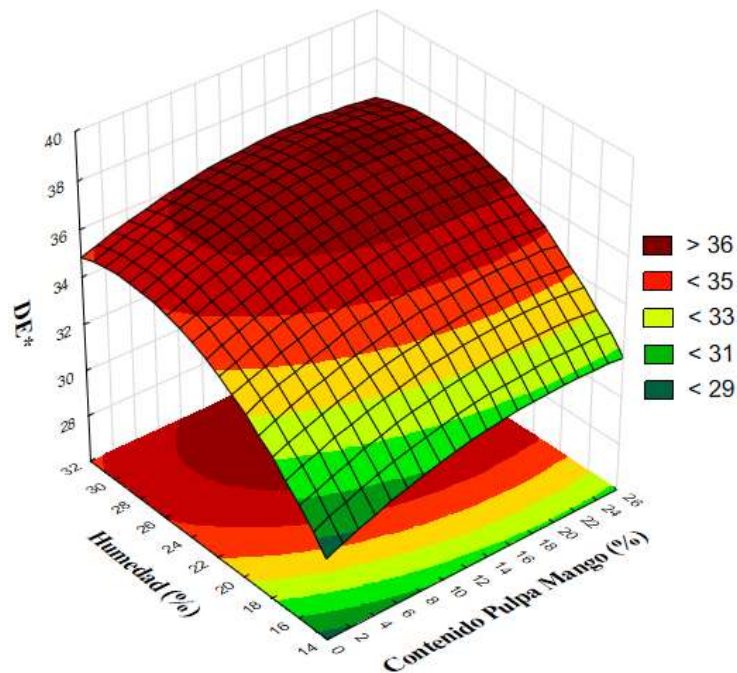


Figura 24. Efecto del contenido de humedad y temperatura sobre la diferencia total de color (ΔE) de los productos extrudidos.

6.12 OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA DE LOS PRODUCTOS EXTRUDIDOS

En la Tabla 16 se presentan los valores de la optimización de los productos extrudidos en base a las variables de respuesta como: índice de expansión, densidad aparente, textura, contenido de β -caroteno y la energía mecánica específica.

Tabla 16. Optimización numérica de los productos extrudidos

Nº	[P.M.]	H	T	IE	DA	Text	[β -C]	EME	Deseabilidad
1	6.02	18.84	135.81	1.482	0.730	15.561	66.918	442.324	0.739
2	6.08	18.84	135.81	1.483	0.728	15.846	66.918	442.257	0.739
3	5.92	18.84	135.81	1.480	0.733	15.092	66.918	442.442	0.739

[P.M.] = Contenido de pulpa de mango (%); H = Humedad (%); T = Temperatura (°C); IE = Índice de expansión; DA = Densidad aparente (g/cm³); Text = Textura (N); [β -C] = Contenido de β -caroteno (μ g/g); EME = Energía mecánica específica (J/g).

La optimización numérica a través de la superposición de las diferentes superficies de respuestas se realizó de acuerdo a los valores máximos del índice de expansión y contenido de β -caroteno, y mínimos valores de la densidad aparente, textura y energía mecánica específica (Figura 23), de la cual resultaron tres productos óptimos que fueron seleccionados de acuerdo a la mayor deseabilidad del producto.

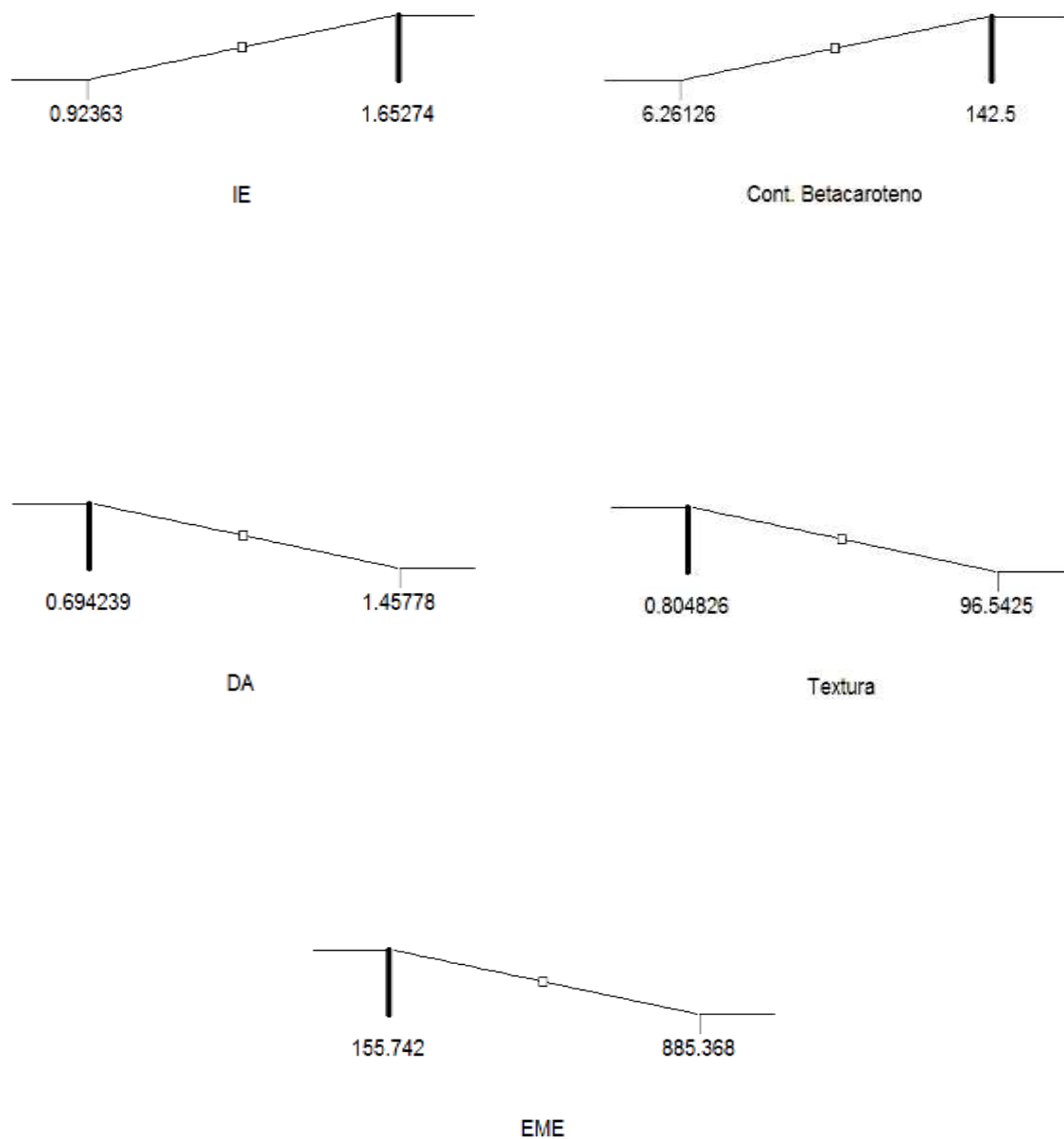


Figura 25. Predicción de los puntos de los parámetros del producto extrudido mediante la optimización numérica

VII. CONCLUSIONES

La elaboración de botanas extrudidas de harina de malanga y pulpa de mango en una extrusora de escala laboratorio de un sólo tornillo, condujo a la obtención de productos con buenas características fisicoquímicas. El análisis de los parámetros de respuesta de los productos y del proceso de extrusión fueron analizados mediante el uso de la metodología de superficie de respuesta para ver los efectos del contenido de pulpa de mango, contenido de humedad y temperatura durante el proceso de extrusión. En el análisis realizado se concluyó que el contenido de humedad y temperatura de extrusión tuvieron efectos significativos ($p < 0.05$) en los parámetros de calidad de las botanas, como el índice de expansión, densidad aparente y textura, observándose que a bajos contenido de humedad y el incremento de la temperatura, la expansión de los productos aumentó y la densidad aparente y textura disminuyeron, consiguiendo un producto final crujiente, por otra parte el contenido de pulpa de mango sólo tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la textura de los productos, por lo que el incremento en el contenido de pulpa de mango generó productos con mayor textura. En cuanto a las propiedades funcionales de los productos extrudidos las variables independientes no tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el índice de absorción de agua y aceite, sin embargo, el contenido de humedad tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el índice de solubilidad en agua, incrementando la solubilidad de los productos a bajos contenidos de humedad. La temperatura de extrusión no tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el contenido de β -caroteno, por lo que la temperatura no afectó considerablemente la pérdida de éste componente bioactivo durante el proceso de extrusión, los resultados indican que la adición de pulpa de mango aportó la cantidad necesaria de β -caroteno en el extrudido.

En el proceso de extrusión el contenido de pulpa de mango sólo tuvo efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la presión en el equipo, la disminución del contenido de pulpa de mango generó mayor presión durante el proceso de extrusión, por otra

parte el contenido de humedad y temperatura de extrusión fueron las variables que tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el torque y presión, el aumento en los niveles del contenido de humedad y temperatura disminuyó significativamente ($p < 0.05$) el torque y presión y en consecuencia disminuyó la energía mecánica específica.

El mayor índice de expansión, menor densidad aparente y textura obtenido en ésta investigación fue bajo las siguientes condiciones de procesamiento: contenido de pulpa de mango (12.5%), contenido de humedad (23%) y temperatura (150 ° C). El mayor contenido de β -caroteno obtenido en los productos extrudidos fue elaborado a un contenido de pulpa de mango (25%), contenido de humedad (23%) y temperatura de extrusión (115 °C).

Los resultados experimentales, a través de una optimización numérica con la superposición de las diferentes superficies de respuestas y de acuerdo a los valores máximos del índice de expansión y contenido de β -caroteno, y mínimos valores de la densidad aparente, textura y energía mecánica específica indicaron la obtención de tres productos óptimos bajo las siguientes condiciones de procesamiento: contenido de pulpa de mango (6.02, 6.08 y 5.92%), contenido de humedad (18.84%) y temperatura (135.81 °C) para cada tratamiento, con una deseabilidad de 0.739. Los valores experimentales obtenidos y los valores pre-dichos de la metodología de superficie de respuesta indican la idoneidad del proceso de extrusión.

Como conclusión se tiene que la utilización de materias primas no convencionales como la harina de malanga y pulpa de mango en la elaboración de botanas mediante el proceso de extrusión es factible, logrando obtener buenos resultados en cuanto a los parámetros de calidad que caracteriza a una botana extrudida, además se comprobó que es posible la utilización de frutas en el proceso de extrusión, obteniendo un producto funcional con un valor agregado y diferente a los que existen en la industria alimentaria.

Las características físicas exhibidas por el producto son una indicación de que el producto extrudido tendría una alta probabilidad de aceptación si se somete a pruebas de aceptabilidad del consumidor.

VIII. REFERENCIAS

- Abdullah, M. Z., Guan, L. C., Lim, K. C., & Karim, A. A. (2004). The applications of computer vision system and tomographic radar imaging for assessing physical properties of food. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 125-135.
- Agarwal, S., & Rao, A. V. (1998). Tomato lycopene and low density lipoprotein oxidation: a human dietary intervention study. *Lipids*, 33(10), 981-984.
- Agbor-Egbe, T. O. M., & Rickard, J. E. (1991). Study on the factors affecting storage of edible aroids. *Annals of Applied Biology*, 119(1), 121-130.
- Aguilar-Monge, E. (2011). Evaluación de alternativas sustentables como biofertilizante en malanga (*Colocasia esculenta*) en el municipio de Actopan Ver.
- Aguilar-Palazuelos, E., Zazueta-Morales, J. D. J., Harumi, E. N., & Martínez-Bustos, F. (2012). Optimization of extrusion process for production of nutritious pellets. *Food Science and Technology (Campinas)*, 32(1), 34-42.
- Alavi, S. H., Chen, K. H., & Rizvi, S. S. (2002). Rheological characteristics of intermediate moisture blends of pregelatinized and raw wheat starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23), 6740-6745.
- Altan, A., McCarthy, KL, y Maskan, M. (2008). Evaluación de aperitivos de mezclas de orujo de cebada y tomate por procesamiento de extrusión. *Revista de Ingeniería de Alimentos*, 84(2), 231-242.
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll-and extrusion-cooking. *Cereal Science Today*, 14(1), 4.

Anton, A. A., Fulcher, R. G., & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989-996.

Anton, A. A., Ross, K. A., Lukow, O. M., Fulcher, R. G., & Arntfield, S. D. (2008). Influence of added bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.) on some physical and nutritional properties of wheat flour tortillas. *Food Chemistry*, 109(1), 33-41.

Anton, A.A., Luciano, F.B., 2007. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review. *CyTA*, 5(4), 245–251.

Antonio-Estrada, C., Bello-Pérez, L. A., Martínez-Sánchez, C. E., Montañez-Soto, J. L., Jiménez-Hernández, J., & Vivar-Vera, M. A. (2009). Enzymatic production of maltodextrins from taro (*Colocasia esculenta*) starch. *CyTA-Journal of Food*, 7(3), 233-241.

Arias-García, R. M. E., Chávez-Castellanos, Á. E., Herrera-Nájera, R., Morales de León, J., Pedroza-Islas, R., Salazar-Zazueta, A., & Durán de Bazúa, C. (2007). Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. Parte 1: Pruebas de laboratorio. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 22(2).

Asare, E. K., Sefa-Dedeh, S., Sakyi-Dawson, E., & Afoakwa, E. O. (2004). Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice–cowpea–groundnut blends. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55(5), 431-439.

Ascheri, J. L. R., & Carvalho, C. W. P. (2011). Processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para o consumo humano e animal. *Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA-CTAA*

Athar, N., Hardacre, A., Taylor, G., Clark, S., Harding, R., & McLaughlin, J. (2006). Vitamin retention in extruded food products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(4), 379-383.

-
- Badrie, N., & Mellowes, W. A. (1991). Texture and microstructure of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour extrudate. *Journal of Food Science*, 56(5), 1319-1322.
- Bally, I. S. (2006). *Mangifera indica* (mango). *Traditional Trees of Pacific Islands. Their Culture, Environment, and Use*, 441-464.
- Barbosa, M. C. (2003). Desarrollo de frutos de mango *Mangifera indica* L. Var. Haden y prevención de antracnosis. Tesis de Maestro en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México.
- Barrett, O. 1977. Los cultivos tropicales. La Habana, 471 – 475.
- Bartley, G. E., & Scolnik, P. A. (1995). Plant carotenoids: pigments for photoprotection, visual attraction, and human health. *The Plant Cell*, 7(7), 1027.
- Bello-Perez, L. A., & Paredes-López, O. (2009). Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Engineering Reviews*, 1(1), 50-65.
- Bernhardt, S., & Schlich, E. (2006). Impact of different cooking methods on food quality: Retention of lipophilic vitamins in fresh and frozen vegetables. *Journal of Food Engineering*, 77(2), 327-333.
- Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 258-261.
- Bhattacharya, S., & Prakash, M. (1994). Extrusion of blends of rice and chick pea flours: A response surface analysis. *Journal of Food Engineering*, 21(3), 315-330.
- Block, G., Patterson, B., & Subar, A. (1992). Fruit, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence. *Nutrition and Cancer*, 18(1), 1-29.
- Boileau, T. W. M., Moore, A. C., & Erdman, J. W. (1999). Carotenoids and vitamin A. In A. M. Pappas (Ed.), *Antioxidant status, diet, nutrition, and health* (pp. 133–151). Florida, USA: CRC Press, Boca Raton.

- Bourne, M. (2002). *Food texture and viscosity: concept and measurement*. Academic press.
- Bouvier, J. M., Bonneville, R., & Goullieux, A. (1997). Instrumental methods for the measurement of extrudate crispness. *Agro Food Industry Hi-tech*, 8(1), 16-19.
- Brecht, J. K., & Yahia, E. M. (2009). Postharvest physiology. *The mango: Botany, production and uses*, (Ed. 2), 484-528.
- Britton, G., & Khachik, F. (2009). Carotenoids in food. *Carotenoids*, 45-66.
- Britton, G., Liaanen-Jensen, S., Pfander, H., 1995. Isolation and analysis. In: Britton, G., Liaanen-Jensen, S., Pfander, H. (Eds.), *Carotenoids*, A. Birkhäuser, Basel, 1: 13-15.
- Camire, M. E., Camire, A., & Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29(1), 35-57.
- Campbell, G. M., & Mougeot, E. (1999). Creation and characterisation of aerated food products. *Trends in Food Science and Technology*, 10(9), 283-296.
- Castenmiller, J. J. M., & West, C. E. (1997). Bioavailability of carotenoids. *Pure and Applied Chemistry*, 69(10), 2145-2150.
- Chang, C. N. (1992). *Study of the Mechanism of Starchy Biopolymer Extrudate*.
- Chang, Y. K., Martinez-Bustos, F., Park, T. S., & Kokini, J. L. (1999). The influence of specific mechanical energy on cornmeal viscosity measured by an on-line system during twin-screw extrusion. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 16(3), 285-295.
- Charunuch, C., Limsangouan, N., Prasert, W., & Butsuwan, P. (2011). Optimization of extrusion conditions for functional ready-to-eat breakfast cereal. *Food Science and Technology Research*, 17(5), 415-422
- Cheftel, J. C. (1986). Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chemistry*, 20(4), 263-283.

- Chen, J., Serafin, F. L., Pandya, R. N., & Daun, H. (1991). Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. *Journal of Food Science*, 56(1), 84-89.
- Chinnasarn, S., & Manyasi, R. (2010). Chemical and physical properties of taro flour and the application of restructured taro strip product. *World Applied Sciences Journal*, 9(6), 600-604.
- Chinnaswamy, R., & Hanna, M. A. (1987). Nozzle dimension effects on the expansion of extrusion cooked corn starch. *Journal of Food Science*, 52(6), 1746-1747.
- Chiu, H. W., Peng, J. C., Tsai, S. J., Tsay, J. R., & Lui, W. B. (2013). Process optimization by response surface methodology and characteristics investigation of corn extrudate fortified with yam (*Dioscorea alata* L.). *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), 1494-1504.
- Chuang, G. C. C., & Yeh, A. I. (2004). Effect of screw profile on residence time distribution and starch gelatinization of rice flour during single screw extrusion cooking. *Journal of Food Engineering*, 63(1), 21-31.
- Clark, S., Costello, M., Drake, M., & Bodyfelt, F. (Eds.). (2009). *The sensory evaluation of dairy products*. Springer Science and Business Media.
- Colonna, P., Doublier, I. L., Melcion, J. P., De Monredon, F., & Mercier, C. (1984). Extrusion cooking and drum drying of wheat starch, physical and macromolecular modifications. *Cereal Chemistry*, 61(6), 538-543.
- Cortés, R. N. F., Guzmán, I. V., & Martínez-Bustos, F. (2014). Effects of some extrusion variables on physicochemical characteristics of extruded corn starch-passion fruit pulp (*Passiflora edulis*) snacks. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(4), 365-371.
- COVECA. (2011). Monografía del mango. Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria.
- Damodaran, S. (1997). *Food proteins and their applications* (80). CRC Press.
- Dendy, D. A. V. (2001). Composite and alternative flours. *Cereal Products*. Eds. Dendy DA & Dobraszczyk BJ Aspen Publisher Inc, 263-275.

-
- Dini, I., Tenore, G. C., & Dini, A. (2013). Effect of industrial and domestic processing on antioxidant properties of pumpkin pulp. *LWT-Food Science and Technology*, 53(1), 382-385.
- Ditudompo, S., Takhar, P. S., Ganjyal, G. M., & Hanna, M. A. (2013). The effect of temperature and moisture on the mechanical properties of extruded cornstarch. *Journal of Texture Studies*, 44(3), 225-237.
- Du, C. J., & Sun, D. W. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science and Technology*, 15(5), 230-249.
- Duran de Basua, M. D. C., Acosta, H., Alarcon, A. L., Camacho, A., Gallardo, Y., Guerra, R., & Pérez, R. (1988). *Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo* (No. REP-7830. CIMMYT.).
- During, A., Smith, M. K., Piper, J. B., & Smith, J. C. (2001). β -Carotene 15, 15'-Dioxygenase activity in human tissues and cells: evidence of an iron dependency. *The Journal of nutritional biochemistry*, 12(11), 640-647.
- El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., El-Bedawey, A. A., & Gafar, A. F. (2001). Nutritional potential and functional properties of sweet and bitter lupin seed protein isolates. *Food Chemistry*, 74(4), 455-462.
- El-Dash, A. A., Gonzales, R., & Ciol, M. (1983). Response surface methodology in the control of thermoplastic extrusion of starch. *Journal of Food Engineering*, 2(2), 129-152.
- Emin, M. A., Mayer-Miebach, E., & Schuchmann, H. P. (2012). Retention of β -carotene as a model substance for lipophilic phytochemicals during extrusion cooking. *LWT-Food Science and Technology*, 48(2), 302-307.
- Emin, M. A., Mayer-Miebach, E., & Schuchmann, H. P. (2012). Retention of β -carotene as a model substance for lipophilic phytochemicals during extrusion cooking. *LWT-Food Science and Technology*, 48(2), 302-307.

- Englberger, L., Schierle, J., Marks, G. C., & Fitzgerald, M. H. (2003). Micronesian banana, taro, and other foods: newly recognized sources of provitamin A and other carotenoids. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16(1), 3-19.
- Escalante-Aburto, A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Figueroa-Cárdenas, J. D., López-Cervantes, J., Barrón-Hoyos, J. M., & Morales-Rosas, I. (2013). Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content and physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. *CyTA-Journal of Food*, 11(sup1), 29-37.
- Filli, K. B., Nkama, I., Jideani, V. A., & Ibok, I. U. (2012). System parameters and product properties responses during extrusion of fura from Millet-soybean mixtures. *Nigerian Food Journal*, 30(1), 82-100.
- Fletcher, S. I., Richmond, P., & Smith, A. C. (1985). An experimental study of twin-screw extrusion-cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*, 4(4), 291-312.
- Fleuriet, A., Macheix, J. J., Rice-Evans, C. A., Packer, L., & Marcel, D. (2003). Phenolic acids in fruits and vegetables. In: *Flavonoids in Health and Disease*, New York, 1-41.
- Fligner, K. L., & Mangino, M. E. (1991). Relationship of composition to protein functionality. In *American Chemical Society (USA)*. 454, 1-12.
- Frazier, P. J., Crawshaw, A., Daniels, N. W. R., & Eggitt, P. R. (1983). Optimization of process variables in extrusion texturing of soya. *Journal of Food Engineering*, 2(2), 79-103.
- Fung, T. T., Willett, W. C., Stampfer, M. J., Manson, J. E., & Hu, F. B. (2001). Dietary patterns and the risk of coronary heart disease in women. *Archives of internal medicine*, 161(15), 1857-1862.
- Ganguly, J., & Sastry, P. S. (1985). Mechanism of conversion of β -carotene into vitamin A. Central cleavage versus random cleavage. In *World Nutritional Determinants*, 45, 198-220).

Ghumman, A., Kaur, A., & Singh, N. (2016). Impact of germination on flour, protein and starch characteristics of lentil (*Lens culinari*) and horsegram (*Macrotyloma uniflorum* L.) lines. *LWT-Food Science and Technology*, 65, 137-144.

Gogoi, B. K., & Yam, K. L. (1994). Relationships between residence time and process variables in a corotating twin-screw extruder. *Journal of Food Engineering*, 21(2), 177-196.

Gomez M.H., Aguilera J.M. (1984). A physiochemical model for extrusion of corn starch. *Journal Food Science* 49-40.

González, R. J., Torres, R. L., & De Greef, D. M. (2002). Extrusión-cocción de cereales. *Boletín da Sociedade Brasileira de Ciencia e Tecnologia de Alimentos*, 83-136.

Gopalan, C. R. B. V., Rama Sastri, B. V., & Balasubramanian, S. C. (1997). Nutrition value of Indian foods.

Grassmann, J., Hippeli, S., y Elstner, EF (2002). La defensa de la planta y sus beneficios para los animales y la medicina: papel de los fenólicos y los terpenoides para evitar el estrés por oxígeno. *Plant Physiology and Biochemistry*, 40 (6), 471-478.

Gropper, M., Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2002). Effect of specific mechanical energy on properties of extruded protein-starch mixtures. *Cereal Chemistry*, 79(3), 429-433

Gujaska, E., & Khan, K. (1990). Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science*, 55(2), 466-469.

Guy, R. (2001). Raw materials for extrusion cooking. Teoksessa: Extrusion Cooking–Technologies and Applications. Guy, R.(toim.) 5–28.

Guzman-Tello, R., & Cheftel, J. C. (1990). Colour loss during extrusion cooking of β -carotene-wheat flour mixes as an indicator of the intensity of thermal and oxidative processing. *International Journal of Food Science and Technology*, 25(4), 420-434.

Han, J. J., Janz, J. A., & Gerlat, M. (2010). Development of gluten-free cracker snacks using pulse flours and fractions. *Food Research International*, 43(2), 627-633.

-
- Harper, J. M., & Clark, J. P. (1979). Food extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 11(2), 155-215.
- Harper, J. M., & Jansen, G. R. (1981). Nutritious foods produced by low-cost technology. Summary Report of Cooperative Activities Between Colorado State University and the Office of International Cooperation and Development, USDA:1-72
- Hatcher, D. W., Symons, S. J., & Manivannan, U. (2004). Developments in the use of image analysis for the assessment of oriental noodle appearance and colour. *Journal of Food Engineering*, 61(1), 109-117.
- Hayase, F., Kato, H., & Fujimaki, M. (1973). Racemization of amino acid residues in proteins during roasting. *Agricultural and Biological Chemistry*, 37(1), 191-192.
- Hinostroza, G. C., Huberman, A., De la Lanza, G., & Monroy-Ruiz, J. (1997). Pigmentation of the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with oil-extracted astaxanthin from the langostilla (*Pleuroncodes planipes*). *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, 47(3), 237-241.
- Holden, J. M., Eldridge, A. L., Beecher, G. R., Buzzard, I. M., Bhagwat, S., Davis, C. S., & Schakel, S. (1999). Carotenoid content of US foods: an update of the database. *Journal of Food Composition and Analysis*, 12(3), 169-196.
- Hoseney, R. C. R. (1991). *Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales*. Editorial Acribia. España, 321.
- Hsieh, F., Huff, H. E., Lue, S., & Stringer, L. (1991). Twin-screw extrusion of sugar beet fiber and corn meal. *LWT*, 24(6), 495-500.
- Huang, C. C., Chen, W. C., & Wang, C. C. (2007). Comparison of Taiwan paddy-and upland-cultivated taro (*Colocasia esculenta*) cultivars for nutritive values. *Food Chemistry*, 102(1), 250-256.
- Huber, G. (2001). Snack foods from cooking extruders. *Snacks foods processing. Pennsylvania: Technomic Publishing*, 315-368.

- Isler, O. (1971). Carotenoids Birkhauser Verlag. *Basel and Stuttgart*.
- Iwe, M. O., Zuilichem, D. V., & Ngoddy, P. O. (2001). Extrusion cooking of blends of soy flour and sweet potato flour on specific mechanical energy (SME), extrudate temperature and torque. *Journal of Food Processing and Preservation*, 25(4), 251-266.
- Jagtiani, J., Chan, H. T. & Sakai, W. 1998. Tropical Fruit Processing. Academic Press, Inc. EUA.
- Jiménez-Hernández, J., Estrada-Bahena, E. B., Maldonado-Astudillo, Y. I., Talavera-Mendoza, Ó., Arámbula-Villa, G., Azuara, E., & Salazar, R. (2017). Osmotic dehydration of mango with impregnation of inulin and piquin-pepper oleoresin. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 609-615. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(1), 13-17.
- Jiron, P. 1995. Quequisque o malanga blanca. Fox Export, Revista del Exportador. 28-32
- Kannadhasan, S., Muthukumarappan, K., & Rosentrater, K. A. (2009). Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and tapioca starch. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*, 1(1), 6-21.
- Kannadhasan, S., Muthukumarappan, K., & Rosentrater, K. A. (2009). Effects of ingredients and extrusion parameters on aquafeeds containing DDGS and tapioca starch. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*, 1(1), 6-21.
- Kaur, L., Singh, N., Kaur, K., & Singh, B. (2000). Effect of mustard oil and process variables on extrusion behaviour of rice grits. *Journal of Food Science and Technology*, 37(6), 656-660.
- Kaur, M., Singh, N., & Sandhu, K. S. (2007). Preparation and characterization of protein isolates from different lentil (*Lens culinatis*) cultivars. *Journal of Food Science and Technology-MYSORE*, 44(3), 327-329.
- Khoo, H. E., Prasad, K. N., Kong, K. W., Jiang, Y., & Ismail, A. (2011). Carotenoids and their isomers: color pigments in fruits and vegetables. *Molecules*, 16(2), 1710-1738.
- Killeit, U. (1994). Vitamin retention in extrusion cooking. *Food Chemistry*, 49(2), 149-155.

- Kirjoranta, S., Solala, K., Suuronen, J. P., Penttilä, P., Peura, M., Serimaa, R., ... & Jouppila, K. (2012). Effects of process variables and addition of polydextrose and whey protein isolate on the properties of barley extrudates. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 1165-1175.
- Kritchevsky, S. B. (1999). β -Carotene, carotenoids and the prevention of coronary heart disease. *The Journal of Nutrition*, 129(1), 5-8.
- Lako, J., Trenerry, V. C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., & Premier, R. (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101(4), 1727-1741.
- Lakshminarayana, S. (1973). Respiration and ripening patterns in the life cycle of the mango fruit. *Journal of Horticultural Science*, 48(3), 227-233.
- Lam, C. D., & Flores, R. A. (2003). Effect of particle size and moisture content on viscosity of fish feed. *Cereal Chemistry*, 80(1), 20.
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. *Food Research International*, 43(2), 609-616.
- Lee, T. C., Chen, T., Alid, G., & Chichester, C. O. (1978). Stability of vitamin A and provitamin A (carotenoids) in extrusion cooking processing. *American Institute of Chemical Engineers*, 74(172), 192-195.
- Lee, T. C., Chen, T., Alid, G., & Chichester, C. O. (1978). Stability of vitamin A and provitamin A (carotenoids) in extrusion cooking processing. *American Institute of Chemical Engineers*, 74(172), 172-192.
- Linko, P., & Linko, Y. Y. (1981). Bioconversion processes. *Cereals: a renewable resource: theory and practice*. American Association of Cereal Chemists Inc, St. Paul, 339-494.

-
- Liu, F. X., Fu, S. F., Bi, X. F., Chen, F., Liao, X. J., Hu, X. S., & Wu, J. H. (2013). Physico-chemical and antioxidant properties of four mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in China. *Food Chemistry*, 138(1), 396-405.
- Liu, R. H. (2004). Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *The Journal of Nutrition*, 134(12), 3479S-3485S
- Liu, Y., Hsieh, F., Heymann, H., & Huff, H. E. (2000). Effect of Process Conditions on the Physical and Sensory Properties of Extruded Oat-Corn Puff. *Journal of Food Science*, 65(7), 1253-1259.
- Lock, K., Pomerleau, J., Causer, L., Altmann, D. R., & McKee, M. (2005). The global burden of disease attributable to low consumption of fruit and vegetables: implications for the global strategy on diet. *Bulletin of the World Health Organization*, 83(2), 100-108.
- Luh, B. S. (1980). Tropical Fruit Beverages. In *Fruit and Vegetable Juice Processing Technology*. Eds. P. E. Nelson & D. K. Tressler. AVI Publishing Company, Inc. 3^o Edition. EUA.
- Madrigal, V. M. (2009). *Control biológico de la mancha negra (Alternaria alternata) como alternativa de prevención en el manejo postcosecha del mango* (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría Tecnológica en Agroindustria, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Colegio de Posgraduados, Córdoba, Veracruz, México).
- Maga, J. A., & Liu, M. B. (1993). Hopi blue corn extrusion. *Developments in Food Science*, 32, 983-986.
- Martelli, F. G. (1983). *Twin screw extruders: A basic understanding*. Van Nostrand Reinhold Company.
- Martinez-Bustos, F. 1999. A Tecnologia de extrusão como instrumento no desenvolvimento de novos produtos. Apoio del curso principios teoricos e praticos na elaboração de "snacks" por extrusão termoplástica.

-
- Mayne, S. T. (1996). Beta-carotene, carotenoids, and disease prevention in humans. *The FASEB Journal*, 10(7), 690-701.
- Mbofung, C. M. F., Aboubakar, N. Y., Abdou Bouba, A., & Balaam, F. (2006). Physicochemical and functional properties of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flour. *Journal of Food Technology*, 4(2), 135-142.
- Mcwatters, K. H., & Heaton, E. K. (1979). Quality characteristics of ground beef patties extended with moist-heated and unheated seed meals. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 56(1), 86-90.
- Mercier, C., Linko, P., & Harper, J. M. (1989). Extrusion Cooking, American Association of Cereal Chemists Inc. *St. Paul, Minnesota, USA*.
- Mercier, C., Linko, P., & Harper, J. M. (1989). Extrusion Cooking, American Association of Cereal Chemists Inc. *St. Paul, Minnesota, USA*.
- Mills, E. C., Marigheto, N. A., Wellner, N., Fairhurst, S. A., Jenkins, J. A., Mann, R., & Belton, P. S. (2003). Thermally induced structural changes in glycinin, the 11S globulin of soya bean (*Glycine max*)—an in situ spectroscopic study. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics*, 1648(1), 105-114.
- Montaldo, C. 1991. Manual del cultivo de la Batata. CIP. Perú: 16-18.
- Moore, G. (1994). Snack food extrusion. *The technology of extrusion cooking*, 110-143
- Moorthy, S. N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch-Stärke*, 54(12), 559-592.
- Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147-165.

-
- Moraru, C. I., & Kokini, J. L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 147-165.
- Morga, N. S., Lustre, A. O., Tunac, M. M., Balagot, A. H., & Soriano, M. R. (1979). Physico-chemical changes in Philippine Carabao mangoes during ripening. *Food Chemistry*, 4(3), 225-234.
- Naef, R., Velluz, A., & Jaquier, A. (2006). The perfume of carabao mangoes (*Mangifera indica* L.). *European Food Research and Technology*, 222(5-6), 554-558.
- Nayak, B., Berrios, J. D. J., Powers, J. R., & Tang, J. (2011). Effect of extrusion on the antioxidant capacity and color attributes of expanded extrudates prepared from purple potato and yellow pea flour mixes. *Journal of Food Science*, 76(6).
- Njintang, Y. N., Scher, J., & Mbofung, C. M. F. (2008). Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches. *Journal of Food Engineering*, 86(2), 294-305.
- Njintang, Y. N., Scher, J., & Mbofung, C. M. F. (2008). Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches. *Journal of Food Engineering*, 86(2), 294-305.
- Oikonomou, N. A., & Krokida, M. K. (2011). Literature data compilation of WAI and WSI of extrudate food products. *International Journal of Food Properties*, 14(1), 199-240.
- Okaka, J. C., & Potter, N. N. (1979). Physico-chemical and functional properties of cowpea powders processed to reduce beany flavor. *Journal of Food Science*, 44(4), 1235-1240.
- Oke, M. O., Awonorin, S. O., Sanni, L. O., Asiedu, R., & Aiyedun, P. O. (2013). Effect of extrusion variables on extrudates Properties of water yam flour—a response Surface analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 456-473.

- Ondo, S. E., Singkhornart, S., & Ryu, G. H. (2013). Effects of die temperature, alkalized cocoa powder content and CO₂ gas injection on physical properties of extruded cornmeal. *Journal of Food Engineering*, 117(2), 173-182.
- Onwueme, I. (1999). Taro cultivation in Asia and the Pacific. *Rap Publication*, 16, 1-9.
- Ornelas-Paz, J. D. J., Yahia, E. M., & Gardea, A. A. (2008). Changes in external and internal color during postharvest ripening of 'Manila' and 'Ataulfo' mango fruit and relationship with carotenoid content determined by liquid chromatography-APCI+-time-of-flight mass spectrometry. *Postharvest Biology and Technology*, 50(2), 145-152.
- Ornelas-Paz, J. D. J., Yahia, E. M., & Gardea-Bejar, A. (2007). Identification and Quantification of Xanthophyll Esters, Carotenes, and Tocopherols in the Fruit of Seven Mexican Mango Cultivars by Liquid Chromatography- Atmospheric Pressure Chemical Ionization- Time-of-Flight Mass Spectrometry [LC-(APCI+)-MS]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(16), 6628-6635.
- Özer, E. A., İbanoğlu, Ş., Ainsworth, P., & Yağmur, C. (2004). Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 218(5), 474-479.
- Pan, Z., Zhang, S., & Jane, J. (1998). Effects of extrusion variables and chemicals on the properties of starch-based binders and processing conditions. *Cereal Chemistry*, 75(4), 541-546.
- Parrotta, J.A. (1993). *Mangifera indica* L. SO-ITF-SM-63. New Orleans, LA: US. Department of Agriculture, Forest Service, Soutem Forest Experiment Station, 6.
- Pedreschi, F., Aguilera, J. M., & Brown, C. A. (2000). Characterization of food surfaces using scale-sensitive fractal analysis. *Journal of Food Process Engineering*, 23(2), 127-143.
- Pérez, A. A., Drago, S. R., Carrara, C. R., De Greef, D. M., Torres, R. L., & González, R. J. (2008). Extrusion cooking of a maize/soybean mixture: Factors affecting expanded product characteristics and flour dispersion viscosity. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 333-340.

-
- Pérez, E. E., Gutiérrez, M. E., Delahaye, D., Pacheco, E., Tovar, J., & Lares, M. (2007). Production and characterization of *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* flours. *Journal of Food Science*, 72(6).
- Pérez, E. E., Gutiérrez, M. E., Delahaye, D., Pacheco, E., Tovar, J., & Lares, M. (2007). Production and characterization of *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* flours. *Journal of Food Science*, 72(6).
- Pérez-Gálvez, A., & Mínguez-Mosquera, M. I. (2004). Características químicas, nutricionales y funcionales de los alimentos. CTC Alimentación, 24,11–20
- Peto, R., Doll, R., Buckley, J. D., & Sporn, M. B. (1981). Can dietary beta-carotene materially reduce human cancer rates. *Nature*, 290(5803), 201-208.
- Plahar, W. A., Okezie, B. O., & Gyato, C. K. (2003). Development of a high protein weaning food by extrusion cooking using peanuts, maize and soybeans. *Plant Foods for Human Nutrition (Formerly Qualitas Plantarum)*, 58(3), 1-12.
- Popenoe, W. (1974). Manual of Tropical and Subtropical Fruits. Excluding the banana, coconut, pineapple, citrus fruits, olive and fig. Hafner Press. EUA.
- Prieto Martínez, J. J., Covarrubias Alvarado, J. E., Cadena, A. R., & Viera, J. F. (2005). Paquete tecnológico para el cultivo de mango en el Estado de Colima.
- PROMOTEC 1998. Memoria del curso de capacitación en malanga (*Colocasia esculenta*). Ursulo Galván, Veracruz, México.
- Pszczola, D. E. (2004). Flavor enhancement: taking the mask off. *Food Technology*, 58(8), 56-70.
- Purseglove, J. W. (1974). Tropical Crops. Dicotyledons. Longman Group. EUA.
- Ramírez, A., & Pacheco de Delahaye, E. (2009). Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Interciencia*, 34(4), 293-298.

-
- Riaz, M. N. (2001). Selecting the right extruder. In Guy, R. (Ed.), *Extrusion cooking: Technologies and Applications*. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, 29-50.
- Riaz, M. N. (2006). Nuevas soluciones tecnológicas-proceso de extrusión. En *Proc. Int. Feria y Seminario de Aceite de Palma, Kuala Lumpur, Malasia*
- Riaz, M. N., Asif, M., & Ali, R. (2009). Stability of vitamins during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(4), 361-368.
- Ribeiro, S. M. R., Queiroz, J. H., de Queiroz, M. E. L. R., Campos, F. M., & Sant'Ana, H. M. P. (2007). Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(1), 13-17.
- Ribeiro, S. M. R., Queiroz, J. H., de Queiroz, M. E. L. R., Campos, F. M., & Sant'Ana, H. M. P. (2007). Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp.
- Robín, G. (2003). Extrusión Cooking, Technologies and applications. Selecting the right extruder.
- Rocha-Guzman, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Gonzalez-Laredo, R. F., Bello-Perez, A., Delgado-Licon, E., Ochoa-Martinez, A., & Prado-Ortiz, M. J. (2008). Physical properties of extruded products from three Mexican common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(3), 99-104
- Rodriguez-Amaya, D. B. (1997). *Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed and stored foods*. Arlington, VA: John Snow Incorporated/OMNI Project.
- Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I. I., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., Delgado-Licon, E., & Vivar-Vera, M. A. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 673-680.

- Rojas-Garbanzo, C., Pérez, A. M., Bustos-Carmona, J., & Vaillant, F. (2011). Identification and quantification of carotenoids by HPLC-DAD during the process of peach palm (*Bactris gasipaes* HBK) flour. *Food Research International*, 44(7), 2377-2384.
- Ruiz-Armenta, X. A., Zazueta-Morales, J. D. J., Aguilar-Palazuelos, E., Delgado-Nieblas, C. I., López-Díaz, A., Camacho-Hernández, I. L., & Martínez-Bustos, F. (2017). Effect of extrusion on the carotenoid content, physical and sensory properties of snacks added with bagasse of naranjita fruit: optimization process. *CyTA-Journal of Food*, 1-9.
- Ruiz-Ruiz, J., Martínez-Ayala, A., Drago, S., González, R., Betancur-Ancona, D., & Chel-Guerrero, L. (2008). Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. *LWT-Food Science and Technology*, 41(10), 1799-1807.
- Ryland, D., Vaisey-Genser, M., Arntfield, S. D., & Malcolmson, L. J. (2010). Development of a nutritious acceptable snack bar using micronized flaked lentils. *Food Research International*, 43(2), 642-649.
- Scita, G. (1992). The stability of β -carotene under different laboratory conditions. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 3(3), 124-128.
- Sebio, L., & Chang, Y. K. (2000). Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. *Molecular Nutrition and Food Research*, 44(2), 96-101.
- Sefa-Dedeh, S., & Agyir-Sackey, E. K. (2004). Chemical composition and the effect of processing on oxalate content of cocoyam *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* cormels. *Food Chemistry*, 85(4), 479-487.
- Seth, D., & Rajamanickam, G. (2012). Development of extruded snacks using soy, sorghum, millet and rice blend—a response surface methodology approach. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(7), 1526-1531.

-
- Sevatson, E., & Huber, G. R. (2000). Extruders in the food industry. *Extruders in Food Applications*, 167-204.
- Shahidi, F., & Brown, J. A. (1998). Carotenoid pigments in seafoods and aquaculture. *Critical Reviews in Food Science*, 38(1), 1-67.
- Sharma, P., Gujral, H. S., & Singh, B. (2012). Antioxidant activity of barley as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 131(4), 1406-1413.
- Shewry, P. R., Franklin, J., Parmar, S., Smith, S. J., & Mifflin, B. J. (1983). The effects of sulphur starvation on the amino acid and protein compositions of barley grain. *Journal of Cereal Science*, 1(1), 21-31.
- Shi, J., & Maguer, M. L. (2000). Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 40(1), 1-42.
- Shi, J., Dai, Y., Kakuda, Y., Mittal, G., & Xue, S. J. (2008). Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato puree. *Food Control*, 19(5), 514-520.
- Shin, J. A., Heo, Y., Seo, M., Choi, Y., & Lee, K. T. (2016). Effects of cooking methods on the β -carotene levels of selected plant food materials. *Food Science and Biotechnology*, 25(4), 955-963.
- Siebert, K. J. (2003). Modeling protein functional properties from amino acid composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(26), 7792-7797.
- Siller-Cepeda, J., Muy-Rangel, D., Baez-Sanudo, M., Araiza-Lizarde, E., & Ireta-Ojeda, A. (2009). Postharvest quality of mango cultivars of early, middle and late seasons. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 32(1), 45-52.
- Simpson, K. L. (1983). Relative value of carotenoids as precursors of vitamin A. *Proceedings of the Nutrition Society*, 42(1), 7-17.
- Simpson, K. L., & Chichester, C. O. (1981). Metabolism and nutritional significance of carotenoids. *Annual review of nutrition*, 1(1), 351-374.
-

-
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916-929.
- Singkhornart, S., Edou-ondo, S., & Ryu, G. H. (2014). Influence of germination and extrusion with CO₂ injection on physicochemical properties of wheat extrudates. *Food Chemistry*, 143, 122-131.
- Stafford, A. E. 1983. Mango. Handbook of tropical foods. New York, EEUU: Marcel Dekker, Inc., 399-431.
- Stanley, D. W. (1986). Chemical and structural determinants of texture of fabricated foods. *Food Technology*, 40(3), 65.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanog˘lu, S. (2008). The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, 47(3), 469-479.
- Suknark, K., Phillip, R. D., & Huang, Y. W. (1999). Tapioca-Fish and Tapioca-Peanut Snacks by Twin-Screw Extrusion and Deep-Fat Frying. *Journal of Food Science*, 64(2), 303-308.
- Suksomboon, A., Limroongreungrat, K., Sangnark, A., Thititumjariya, K., & Noomhorm, A. (2011). Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(1), 201-208.
- Szczesniak, A. S. (1963). Classification of textural characteristics. *Journal of Food Science*, 28(4), 385-389.
- Tagodoe, A., & Nip, W. K. (1994). Functional properties of raw and precooked taro (*Colocasia esculenta*) flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 29(4), 457-462.
- Tavani, A., & La Vecchia, C. (1999). β -Carotene and risk of coronary heart disease. A review of observational and intervention studies. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 53(9), 409-416.

Téliz, D. O. (1998). El mango y su manejo integrado en Michoacán. *Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, México.*

Temesgen-Yirmaga, M. (2017). Nutrient constituents of taro (*Colocasia esculenta*) corm and leaf for infant food development and chicken feed formulation. Ph.D. Dissertation in Food Science and Nutrition, Addis Ababa University, Ethiopia.

Thebaudin, J. Y., Lefebvre, A. C., Harrington, M., & Bourgeois, C. M. (1997). Dietary fibres: nutritional and technological interest. *Trends in Food Science and Technology*, 8(2), 41-48.

USDA, 2010. *National Nutrient Database for Standard Reference Release 28.*

Van Hulle, G. J., Anker, C. A., & Franssell, D. E. (1983). *U.S. Patent No. 4,409,250.* Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Van Poppel, G., & Goldbohm, R. A. (1995). Epidemiologic evidence for beta-carotene and cancer prevention. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 62(6), 1393S-1402S.

Van Zuilichem, D. J., Stolp, W., & Janssen, L. P. B. M. (1983). Engineering aspects of single- and twin-screw extrusion-cooking of biopolymers. *Journal of Food Engineering*, 2(3), 157-175.

Vásquez-Caicedo, A. L., Neidhart, S., Pathomrungsriyounggul, P., Wiriyaacharee, P., Chattrakul, A., Sruamsiri, P., & Carle, R. (2002, January). Physical, chemical, and sensory properties of nine Thai mango cultivars and evaluation of their technological and nutritional potential. In *International Symposium: Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia Challenges for the 21st Century*, 8-11.

Vidal-Valverde, C., Frias, J., Estrella, I., Gorospe, M. J., Ruiz, R., & Bacon, J. (1994). Effect of processing on some antinutritional factors of lentils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(10), 2291-2295.

Villegas-Santiago, J., Calderon-Santoyo, M., Ragazzo-Sánchez, A., Salgado-Cervantes, M. A., & Luna-Solano, G. (2011). Fluidized bed and tray drying of thinly sliced mango (*Mangifera*

indica) pretreated with ascorbic and citric acid. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(6), 1296-1302.

Wang, S. S., Chiang, W. C., Zheng, X., Zhao, B., Yeh, A. I., & Cho, M. H. (1992). Application of an energy equivalent concept to the study of the kinetics of starch conversion during extrusion. *Food extrusion Science and Technology*, 165-176.

Wintergerst, E. S., Maggini, S., & Hornig, D. H. (2007). Contribution of selected vitamins and trace elements to immune function. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 51(4), 301-323.

Wolf, B. (2010). Polysaccharide functionality through extrusion processing. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 15(1), 50-54.

Wu, J.S. & Sheu, M. J. (1996). Tropical fruits. In: Somogyi, L. P., Barrett, D. M., Hui, Y. H. (Eds.), Processing fruits. Science and Technology. Major processed products. Technomic Publishing Co., Lancaster, (2),387-417.

Ziegler, R. G., Mayne, S. T., & Swanson, C. A. (1996). Nutrition and lung cancer. *Cancer Causes & Control*, 7(1), 157-177.

