



MCA-2019/97

S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO
de Tuxtepec**

**"ELABORACIÓN DE UN EXTRUDIDO LISTO PARA
COMER A BASE DE HARINAS DE PLÁTANO MACHO
Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE PIÑA"**

TESIS

MAESTRIA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

PRESENTA:

I.B.Q. VERONICA OFELIA BAUTISTA VIAZCAN

DIRECTOR:

DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA

CO-DIRECTOR:

DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA

Tuxtepec, Oaxaca

Noviembre 2018

COMITÉ TUTORIAL:

DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA

DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA

M.C. ERNESTINA PAZ GAMBOA

DRA. IVET CALLEGOS MARIN



S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

**“ELABORACIÓN DE UN EXTRUDIDO LISTO
PARA COMER A BASE DE HARINAS DE
PLÁTANO MACHO Y RESIDUOS
AGROINDUSTRIALES DE PIÑA”**

(OPCIÓN ÚNICA)

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

PRESENTA

IBQ. VERÓNICA OFELIA BAUTISTA VIAZCAN

ASESOR

DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA

CO-ASESOR

DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA



Tuxtepec, Oaxaca .Noviembre 2018

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
División de Estudios ProfesionalesProcedimiento para la Titulación
Autorización de Presentación del Trabajo Profesional
Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.5.1SUBDIRECCION ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
EXPEDIENTE: DEP-ñ/18Tuxtepec, Oaxaca **11/OCTUBRE/2018**
OFICIO: No. 3864**I.B.Q. VERONICA OFELIA BAUTISTA VIAZCAN**
EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS
CON NÚMERO DE CONTROL M09350017
PRESENTE.

POR MEDIO DE LA PRESENTE ME PERMITO COMUNICARLE QUE LA COMISIÓN REVISORA INTEGRADA POR LOS C.C. **DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA, DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA, M.C. ERNESTINA PAZ GAMBOA Y DRA. IVET GALLEGOS MARIN** REVISÓ Y APROBÓ EN SU TOTALIDAD EL TRABAJO PROFESIONAL DENOMINADO **"ELABORACIÓN DE UN EXTRUDIDO LISTO PARA COMER A BASE DE HARINAS DE PLÁTANO MACHO Y RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE PIÑA"** PRESENTADO POR USTED COMO PRODUCTO DE **TESIS** DEL LINEAMIENTO DE TITULACIÓN CORRESPONDIENTE, PARA OBTENER EL GRADO DE **MAESTRA 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*EXCELENCIA EN EDUCACIÓN TECNOLÓGICA®
CIENCIA Y TÉCNICA PRESENTES AL FUTURO®***L.I. MARTHA MONICA HERNÁNDEZ CRUZ**
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.C.c.p.-Coord. de titulación
MMHC/has

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

DEDICATORIA

A Dios

Por haberme dado salud para lograr mis objetivos y permitirme llegar hasta este punto.

A mi madre la Sra. Verónica Viazcan García

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre el Sr. Hugo Lino Bautista Hernández

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis familiares

Este trabajo se lo dedico a la memoria de mi abuela la Sra. María Antonia García y de mi tío el Sr. Luis Mayolo Viazcan quienes me apoyaron siempre, esto es para ustedes; espero que estén orgullosos. A mi hermana mayor la LCC. Claudia Rita Bautista Viazcan de la cual aprendí de aciertos y de momentos difíciles, gracias por brindarme tu apoyo y por ser mi compañera y amiga durante todo este tiempo. A mis hermanos menores Ana Melanie Bautista Vásquez y Hugo Alberto Bautista Vásquez por estar conmigo y apoyarme en la realización de una etapa más en mi vida profesional. Esto es por y para ustedes; deseando ser un buen ejemplo personal y académico para ustedes. A mi abuela la Sra. Cupertina Bravo Sobrón por todo el cariño, ejemplo y consejos que me ha dado, que Dios siga bendiciendo tu vida centenaria. Este logro se lo dedico a toda mi demás familia, que ha estado conmigo en las buenas y malas. Que Dios les multiplique todo lo que me han dado.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

A mis amigos

Este logro lo quiero compartir con ustedes; gracias por apoyarme a lo largo de mi vida desde hace 15 años, por estar en buenas, malas y durante mi formación profesional. Porque a pesar del tiempo y la distancia que a veces nos aleja la amistad ha sido más grande y nunca se ha deteriorado: Nidia S. Rodríguez, Perla M. Girón, Flor G. Canche, Luis F. Moreno, Juan C. Gallegos, Froylan y Abigail Muñoz, Karen Morales, Carol Iturrieta y Seila Hilario. Esta tesis no hubiese sido posible sin ustedes. Los amo.

Sin embargo durante este camino profesional encontré otros seres humanos maravillosos a los cuales también tengo el gusto de llamarles amigos y que de igual forma han estado en las buenas y malas; apoyándome a salir a delante de todos los terribles acontecimientos que me ocurrieron durante esta investigación, gracias por nunca soltarme: Anilu Vásquez, Carlos Uscanga, Karen Navarro, Carolina Calderón, Shunashi Armas, Narda Cabrera, Marisol Tejeda, Immer León, Eduardo Mojica, Fabiola Tavares, Saraí García, Jonathan Baltazar y Luis Rivera.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. **Jesús Rodríguez Miranda** por permitirme formar parte de su grupo académico, gracias por sus consejos, por el apoyo incondicional, la amistad y la confianza brindada, por la disponibilidad en la revisión de esta tesis y por compartir sus conocimientos los cuales me forjaron e hicieron una mejor profesionista.

Agradezco a mis **profesores de la Maestría en Ciencias en Alimentos**, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca otorgada para la realización de los estudios de la Maestría en Ciencias en Alimentos.

A la **Coordinación de Posgrado e Investigación. Depto. de Ingeniería Química y Bioquímica** por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado en esta institución.

Al **Instituto Tecnológico de Durango** por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

RESUMEN

Bautista Viazcan V, Maestría en Ciencias en Alimentos. Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Octubre 2017. “Elaboración de un extrudido listo para comer a base de harinas de plátano macho (*Musa paradisiaca* AAB) y residuos agroindustriales de piña (*Ananas comosus*)”. Director: Dr. Jesús Rodríguez Miranda, Co-director: Dra. Roselis Carmona García.

El plátano macho y la piña son los principales cultivos agrícolas en la cuenca del Papaloapan y representan materias primas potencialmente transformables en productos de valor agregado. Los alimentos botana son consumidos por personas de todas las edades y clases sociales y se sabe que, en los últimos diez años, la venta de estos se ha quintuplicado. Una de las tecnologías más empleadas en la actualidad para la elaboración de diferentes tipos botanas es la tecnología de extrusión, dicho proceso es una forma de cocción rápida, continua y homogénea, mediante el cual el alimento es sometido a un proceso mecánico de inducción de energía térmica y mecánica, aplicando presión y temperatura durante un breve espacio de tiempo. El objetivo de este trabajo fue elaborar un extrudido a base de harinas de plátano macho (*Musa paradisiaca* AAB) (HPM) y residuos agroindustriales de piña (*Ananas comosus*) (HRCPP). El proceso de extrusión se realizó en un extrusor de tornillo simple, con una relación de compresión (1:3) y dado de salida cilíndrico (3 mm), de acuerdo a un diseño experimental central compuesto con cuatro variables independientes: temperatura (120 - 180 °C), humedad (16 - 25 g/100 g), proporción de HPM/HRCPP (0 - 30 g/100 g) y contenido de stevia (0 - 5 g/100 g); y como variables de respuesta: índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), fuerza máxima de ruptura (FMR), índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y diferencia total de color (ΔE). Se eligieron seis tratamientos, los cuales eran los que presentaron el mayor IE para ser evaluados sensorialmente por 70 panelistas no entrenados, utilizando una prueba hedónica de perfil flash de siete puntos que comprendía de me disgusta muchísimo a me gusta muchísimo; donde evaluaron la apariencia visual, color, aroma,

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

crujibilidad, sabor y aceptación general. Se obtuvo un rendimiento del 14.17% para la harina de residuos de cáscara y pulpa de piña y de 46.97% para la harina de plátano macho. De acuerdo al AQP ambas harinas presentaron alto contenido de carbohidratos, que sugiere alto contenido de fibra y almidón para HRCPP y HPM respectivamente. Los resultados encontrados por medio de los coeficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para las determinaciones estudiadas demostraron que el contenido de humedad, HRCPP y Stevia presentaron un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo para el IE, es decir que el aumento de estas tres variables da como resultado extrudidos con IE menores a 3 mm. Caso contrario para la DA ya que las tres variables anteriormente mencionadas presentaron un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo, es decir, el aumento de estas permiten niveles de DA menores a 2.58 g cm^{-3} . El incremento de HRCPP y Stevia presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo lineal que favorece la textura de los productos. El incremento de temperatura y HRCPP presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo lineal. La presencia de HRCPP provoca una mayor solubilización de los componentes conforme se disminuye su concentración en las formulaciones. El incremento de temperatura y humedad presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en su expresión cuadrática; esto se atribuye a que las formulaciones que tengan mayor HPM serán las que permitan mayor IAA por la presencia de almidón. El incremento de temperatura presentó un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en su expresión lineal, sin embargo, la HRCPP agregó un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en su expresión lineal. Es decir, el aumento de TE da origen a extrudidos más oscuros por la reacción de Maillard. Los resultados indican que IE e ISA disminuyen significativamente ($p < 0.05$) por el uso de mayores proporciones de HRCPP. De acuerdo con el análisis sensorial realizado el extrudido con mejores puntuaciones fue el C10 que correspondía a Temperatura de extrusión de 165°C , Humedad $18.25 \text{ g}/100 \text{ g}$, HRCPP $7.5 \text{ g}/100 \text{ g}$, Stevia $3.75 \text{ g}/100 \text{ g}$ y HPM $88.75 \text{ g}/100 \text{ g}$. De acuerdo con los a los resultados obtenidos se logró obtener una botana con características fisicoquímicas de acuerdo a lo establecido con buena aceptación general por los consumidores y con alto contenido en fibra.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

ABSTRACT

Bautista Viazcan V, Master of Science in Food. Technological Institute of Tuxtepec, October 2017. "Elaboration of an extruded ready to eat based on male plantain flours (*Musa paradisiaca* AAB) and pineapple agroindustrial residues (*Ananas comosus*)". Director: Dr. Jesús Rodríguez Miranda, Co-director: Dr. Roselis Carmona García.

The male banana and pineapple are the main agricultural crops in the Papaloapan basin and represent potentially transformable raw materials in value-added products. Snack foods are consumed by people of all ages and social classes and it is known that, in the last ten years, the sale of these has increased fivefold. One of the most commonly used technologies for the development of different snack types is the extrusion technology, this process is a fast, continuous and homogeneous cooking, through which the food is subjected to a mechanical process of energy induction thermal and mechanical, applying pressure and temperature for a short period of time. The objective of this work was to elaborate an extrude based on male plantain flours (*Musa paradisiaca* AAB) (FPM) and pineapple agroindustrial residues (*Ananas comosus*) (FRAP). The extrusion process was carried out in a single screw extruder, with a compression ratio (1:3) and a cylindrical output die (3 mm), according to a central experimental design composed of four independent variables: temperature (120 - 180 °C) (ET), humidity (16 - 25 g / 100 g) (H), HPM / HRCPP ratio (0 - 30 g / 100 g) and stevia content (0 - 5 g / 100 g); and as response variables: expansion index (EI), bulk density (DB), maximum breaking force (FMB), water absorption index (WAI), water solubility index (WSI) and total color difference (ΔE). Six treatments were selected, which were the ones with the highest IE to be sensory evaluated by 70 untrained panelists, using a seven-point flash profile hedonic test that included a lot of dislike. Where they evaluated the visual appearance, color, aroma, crispness, taste and general acceptance. A yield of 14.17% was obtained for pineapple peel and pineapple residues flour and 46.97% for male plantain meal. According to the AQP, both flours presented high carbohydrate content, which suggests high fiber and starch content for FRAP and FPM respectively. The results

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

found by means of the regression coefficients of the response surface models for the determinations studied showed that the moisture content, FRAP and Stevia showed a significant effect ($p < 0.05$) negative for the EI, that is, the increase of these three variables results in extrudates with IE smaller than 3 mm. Otherwise for AD, since the three aforementioned variables presented a significant effect ($p < 0.05$), that is, the increase of these allow DB levels lower than 2.58 g cm⁻³. The increase in FRAP and Stevia has a significant positive effect ($p < 0.05$), which favors the texture of the products. The increase in temperature and FRAP has a significant negative effect ($p < 0.05$) linear. The presence of FRAP causes a greater solubilization of the components as their concentration in the formulations decreases. The increase of temperature and humidity presents a significant effect ($p < 0.05$) negative in its quadratic expression; this is attributed to the fact that the formulations that have the highest FPM will be the ones that allow greater WAI due to the presence of starch. The increase in temperature had a significant ($p < 0.05$) negative effect on its linear expression, however the FRAP added a positive effect ($p < 0.05$) positive in its linear expression. In other words, the increase in ET gives rise to darker extrudates due to the Maillard reaction. The results indicate that EI and WSI decrease significantly ($p < 0.05$) by the use of higher proportions of FRAP. According to the sensory analysis made the extruded with better scores was the C10 that corresponded to extrusion temperature of 165 °C, humidity 18.25 g / 100 g, FRAP 7.5 g / 100 g, Stevia 3.75 g / 100 g and HPM 88.75 g / 100 g. According to the results obtained, it was possible to obtain a snack with physicochemical characteristics according to what was established with good general acceptance by consumers and with high fiber content.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

CONTENIDO

RESUMEN	vi
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	15
II. MARCO TEÓRICO	16
2.1 EXTRUSIÓN	17
2.1.1 Definición del proceso de extrusión	17
2.1.2 Ventajas del proceso de extrusión	17
2.1.3 Funciones de los extrusores en la industria alimentaria	18
2.1.4 Productos alimenticios elaborados por el método de extrusión	19
2.1.5 Alimentos listos para comer	19
2.2 Generalidades del plátano macho	20
2.2.1 Producción de plátano macho	20
2.2.1.2 Producción nacional	21
2.2.1.3 Producción Estatal	23
2.2.1.4 Producción municipal	23
2.3 Composición química del plátano macho	23
2.4 Almidón	25
2.4.1 Amilosa	25
2.4.2 Amilopectina	26
2.5 Usos del Plátano Macho como harina	27
2.6 Piña	27
2.6.1 Usos de la Piña	28
2.6.2 Producción mundial de piña	28
2.6.2.1 Producción nacional de piña	29
2.6.2.2 Producción estatal de piña	29
2.6.3 Composición química de la piña	30

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

2.7 Fibra	30
2.8 Edulcorante	31
2.8.1 Edulcorantes nutritivos de poder edulcorante semejante a la sacarosa	31
2.8.2 Edulcorantes de mayor poder que la sacarosa	32
2.8.3 Edulcorantes No Nutritivos o No Calóricos	32
2.9 Stevia	33
2.10 Antecedentes	34
2.11 Justificación	36
2.12 Objetivo general	37
2.13 Objetivos específicos	37
III. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1 MATERIAS PRIMAS	39
3.1.1 Obtención de la harina de plátano macho.	39
3.1.2 Obtención de la harina de residuos agroindustriales de piña	40
3.2 Análisis Químico Proximal	41
3.3 Proceso de extrusión	41
3.4 Caracterización de los productos obtenidos	42
3.4.1 Índice de expansión (IE)	42
3.4.2 Determinación de la densidad aparente (DA)	42
3.4.3 Índice de absorción de agua	43
3.4.4 Índice de solubilidad de agua (ISA)	44
3.5 Color	44
3.6 Textura	44
3.7 Diseño experimental y análisis de datos	45
3.8 Evaluación sensorial	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	50
4.1 Rendimiento de las harinas.	50
4.2 Análisis Químico Proximal	50
4.3 Color de las harinas	51
4.4 Efecto de las variables independientes sobre las variables de respuesta del proceso de extrusión	52

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

4.4.1 Efecto de temperatura, contenido de humedad, harina de residuos agroindustriales de pulpa de piña y stevia sobre el IE, DA, FMR, ISA, IAA y ΔE .	54
4.4.1.1 Índice de expansión (IE), densidad aparente (DA) y fuerza máxima de ruptura (FMR)	54
4.4.1.2 Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA)	57
4.4.1.3 Color	60
4.4.1.4 Evaluación sensorial	62
V. CONCLUSIONES	65
VI. REFERENCIAS	67

INDICE DE FIGURAS

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Extrusor de laboratorio de un tornillo.	17
2	Planta de plátano macho.	20
3	Estados Productores de Plátano en México	22
4	Molécula de amilosa mostrando el enlace α 1,4.	26
5	Molécula de amilopectina mostrando el enlace α 1,6.	26
6	Planta de piña.	28
7	Estados Productores de Piña en México.	29
8	Planta de Stevia.	34
9	Plátano macho etapa 3 y residuos agroindustriales de piña.	39
10	Acondicionamiento de la materia prima (<i>Musa paradisiaca</i> AAB).	40
11	Acondicionamiento de la materia prima (<i>Ananas comosus</i>).	41
12	Extrusor de tornillo simple Brabender.	43
13	Colorímetro Ultra Scan Vis Hunter Lab.	45
14	Texturometro TA. XT. Plus.	45
15	Formato de evaluación para los productos extrudidos.	48
16	Cinética de secado de plátano macho a 60 °C.	50
17	Índice de expansión en función de las variables: a) Temperatura (°C) y Humedad (g/100), b) HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).	55
18	Densidad aparente en función de las variables: a) Temperatura (°C) y Humedad (g/100), b) HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).	56
19	Fuerza máxima de ruptura en función de las variables: a) Temperatura (°C) y Humedad (g/100), b) HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).	57
20	Índice de solubilidad de agua en función de las variables: a) Temperatura (°C) y Humedad (g/100), b) HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).	59

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

21	Índice de absorción de agua en función de las variables: a) Temperatura (°C) y Humedad (g/100), b) HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).	60
22	Diferencia total de color en función de las variables: a) Temperatura (°C) y Humedad (g/100), b) HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).	61
23	Parámetros sensoriales de los extrudidos evaluados.	63

INDICE DE TABLAS

No.	DESCRIPCIÓN	Pág.
1	Composición química del plátano macho.	24
2	Composición química de los residuos agroindustriales de piña.	30
3	Análisis químico proximal.	42
4	Diseño central compuesto para el proceso de extrusión de la mezcla de harina de residuos agroindustriales de piña (HRCPP)/ harina de plátano macho (HPM).	46
5	Formulación del diseño central compuesto para el proceso de extrusión de harina de residuos agroindustriales d piña (HRCPP)/ harina de plátano macho (HPM).	47
6	Composición química de las harinas de residuos agroindustriales de piña y plátano macho (%).	51
7	Análisis de color de las harinas de residuos agroindustriales de piña y plátano macho.	52
8	Efecto de Temperatura, Humedad, concentración de HRCPP y stevia sobre las respuestas del proceso de extrusión.	52
9	Coeficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para las determinaciones estudiadas, utilizando en los extrudidos HRCPP/HPM y stevia.	53

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

La cocción por extrusión está siendo cada vez más utilizada en la industria alimentaria, principalmente gracias a su versatilidad en la creación de nuevos productos y a su eficiencia, tanto productiva como energética.

En la última década notablemente la demanda de alimentos listos para comer se ha incrementado (Harper, 1992; Dos Santos Fernández *et al.*, 2002). Los cuales se consumen en forma de cereales para el desayuno, snacks, botanas, etc.; sin embargo existe el interés de incorporar nuevos frutos para mejorar las propiedades nutricionales (Bouzaza, 1996; González *et al.*, 2000). Entre las razones que pueden mencionarse para explicar este aumento en el consumo se destacan la revalorización de los alimentos listos para consumo y los cambios en el comportamiento del consumidor que lo induce a adquirir alimentos con mayor valor agregado. La comodidad de los productos pre-elaborados y el ahorro de tiempo conjuntamente con la novedad y la variedad en texturas, sabores, características nutricionales, tamaño y tipo de envase, etc., son utilidades que el consumidor moderno reconoce como necesarias y está dispuesto a pagar el mayor valor que estos productos tienen respecto a los alimentos tradicionales a base de cereales convencionales (González *et al.*, 2002).

Actualmente en México, principalmente en la región de la Cuenca del Papaloapan en los municipios de Loma Bonita y Tuxtepec, Oaxaca; la piña (*Ananas comosus*) y el plátano macho (*Musa paradisiaca* AAB) son los frutos de mayor cultivo por su gran importancia comercial. Es por ello por lo que al ser frutos ricos en fibra soluble e insoluble son apropiados para convertirlos en nuevos productos que puedan tener un mayor valor agregado. Además el plátano macho verde es un fruto con un alto contenido de almidón lo que lo hace favorable para el proceso de extrusión.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 EXTRUSIÓN

2.1.1 Definición del proceso de extrusión

El proceso de extrusión de alimentos es una forma de cocción rápida, continua y homogénea. Mediante este proceso mecánico de inducción de energía térmica y mecánica, se aplica al alimento procesado a alta presión y temperatura (en un intervalo de 100 -180 °C), durante un breve espacio de tiempo; como resultado, se producen una serie de cambios en la forma, estructura y composición del producto (Ainia, 2010).

Este proceso involucra el transporte de un material, bajo ciertas condiciones controladas, forzándolo a pasar por una boquilla de una geometría dada y con un caudal masivo pre-establecido. Durante este transporte se produce la cocción parcial o total de los componentes de la mezcla (*González et al., 2002*).



Figura 1. Extrusor de laboratorio de un tornillo

Fuente: <http://allextruded.com/la-extrusion-como-elemento-de-innovacion/>

2.1.2 Ventajas del proceso de extrusión

A continuación se mencionan las principales ventajas que se pueden obtener de un producto extruido (Zúñiga, 2008):

1. Alta calidad del producto. Los factores como alta temperatura/ corto tiempo, propios de un proceso de extrusión; minimiza la degradación de los nutrientes del alimento, mejora la digestibilidad de las proteínas y almidones; la cocción por extrusión destruye compuestos anti-nutricionales como inhibidores de

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

tripsina y de enzimas no deseadas como lipasas, lipoxidasas y microorganismos.

2. Mejora la apariencia y la palatabilidad.
3. Produce una amplia variedad de alimentos con pequeños cambios en ingredientes y condiciones de operación.
4. Permite la producción de una amplia gama de formas, texturas, colores y apariencias que son muy difíciles de lograr con otro tipo de procesos.
5. No genera desperdicios.
6. No requiere aglutinantes.

2.1.3 Funciones de los extrusores en la industria alimentaria

Según Harper, (1981) los extrusores en la industria alimentaria realizan las siguientes funciones:

- a) Mezclar y homogenizar
- b) Cocer para:
 - Desnaturalizar proteínas
 - Gelatinizar carbohidratos
 - Producir sabores y colores
 - Reducir factores anti-nutricionales
 - Crear textura a través de presión, flujo e intercambio de calor
 - Crear formas
 - Secar el producto

La extrusión específicamente en alimentos, ha sido definido como el proceso por el cual materiales húmedos, almidonosos y/o proteicos son plastificados y cocidos en un tubo por una combinación de presión, calor y esfuerzo mecánico. La gelatinización de los componentes almidonosos y la desnaturalización de las proteínas resultan de los efectos combinados de la elevada temperatura, presión y alto esfuerzo mecánico creados en el interior del barril del extrusor (Hauck y Huber, 1989).

2.1.4 Productos alimenticios elaborados por el método de extrusión

El principal atractivo de la extrusión es la posibilidad de aumentar la variedad de alimentos en la dieta por la producción de una gran cantidad de productos de diferentes formas, texturas, colores y sabores a partir de materias primas básicas (Zúñiga, 2008).

Entre los productos posibles de fabricar se encuentran:

- 1) Cereales para desayuno
- 2) Alimentos listos para comer tipo botana o snack
- 3) Alimentos para mascotas
- 4) Alimentos infantiles

2.1.5 Alimentos listos para comer

La tecnología de la extrusión se destaca en la industria de alimentos como un proceso eficiente, utilizándose en el procesamiento de cereales y proteínas, para alimentación humana y animal. Inicialmente esta tecnología se desarrolló para el transporte y formado de materiales, tales como masas y pastas. Actualmente se dispone de diseños muy sofisticados desarrollados en las últimas décadas. Una característica importante del proceso de extrusión es que es continuo, y que opera en un estado de equilibrio dinámico estacionario (Kokini, 1992).

En la última década la demanda de cereales pre-cocidos se ha incrementado notablemente (Dos Santos Fernández *et al.*, 2002). Entre las razones que pueden mencionarse para explicar este aumento en el consumo se destacan la revalorización de los cereales como alimento y los cambios en el comportamiento del consumidor que lo induce a adquirir alimentos con mayor valor agregado. La comodidad de los productos pre-elaborados y el ahorro de tiempo conjuntamente con la novedad y la variedad en texturas, sabores, características nutricionales, tamaño y tipo de envase, etc., son utilidades que el consumidor moderno reconoce como necesarias y está dispuesto a pagar el mayor valor que estos productos tienen respecto a los alimentos tradicionales a base de cereales (González et al, 2002). Sin

embargo existe el interés de incorporar nuevos frutos ricos en fibra para mejorar las propiedades nutricionales (Bouzaza, 1996; González et al., 2000).

2.2 Generalidades del plátano macho

El plátano macho (*Musa paradisiaca* AAB) pertenece a la familia de las Musáceas del género *Musa* de la especie *Musa paradisiaca*. Tiene su origen en Asia meridional, siendo conocida en el Mediterráneo desde el año 650. La especie llegó a Canarias en el siglo XV y desde allí fue llevado a América en el año 1.516. El cultivo comercial se inicia en Canarias a finales del siglo XIX y principios del siglo XX (Escobar, 1982).



Figura 2. Planta de plátano macho

Fuente: https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo_de_platano

2.2.1 Producción de plátano macho

El plátano macho como alimento es considerado uno de los cultivos más importantes en el mundo, ocupando esta fruta el 4º lugar en importancia, después del arroz, trigo y el frijol (Happi-Emaga, 2007). Los plátanos son consumidos extensivamente en los trópicos, donde se cultivan y en las zonas templadas es

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

apreciado por su sabor, gran valor nutritivo y por la disponibilidad durante todo el año. Tan solo en el Centro y Oeste de África constituye la fuente principal de alimentación de 270 millones de personas.

La producción mundial de plátano macho para el año 2013 fue de 133.6 millones de toneladas. Dentro de los 11 principales países productores de plátano macho (con el 83% del total), destaca Uganda con un 30% del total, así como otros países de Sudamérica (Colombia y Perú), de Centroamérica y el Caribe (Ecuador y Cuba), y de África (Ruanda, Ghana, Nigeria, Costa de Marfil, Camerún y Congo). La tasa media de crecimiento anual de la producción de plátano macho para la mayoría de los países productores es positiva, con niveles muy favorables (cercaos ó superiores al 5%), para países como Cuba, Ruanda y Ghana, y entre el 1.5 al 2.6% para naciones como Colombia, Nigeria y Uganda. En el caso de México, y de acuerdo con la Secretaría de Agricultura, la producción de plátano macho para el año 2017 fue de 2.2 millones de toneladas, equivalente al 1.6% de la producción mundial. De acuerdo con FAOASTAT (2012) México ocupó el décimo sexto lugar en rendimiento a nivel mundial con 29 ton/ha en el 2012 (Aceves-Navarro *et al.*, 2013).

2.2.1.2 Producción nacional

En México el término “Plátano” se le denomina tanto a los bananos como a los plátanos; en otros países esta separación de nomenclatura se basa en la forma de consumirse, los bananos son los que se consumen como fruta cruda o fresco y los plátanos los que se consumen cocinados por la razón de que tienen más almidón.

Las regiones plataneras se ubican en las zonas costeras del Océano Pacífico y Golfo de México. Los principales Estados productores son Chiapas, Veracruz, Tabasco, Nayarit, Michoacán, Colima, Oaxaca, Guerrero y Jalisco como se observa en la Figura 1, los cuales se agrupan en tres regiones productoras: Región del Golfo de México (Tabasco, Veracruz y Oaxaca) que ocupa el 41% de la superficie, Región

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

del Pacífico Centro (Colima, Michoacán, Jalisco, Guerrero y Nayarit) con el 27% y la Región del Pacífico (Vázquez et al., 2005).



Figura 3. Estados Productores de Plátano en México (Vázquez *et al.*, 2005)

México ocupa el segundo lugar en importancia económica de los frutales que a nivel comercial se cultivan. Cultivándose alrededor de 72,617.44 hectáreas de Bananos y Plátanos que producen más de 2.2 millones de toneladas de fruta, de las cuales el 95% se destina al consumo nacional y el 5% restante a la exportación. En México después del plátano enano gigante, el plátano macho es la segunda variedad que más se produce. La mayor parte se produce en el estado de Chiapas en el 2017 se obtuvo 688,900 toneladas de producción, seguido por el estado de Tabasco con 599,504 toneladas, así mismo por el estado de Veracruz con 206,883 toneladas y el estado de Oaxaca ocupando el octavo lugar con una producción de 66,376 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2017).

México produce 1, 101,930.71 toneladas de plátano macho. Participa con el grupo de América latina y el Caribe con el 6.16% y comparativamente con la producción mundial participa con el 2.02% (seder.contecto@e-oaxaca.gob.mx).

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

2.2.1.3 Producción Estatal

La superficie sembrada de plátano macho para el estado de Oaxaca es de 3,584.85 hectáreas con una producción valorada de 66,376 toneladas siendo el único distrito de Tuxtepec en producir esta variedad de Musáceas. (SIAP-SAGARPA, 2017).

2.2.1.4 Producción municipal

La superficie sembrada estimada para el distrito de Tuxtepec es de 1,630.00 hectáreas siendo el municipio de San Juan Bautista Tuxtepec en tener la mayor producción valorada 32,919.75 toneladas según SIAP-SAGARPA (2015).

2.3 Composición química del plátano macho

El fruto del plátano en estado inmaduro se ha reportado que contiene 70-74% de humedad, 1% de proteína, 0.3 - 0.5% de grasa, 20 - 30% de carbohidratos totales, 0.5% de fibra bruta, del 3.5% de fibra dietaria y el 1% de ceniza, (Tabla 1) Tobin y Muller, 1988; y Chávez *et al.*, 1992 llevaron a cabo el aislamiento del almidón en el fruto del plátano y ellos reportaron que obtuvieron una pureza del 80%. Estos valores son similares a los reportados por Bello-Pérez *et al.* (1999); Adeg-boyega *et al.* (2006) reportaron que la pulpa de plátano es muy rica en hierro, potasio, vitamina A y ácido ascórbico.

El plátano es una de las frutas más nutritivas por su riqueza en azúcares (levulosa, glucosa y sacarosa) contiene vitamina A, B1, B2 y vitamina C, minerales como calcio, fósforo, hierro, potasio, magnesio y zinc. Es una de las frutas más concentradas en principios energéticos, ya que deja residuos alcalinos por lo que nutre, alcaliniza y desintoxica al organismo, es rico en líquidos volátiles que estimulan la secreción de sustancias digestivas y ejercen una ligera acción antiséptica en el conducto intestinal (Aceves-Navarro *et al.*, 2008).

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Tabla 1. Composición química del plátano macho.

Componente	Contenido (%)
Humedad	70-74
Proteínas	1
Grasas	0.3-0.5
Carbohidratos totales	20-30
Fibra cruda	0.5
Fibra dietaria	3.5
Cenizas	1
Vitamina A	2-4
Vitamina B1	2
Vitamina B2	5
Vitamina C	15-18
Hierro	2
Calcio	2
Fosforo	3
Potasio	8
Magnesio	7
Zinc	2

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Musa_%C3%97_paradisiaca

Algunos estudios han demostrado que el consumo de plátano inmaduro podría tener efectos benéficos en la salud de los consumidores, debido a los componentes indigeribles que presenta (Faisant *et al.*, 1995). La harina de plátano macho puede ser una fuente de compuestos antioxidantes como polifenoles (Bello *et al.*, 2012), los cuales están relacionados con el contenido de minerales (Sulaiman *et al.*, 2011). El polisacárido predominante en el plátano macho inmaduro es el almidón (Flores *et al.*, 2004). En la actualidad, los países industrializados están buscando ingredientes funcionales para ser adicionados a los alimentos, los cuales al ser

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

consumidos, promuevan el estado saludable del organismo; como contenidos altos de almidón resistente (AR), fibra y actividad antioxidante (Tribess *et al.*, 2009).

2.4 Almidón

El almidón es el principal biopolímero de almacenamiento energético en las plantas superiores y es el componente mayoritario en el plátano macho (*Musa paradisiaca* AAB) en estado verde, por lo que influye de manera importante en su funcionalidad. El almidón existe en forma de gránulos con diferentes formas, tamaños y composición. Las propiedades específicas del almidón en cada fuente botánica, afectan características como la textura, volumen, consistencia, humedad y la vida de anaquel de los alimentos (Raeker *et al.*, 1998). Los gránulos de almidón de plátano macho son de forma oval y alargada, con tamaños de 20 a 50 μm , pudiendo llegar hasta los 90 μm (Nuñez *et al.*, 2004). La funcionalidad del almidón de plátano, como en todos los almidones, depende de la proporción de sus componentes: amilosa y amilopectina, de su tamaño y estructura molecular.

Estructuralmente, el almidón consiste en dos polisacáridos formados por moléculas de glucosa: amilosa y amilopectina. A pesar de que estas dos moléculas tienen básicamente la misma estructura, presentan diferente cantidad y tipos de enlace.

2.4.1 Amilosa

La amilosa está conformada por moléculas de glucosa unidas mediante enlaces glucosídicos α 1,4 (Figura 2). Presenta ramificaciones donde las cadenas de glucosa se unen por enlaces α 1,4, sin embargo, tales ramificaciones se encuentran de manera infrecuente y espaciada, por tal motivo la amilosa es considerada una molécula lineal. Típicamente constituye del 20 al 30 % del almidón (Sajilata *et al.*, 2006).

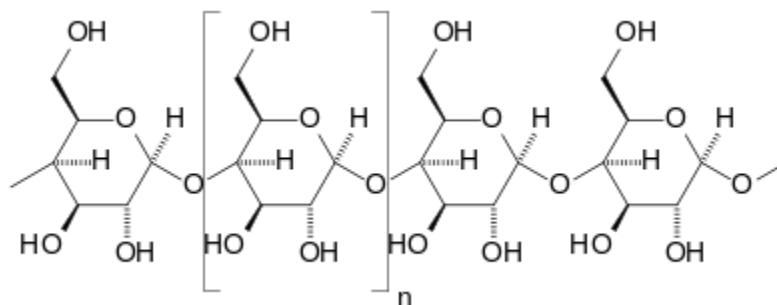


Figura 4. Molécula de amilosa mostrando el enlace α 1,4

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Amilosa>

2.4.2 Amilopectina

La amilopectina representa de un 70 a 80% del almidón total en tipos comunes y casi 100 % en cerosos. Esta molécula se compone de subunidades de glucosa, las cuales se unen por enlaces α -1,6. Los enlaces (α -1,6), forman puntos de ramificaciones dentro de la molécula. Las ramificaciones se encuentran entre cada 20 a 30 unidades de glucosa (Figura 3). La amilopectina es la responsable de la estructura del granulo de almidón, el cual consiste en áreas cristalinas y no cristalinas, arregladas en capas concéntricas.

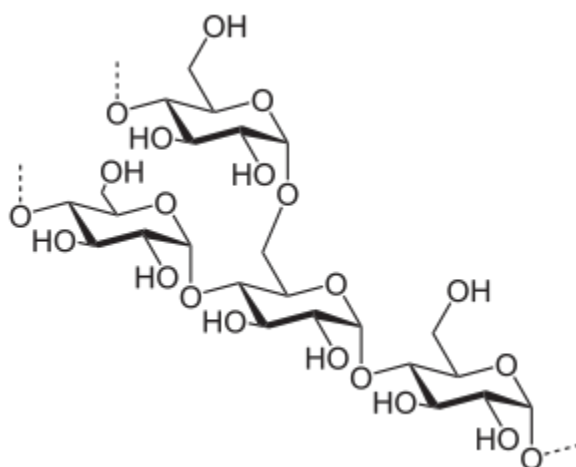


Figura 5. Molécula de amilopectina mostrando el enlace α 1,6

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Amilopectina>

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

2.5 Usos del Plátano Macho como harina

La harina de plátano macho verde es un producto importante de considerar para ser industrializado, con el fin de utilizarse en la producción de concentrado animal y otros productos que se podrían desarrollar para consumo humano. El plátano verde tiene un alto contenido de almidón. Dentro de este se pueden encontrar tres fracciones: Almidón de digestión lenta (ADL), almidón de digestión rápida (ADR) y almidón resistente (AR).

García-Suárez (2001), elaboró harina precocida con plátano macho verde para preparar alimentos para bebé, galletas, panes, pastas y bebidas refrescantes; además de utilizarse como materia prima para producir jarabe de glucosa y fibra, y de ese modo diversificar el consumo del fruto para contribuir a mejorar la calidad nutricional de la población mexicana. Concluyó que una fracción de este almidón es resistente, es decir, no es degradada por las enzimas digestivas y en conjunto con la fibra soluble del fruto, contribuye a bajar los niveles de colesterol y glucosa en la sangre, previniendo así el riesgo de diabetes y enfermedades cardiovasculares, además de mejorar el tránsito intestinal y reducir el riesgo de enfermedades del colon.

Su intenso uso ha llevado al desarrollo de métodos de secado que permiten contar con plátano todo el año; secados al sol o por medios mecánicos y molidos proporcionan una harina excelente, que se utiliza sola o mezclada con harina de trigo, de maíz o de yuca para la elaboración de masas o productos de panificación (Happi-Emaga *et al.*, 2007).

2.6 Piña

La piña (*Ananas comosus*) pertenece a la familia de las Bromeliáceas, al género *Anna* y la especie *Sativa* siendo no climatéricas que producen pequeñas cantidades de etileno (piña). Es una planta terrestre, rústica, con forma de roseta y de hojas largas, lanceoladas y rígidas que suelen presentar espinas en sus bordes (Figura 6). Bajo condiciones naturales se produce a los dos años, para lo cual desarrolla un

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

tallo central erecto sobre el que crece el pedúnculo floral que al madurar origina el fruto múltiple característico (Ells *et al.*, 2005).

La piña es una de las frutas tropicales más consumidas que existe actualmente; debido a que además de su sabor, atrae por su fragante aroma, su atractivo color amarillo y sus características nutritivas (Bartolome *et al.*, 1995).



Figura 6. Planta de piña

Fuente: <http://fundacion-antama.org/el-genoma-de-la-pina/>

2.6.1 Usos de la Piña

La piña es utilizada para la elaboración de mermelada, almíbar, jugos entre otros, durante la elaboración de estos productos, se recolectan un gran porcentaje de residuos agroindustriales, a los cuales no se les ha dado un uso y son desechados. La industria de alimentos produce grandes cantidades de residuos que pueden ser aprovechados de diversas formas. Entre estos residuos se encuentran los provenientes de las frutas, los cuales pueden ser utilizados en alimentación animal y humana, abonos, obtención de biogás, en la extracción de aceites esenciales, pectinas, flavonoides, entre otros (Milena *et al.*, 2007).

2.6.2 Producción mundial de piña

La producción de piña se encuentra distribuida alrededor de 83 países entre los que destaca Nigeria y Tailandia con una producción de 132,000.00 ton y 103,413.00 ton respectivamente. A nivel del continente Americano Brasil (62,481 TM) se postula como el mayor productor seguido por Costa Rica (45,000 TM), Venezuela (18,154 TM), México (17,296 TM), Perú (15,263 TM) y Colombia (12,995 TM) (FAO, 2013).



Figura 7. Estados Productores de Piña en México

Fuente: Atlas agroalimentario 2016 SIAP-SAGARPA

2.6.2.1 Producción nacional de piña

Las regiones piñeras se ubican en las zonas costeras del Océano Pacífico y el Golfo de México. Los principales estados productores son: Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Nayarit, Quintana Roo, Jalisco, Colima, Chiapas, Campeche y Guerrero como se observa en la Figura 7. La producción Nacional de piña de acuerdo con los datos proporcionados en Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) 2017 es de 945,210 Ton. Los estados de mayor producción son: Veracruz (567,534.00 ton), Oaxaca (107,835.22 ton), Tabasco (47,210.00 ton) y Nayarit (31,137.87 ton).

2.6.2.2 Producción estatal de piña

La producción de piña en el estado de Oaxaca fue de 130,437 ton en el 2017, siendo las ciudades de Loma Bonita y San Juan Bautista Tuxtepec las que tuvieron una mayor producción con 100 mil y 30,437 ton respectivamente (SIAP-SAGARPA).

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

2.6.3 Composición química de la piña

Durante la industrialización de la piña se puede generar hasta un 65 % de desechos del fruto, dentro de estos destacan la corona, el corazón, la cáscara y el bagazo (Rodríguez, 2012) Estos son los residuos producidos a partir de la obtención de jugo, elaboración de piña deshidratada y en conserva. Actualmente, este tipo de residuos no está siendo utilizado para la generación de otros productos para el consumo humano. En la Tabla 2, se puede apreciar la composición química de los residuos agroindustriales de piña, destacando que son una fuente rica en fibra.

Tabla 2. Composición química (b.s) de los residuos agroindustriales de piña.

Componente (%)	Cáscara	Corona	Corazón
Cenizas	1.50 ± 0.005	7.39 ± 0.002	1.3 ± 0.005
Grasas	2.00 ± 0.002	3.50 ± 0.005	3.19 ± 0.001
Fibra cruda	32.49 ± 0.050	37.24 ± 0.01	25 ± 0.003
Proteínas	0.75 ± 0.001	0.70 ± 0.001	0.85 ± 0.005
Carbohidratos	64.70 ± 0.001	50.57±0.020	70.7 ± 0.005
Fibra dietética	40.80 ± 0.001	43.90 ± 0.02	NR

Fuente: (María *et al.*, 2007)

N.R= No reportado

b.s= Base seca

2.7 Fibra

La fibra dietética es el componente de varios alimentos de origen vegetal, como los cereales, frutas, verduras y legumbres, que no puede ser digerida por el organismo. Esto es debido a que el aparato digestivo humano no cuenta con las enzimas que pueden digerirla y utilizarla. La fibra dietética se encuentra únicamente en alimentos de origen vegetal.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

La fibra dietética considerada como un carbohidrato complejo, puede dividirse en dos grupos principales según sus características y sus efectos en el organismo. Estos dos tipos son: fibra insoluble y fibra soluble.

La fibra insoluble, no se disuelve en agua. Este tipo de fibra se encuentra en alimentos como el salvado de trigo, granos enteros y las verduras. Su principal acción en el organismo es aumentar el volumen de las heces, disminuyendo el tiempo de tránsito de los alimentos y las heces a través del tubo digestivo. Como consecuencia, este tipo de fibra, al ingerirse diariamente, facilita las deposiciones ayudando a eliminar el estreñimiento.

La fibra soluble, se disuelve en agua y se encuentra en las legumbres, la avena, la cebada y algunas frutas. Las dietas altas en fibra soluble y bajas en grasa disminuyen los niveles de colesterol sanguíneos. Además este tipo de fibra y los componentes que contiene puede regular la absorción intestinal de los azúcares procedentes de los alimentos (Kritchevsky, 2002).

2.8 Edulcorante

La sensación de dulzor que provocan ciertos alimentos se debe a un gran número de compuestos de estructuras químicas muy diferentes; una manera de clasificarlos es con base en su potencia y valor nutritivo:

2.8.1 Edulcorantes nutritivos de poder edulcorante semejante a la sacarosa

- a) Mono y oligosacáridos: sacarosa, fructosa, glucosa, lactosa, isoglucosa, miel de abeja, azúcar invertido, jarabe de maíz, etcétera.
- b) Polioles: sorbitol, xilitol, jarabe de glucosa hidrogenado, maltitol, manitol, etcétera.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

2.8.2 Edulcorantes de mayor poder que la sacarosa

Sintéticos: acesulfamo K, aspartamo, ciclamatos, sacarina, sacralosa, alitamo, dulcina.

De origen vegetal:

Glucósidos: glicirricina, dihidrochalconas, esteviósido.

Proteínas: taumatina, monelina y miraculina.

2.8.3 Edulcorantes No Nutritivos o No Calóricos

Los edulcorantes no nutritivos pueden contribuir al control de peso o de la glucosa en sangre y a la prevención de las caries dentales. La industria de la alimentación valora estos Edulcorantes por muchos atributos; entre ellos cualidades sensoriales (por ejemplo, un sabor dulce puro, la ausencia de sabor amargo o de olor), seguridad, compatibilidad con otros ingredientes alimentarios y estabilidad en diferentes entornos alimentarios.

En algunos casos, los edulcorantes no calóricos se emplean en lugar de los calóricos. Ellos no proporcionan calorías, pero sí el sabor dulce. Todos los edulcorantes no calóricos son químicamente procesados. En este grupo se incluyen la sacarina y sus sales sódica y cálcica (300 - 400 veces más dulce que el azúcar); Aspartame (180 - 200 veces más dulce que el azúcar); Acesulfame K o Potasio Acesulfame (130 - 200 veces más dulce que el azúcar); Sucralosa (600 veces más dulce que el azúcar). El Ciclamato (30 - 60 veces más dulce que el azúcar) fue prohibido en 1970 en los EUA por la FDA, quien está estudiando su reincorporación. Entre los más conocidos tenemos: Acesulfame K, Alitamo, Aspartame, Ciclamato, Neohesperidina DC, Sacarina, Sucralosa, Steviosida, Taumatina.

El poder edulcorante, es decir, la capacidad de una sustancia para causar dicha sensación, se mide subjetivamente tomando como base de comparación la sacarosa, a la que se le da un valor arbitrario de 1 o de 100. Es decir, si un compuesto tiene un poder de dos (uno para la sacarosa), indica que es 100% más dulce que el disacárido y se puede usar al 50% para lograr el mismo nivel de dulzor.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

La sustitución de la sacarosa por los edulcorantes sintéticos no siempre es sencilla, ya que este azúcar desempeña, además, otras funciones en el alimento, como conservador y para conferir una textura y consistencia adecuadas; esto se observa en las mermeladas y en alimentos semejantes en los que el alto contenido de sacarosa reduce la actividad del agua a < 0.8 para evitar hongos y levaduras, y ayuda a que gelifiquen las pectinas de alto metoxilo. Los edulcorantes sintéticos no son metabolizados y por consiguiente, no producen las calorías que generan los tradicionales hidratos de carbono; además, debido a que son mucho más dulces que la sacarosa, se usan en una cantidad muy inferior (Badui, 2006).

2.9 Stevia

La stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) es una planta selvática subtropical del alto Parana, nativa del noroeste de la provincia de Misiones, por las laderas montañosas de Paraguay, donde era utilizada por los Pueblos originales del lugar como edulcorante y planta medicinal (Anton *et al.*, 2010; Dacome *et al.*, 2005). Es una dicotiledónea, orden Campanulares, familia Asteraceae; es semiperenne, tiene como centro de origen el Paraguay (Vieda, 2005), y actualmente se usa como edulcorante debidamente procesado en todo el mundo.

S. rebaudiana presenta diversos compuestos edulcorantes, de los cuales sobresalen: esteviósido (5 - 10%), rebaudiósido A (2 - 4%), rebaudiósido C (1 - 2%) y dulcósido A (0.5 - 1%) (Midmore y Rank, 2005). La parte que se usa son las hojas secas, las cuales registran de 20 a 30 veces más dulce que la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y los esteviósidos hasta 200 a 300 veces más dulce que la azúcar refinada de la caña. Dado que es un edulcorante natural, no se acumula en el cuerpo, reduce los niveles de glucosa en la sangre (Brahmachari *et al.*, 2011; Anton *et al.*, 2010), es antihipertensivo, antiácido, cardiotónico, no produce caries, ya que no es fermentado por bacterias orales, presenta actividad anti-rotavirus (Brahmachari *et al.*, 2011); se distingue de los edulcorantes artificiales por no tener sabor "metálico", y no se ha registrado algún efecto secundario como cancerígeno (Jarma *et al.*, 2005; Galvan *et al.*, 2003). Por tener cero calorías, es

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

ideal para el consumo de todo tipo de personas que cuiden su salud. Al hacerlo de forma permanente, mejora la calidad de vida, principalmente a las personas afectadas por diabetes y obesidad (Madan *et al.*, 2010).



Figura 8. Planta de Stevia.

Fuente: <http://sipse.com/ciencia-y-salud/stevia-mejor-que-azucar-refinado-152206.html>

2.10 Antecedentes

Selani et al. (2014). Caracterizaron y evaluaron el efecto de la pulpa de piña (PP) sobre el proceso de extrusión para mejorar el contenido de fibra del producto final. La pulpa de piña presentó bajo contenido de grasa (0.61%) y alto contenido de fibra dietética (45.22%), mostrando un potencial de enriquecimiento de fibra en productos bajos nutricionalmente como algunos aperitivos extrudidos. Los resultados mostraron un recuento microbiológico bajo, la a_w y pH que indican buena calidad microbiológica y bajo riesgo de deterioro físico-químico. Durante la extrusión se evaluaron: la pulpa de piña (0, 10.5 y 21%), el contenido de humedad (14, 15 y 16%) y la temperatura (140 y 160 °C). La adición de la PP disminuyó el índice de expansión y la luminosidad; al tiempo que aumenta el enrojecimiento de los productos extruidos en comparación con el control (0 pulpa/14% humedad/140 °C).

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Cuando la dureza, la amarillez, la absorción de agua, y la densidad aparente se compararon con la de control, no hubo efecto significativo ($p > 0.05$) de 10.5%. Que indica que, a este nivel, la PP podría añadirse sin afectar a las propiedades del producto final extrudido.

Zhang et al. (2011). Evaluaron los efectos del proceso de extrusión en fibra dietética soluble (FDS) en el salvado de avena. El rendimiento, composición, propiedades térmicas, el comportamiento reológico y la funcionalidad de la FDS en el extrudido de salvado de avena, los cuales se compararon con la FDS del salvado de avena sin tratar. Los resultados mostraron que el FDS en el extrudido de salvado de avena tuvo rendimientos más altos (14.2%), el diámetro medio de partícula (1718.1 nm), la temperatura de pico (T_p de 69.0 °C), la solubilidad, la capacidad de hinchamiento, la capacidad de retención de solvente, la capacidad de espuma, la viscosidad aparente y el coeficiente de consistencia y menor índice de comportamiento de flujo que las de FDS en el salvado de avena sin tratar. El proceso de extrusión mejora algunas propiedades de FDS de salvado de avena.

Kaur et al. (2014). Evaluaron el efecto de extrusión sobre los parámetros de velocidad de extrusión (VE) y temperatura de extrusión (TE) usando harina de plátano macho (HPM) con harina de maíz (HM). Encontrando que los parámetro de color L^* , a^* y b^* en muestras con mayor proporción de HPM presentaban mejor luminosidad y parámetros de a^* y b^* inferiores a los extrudidos con mayor proporción de HM. Los mejores productos con mayor índice de expansión fueron aquellos que en los que se aumentó la TE y proporciones de HPM. El índice de absorción de agua disminuye a mayores proporciones de HPM mientras se incrementaba la VE, sin embargo se observó un efecto inverso de HPM y VE con respecto al índice de solubilidad de agua. La dureza de los productos extrudidos aumento con el incremento de VE, TE y HPM.

2.11 Justificación

Actualmente en México, principalmente en la región de la Cuenca del Papaloapan, en el municipio de Loma Bonita, la piña es la fruta de mayor cultivo con importancia comercial. En este contexto, la industria piñera genera una cantidad importante de desechos que son únicamente utilizados como alimento para ganado. Por otro lado, el plátano es uno de los cultivos más importantes en la ciudad de Tuxtepec, siendo este más utilizado para consumo humano, por el gran porcentaje de producción del plátano macho de los productores se han tenido pérdidas económicas ya que se ha puesto a la venta a bajos precios, por lo anterior es necesaria la búsqueda de procesos que permitan el aprovechamiento de estos cultivos.

Debido al gran potencial que presentan los residuos agroindustriales para su aprovechamiento como materia prima con características de ingrediente funcional o para su transformación en un producto de valor agregado, se propone el aprovechamiento de los residuos de la agroindustria de piña y del plátano macho producidos en la región de la Cuenca del Papaloapan, para la elaboración de botanas extrudidas para generarles un valor agregado a estos cultivos de la región. Lo anterior, a través de la elaboración de alimentos consumidos habitualmente y de larga vida de anaquel, como es el caso de los alimentos listos para consumo, los cuales obtenidos bajo un proceso de extrusión resulten con características físicas y fisicoquímicas deseables y sean aceptados sensorialmente por el consumidor, además de económicos por el mismo proceso. Así mismo, a través de metodologías de optimización y estadística, será posible hallar la combinación de los niveles de las variables o factores que influyen en el proceso de extrusión con la finalidad de minimizar o maximizar parámetros de calidad u operación, permitiendo un uso eficiente e integral de los recursos. Las propiedades nutricionales del producto obtenido se incrementarían con la combinación de la mezcla de harinas de estos frutos, aunado a esto los beneficios del consumo de fibra.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

2.12 Objetivo general

Desarrollar formulaciones optimizadas de cereales directamente expandido elaborado con harina de plátano macho (*Musa paradisiaca* AAB) y harina de residuos agroindustriales de piña (*Ananas comosus*) mediante el proceso de extrusión y realizar su caracterización de composición química, funcional y física.

2.13 Objetivos específicos

- Obtener las harinas de plátano macho y residuos agroindustriales de piña y realizar su caracterización química parcial.
- Determinar el efecto de temperaturas de extrusión (120-180 °C), contenido de humedad (16-22%) proporción de la harina de residuos agroindustriales de piña (0–30%) en harina de plátano macho y proporción de Stevia (0–5%), para obtener un producto listo para comer.
- Evaluar las características físicas, fisicoquímicas y propiedades funcionales de un producto extrudido listo para comer.
- Determinar el efecto de la concentración de las mezclas de harinas, temperatura de extrusión y humedad sobre el índice de expansión (IE) y propiedades funcionales de un producto extrudido listo para comer.
- Realizar la evaluación de aceptabilidad de consumidores del producto extrudido listo para comer mediante una prueba hedónica (apariencia visual, color, aroma, textura, sabor y aceptación general).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIAS PRIMAS

Para la obtención de las harinas se utilizó plátano macho verde (*Musa paradisiaca* AAB) en etapa 3 de madurez de acuerdo con la escala de Faisant *et al.*, (1995). El plátano macho fue obtenido del mercado local de la ciudad de San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, México (18°05'24''N, 96°06'50''W) (Figura 9). Los residuos agroindustriales de cáscara y pulpa de piña fueron proporcionados por la Planta de Productos Santa Mónica S.A de C.V ubicada en la ciudad de Loma Bonita Oaxaca, México (18°06'00''N, 95°53'00''O). Se utilizó como edulcorante natural no calórico Stevia (METCO, México).



Figura 9. Plátano macho etapa 3 y residuos agroindustriales de piña.

3.1.1 Obtención de la harina de plátano macho.

El plátano macho verde se pesó con y sin cáscara para determinar el rendimiento de la harina. Posteriormente se cortaron rodajas de 3 mm de espesor con una rebanadora industrial (Rheninghaus modelo argenta IP 33). Las rodajas se vertieron en una solución de ácido ascórbico al 1%/20 min. Posteriormente las rodajas fueron colocadas en bandejas de acero inoxidable para ser secadas en un secador de charolas (Poli Rep modelo M07D-13911 México) a 60 °C realizando una cinética de secado con el fin de obtener una humedad menor al 12%. Finalmente, las rodajas fueron molidas en una licuadora Osterizer de 10 velocidades (modelo M6798-13 México), el polvo obtenido se volvió a moler en un molino de café (Krupps modelo

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

GX4100, México) para ser tamizado en una malla No. 40 (0.425 mm). Finalmente la harina se empaquetó al vacío hasta su posterior uso (Figura 10).

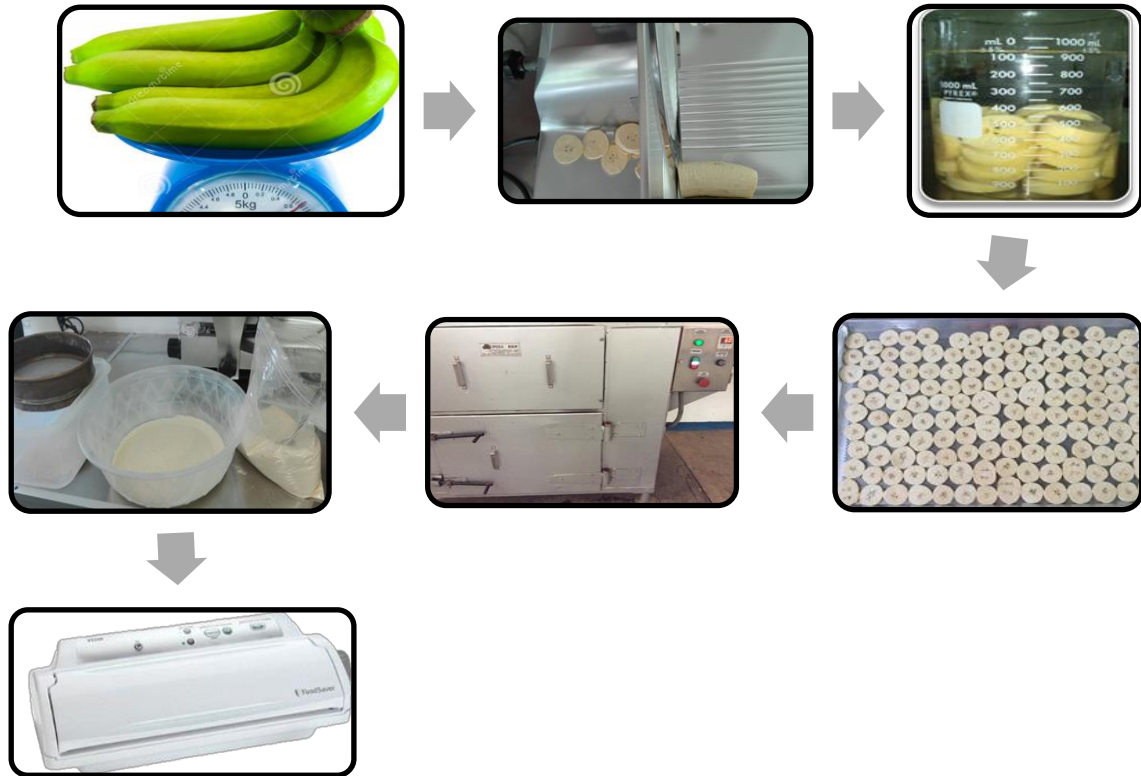


Figura 10. Acondicionamiento de la materia prima (*Musa paradisiaca* AAB). 1) La materia prima fue pesada con y sin cáscara, 2) Cortar rodajas de 3 mm de espesor, 3) Reposar las rodajas durante 20 min en una solución de ácido ascórbico al 1%, 4) Acomodar las rodajas en charolas de acero inoxidable, 5) Secar la materia prima en un secador de charolas a 60 °C, 6) Moler las rodajas secas y tamizar en malla # 40, 7) Empaquetar al vacío.

3.1.2 Obtención de la harina de residuos agroindustriales de piña

Para la obtención de esta harina se utilizó la técnica descrita por Cruz-Cabrera (2014). La cual consiste en secar los residuos agroindustriales de cáscara y pulpa de piña (RCPP) en un secador de charolas por un tiempo de 8 h y 30 min, posteriormente la materia prima seca se molió en una licuadora Osterizer (10 velocidades modelo M6798-13, México) el polvo obtenido se volvió a moler con un molino de café (marca Krups modelo GX4100, México) para ser tamizado en una

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

malla No. 40 (0.425 mm). Finalmente, la harina se empaquetó al vacío hasta su posterior uso.

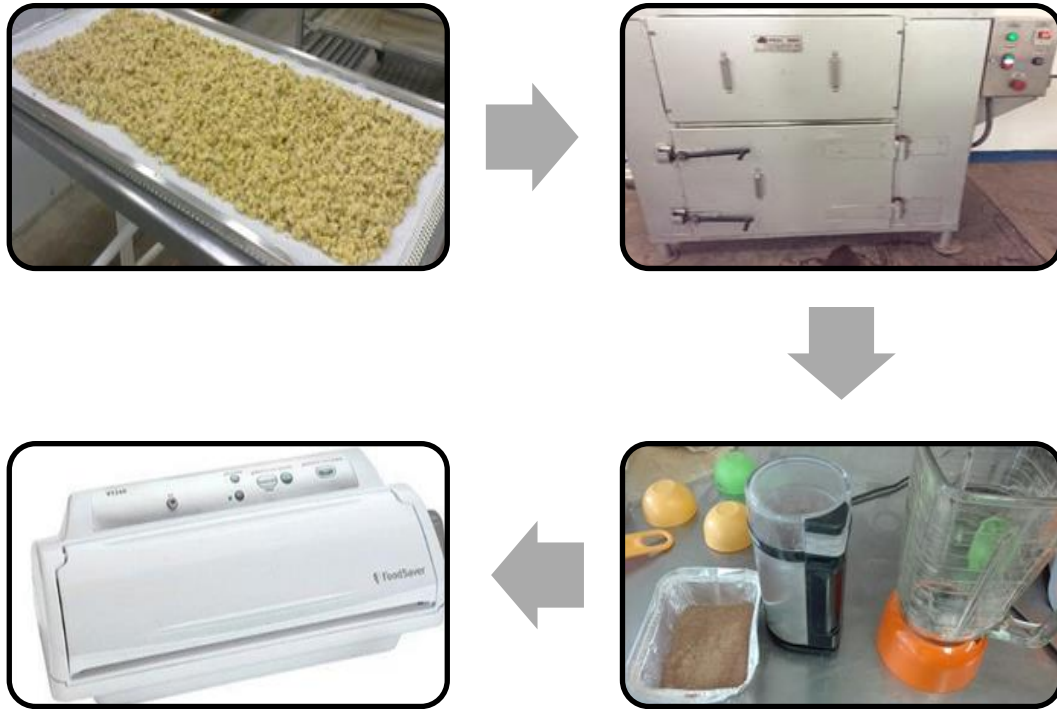


Figura 11. Acondicionamiento de la materia prima (*Ananas comosus*): 1) El residuo agroindustrial de piña se colocó en charolas de acero inoxidable, 2) Los residuos fueron secados en un secador de charolas a 65 °C durante 510 min, 3) Posteriormente los residuos agroindustriales secos fueron molidos y tamizados en una malla # 40, 4) Empaquetar al vacío.

3.2 Análisis Químico Proximal

El análisis químico proximal de la harina de residuos agroindustriales de piña y de plátano macho, se realizó mediante las técnicas establecidas por la AOAC, (2005) (humedad, cenizas, grasas, proteínas y carbohidratos), cada análisis se llevó a cabo por triplicado.

3.3 Proceso de extrusión

La extrusión se realizó en un extrusor de laboratorio de tornillo simple (Extruder 19/25DN, Model 832005.007, Brabender GmbH & Co. KG, Germany) con un diámetro de 19 mm, una relación de longitud: diámetro de 20:1, una relación de

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

compresión del tornillo 3.1 y un dado cilíndrico de 3 mm (Figura 12). Las harinas se mezclaron de forma manual en porciones de harina de residuos agroindustriales de piña/harina de plátano macho, de acuerdo con un diseño de experimentos (Tabla 4). Las mezclas alimentaron al extrusor de forma forzada. El perfil de la temperatura se mantuvo constante a 50 °C en la zona de alimentación, 80 °C en la zona de fusión, 100 °C en la zona de compresión y en la zona de salida de 120 a 180 °C, de acuerdo con el diseño de experimentos.

Tabla 3. Análisis químico proximal.

PRUEBA	MÉTODO
Humedad	934.01 (Pérdida de peso)
Cenizas	942.05 (Calcinación)
Grasa	948.22 (Soxhlet)
Proteínas	960.52 (Micro Kjeldhal)

3.4 Caracterización de los productos obtenidos

3.4.1 Índice de expansión (IE)

El índice de expansión de los productos extrudidos se determinó midiendo el diámetro promedio del producto extrudido entre el diámetro interior del dado de salida del extrusor, para el cual se utilizó un Vernier digital (Tools & instruments TM, modelo H9R 1E1; Montreal, Canada). Se realizaron 10 determinaciones de cada tratamiento (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

3.4.2 Determinación de la densidad aparente (DA)

La DA se analizó de acuerdo con la técnica reportada por Wang *et al.*, (1993). A diez muestras de extrudidos de cada muestra seleccionada de aproximadamente 5 cm seleccionadas al azar, se les midió el diámetro (d) y luego su longitud (l). A cada muestra se le tomaron tres mediciones del diámetro y se calculó el valor promedio.

Posteriormente, se pesó cada extrudido (Pm), para determinar la densidad utilizando la siguiente ecuación.

$$\text{Densidad (p)} = \frac{pm}{\pi \frac{d}{2} l} \quad \text{Ec. 1}$$

Los resultados de expresaron en $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

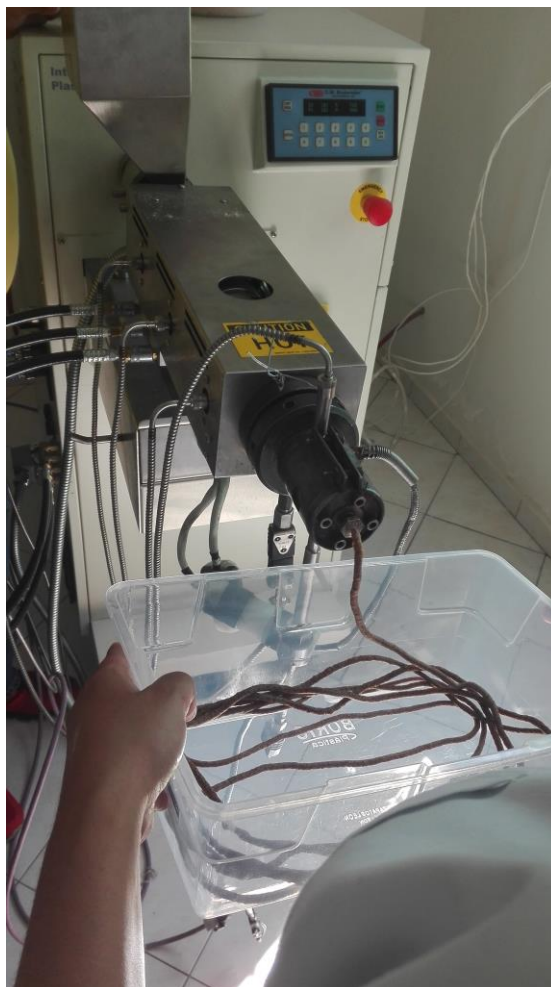


Figura 12. Extrusor de tornillo simple Brabender

3.4.3 Índice de absorción de agua

El índice de absorción de agua (IAA) es el peso del gel obtenido por gramo de muestra en base seca. El IAA de extrudidos se determinó según el método AACC56-20 (AACC, 2000). El material extrudido molido se suspendió en agua a temperatura ambiente. Después de haber reposado durante 10 min, se agito suavemente durante 10 minutos, las muestras se centrifugaron durante 15 min a 1000 g .El sobrenadante se decantó en un recipiente de aluminio. El IAA se calculó como el peso del sedimento obtenido después de la eliminación del sobrenadante como

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

peso por unidad de sólidos originales como base seca. Para obtener el IAA se calculó mediante la ecuación:

$$\text{IAA} = \text{Peso del sedimento} / \text{peso de la muestra seca (g de H}_2\text{O/ g de muestra)} \text{ Ec.2}$$

3.4.4 Índice de solubilidad de agua (ISA)

El índice de solubilidad en agua (ISA) es el porcentaje de materia seca que se recupera después de que el sobrenadante se elimina a partir de la determinación de la absorción de agua. El sobrenadante se obtuvo en la determinación de IAA, el cual se secó en una estufa de convección a 100 °C durante 24 h y se pesó. El ISA es el peso de sólidos secos en el sobrenadante expresado como porcentaje (%) del peso original de la muestra en base seca. Para obtener el ISA se obtiene mediante la ecuación:

$$\text{ISA} = (\text{Peso del sobrenadante seco} / \text{peso de la muestra seca}) \times 100 \text{ Ec. 3}$$

3.5 Color

Se utilizó un colorímetro (Ultra Scan Vis Hunter Lab, Inc., Reston, VA, USA) (Figura 13) para determinar los valores de color de las materias primas y de los extrudidos en términos de L^* , a^* y b^* como medidas de la luminosidad, el enrojecimiento y el amarillamiento, respectivamente. La cabeza de medición se equipó a un diámetro 51 mm con un puerto de visualización y se utilizó el sistema de iluminación difusa con 10° de geometría de observación. La iluminante fue D65. El colorímetro fue calibrado con un blanco estándar ($L = 91,43$, $a = -0,74$; $b = -0,25$). Los productos extrudidos se molieron y se tamizaron usando una malla 35 antes del análisis de color.

3.6 Textura

La dureza de las muestras se midió con un Analizador de Textura TA-XT2i Plus Texture Analyzer (Texture Technologies Corp., Scarsdale UK) (Figura 14). La Dureza en newton (N) se determinó midiendo la fuerza máxima necesaria para

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

romper las muestras extrudidas (50 mm de largo) realizando 20 repeticiones. La velocidad de prueba fue de 2 mm/s, y la distancia de 22 mm.



Figura 13. Colorímetro Ultra Scan Vis Hunter Lab.

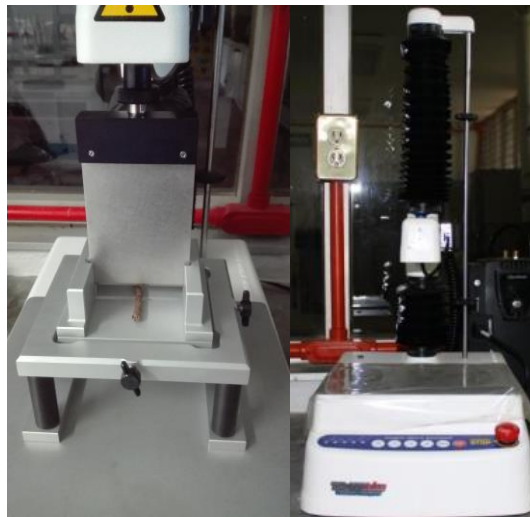


Figura 14. Texturometro TA. XT. Plus

3.7 Diseño experimental y análisis de datos

Se realizó un diseño central compuesto con cuatro variables independientes usando un paquete estadístico comercial (Desing-Expert 7.0, 'Copyright© Stat-ease, Inc.).

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Las variables independientes consideradas fueron la temperatura del dado de salida (X_1), contenido de humedad (X_2), proporción de residuos agroindustriales de piña (X_3) y concentración de stevia (X_4). Los tratamientos se extrudieron según el diseño experimental de la Tabla 2. Las variables de respuestas fueron los índices de expansión (IE), absorción de agua (IAA), solubilidad en agua (ISA), densidad aparente (DA), dureza y la Diferencia total de color (ΔE). Los resultados obtenidos fueron analizados por medio de regresión lineal múltiple con el paquete estadístico comercial (Statistica 8, StatSoft inc., Oklahoma, USA.). Los parámetros evaluados fueron el efecto de la temperatura, contenido de humedad y proporción de harina de residuos agroindustriales de piña/harina de plátano macho y concentración de stevia usando la siguiente ecuación.

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{22}X_2^2 + B_{33}X_3^2 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 \text{ Ec. 4}$$

La metodología de superficie de respuesta se aplicó a los datos experimentales usando el paquete estadístico comercial antes mencionado. Los datos experimentales se ajustaron a los modelos seleccionados y los coeficientes de regresión que se obtuvieron. La significancia estadística de los términos de la regresión se examinó mediante el análisis de varianza (ANDEVA), para cada respuesta.

Tabla 4. Diseño central compuesto para el proceso de extrusión de la mezcla de harina de residuos agroindustriales de piña (HRCPP)/ harina de plátano macho (HPM).

Factores	Código	Niveles				
		$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	X_1	120	135	150	165	180
Humedad (g/100g)	X_2	16	18.25	20.5	22.75	25
HRCPP/HPM (g/100g)	X_3	0/100	7.5/92.5	15/85	22.5/77.5	30/70
Stevia (g/100g)	X_4	0	1.25	2.5	3.75	5

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Tabla 5. Formulación del diseño central compuesto para el proceso de extrusión de harina de residuos agroindustriales de piña (HRCPP)/ harina de plátano macho (HPM).

Corrida	Temperatura (°C)	Humedad (g/100g)	HRCPP (g/100 g)	HPM (g/100 g)	Stevia (g/ 100 g)
1	135	18.25	7.5	91.25	1.25
2	165	18.25	7.5	91.25	1.25
3	135	22.75	7.5	91.25	1.25
4	165	22.75	7.5	91.25	1.25
5	135	18.25	22.5	76.25	1.25
6	165	18.25	22.5	76.25	1.25
7	135	22.75	22.5	76.25	1.25
8	165	22.75	22.5	76.25	1.25
9	135	18.25	7.5	88.75	3.75
10	165	18.25	7.5	88.75	3.75
11	135	22.75	7.5	88.75	3.75
12	165	22.75	7.5	88.75	3.75
13	135	18.25	22.5	73.75	3.75
14	165	18.25	22.5	73.75	3.75
15	135	22.75	22.5	73.75	3.75
16	165	22.75	22.5	73.75	3.75
17	120	20.5	15	82.5	2.5
18	180	20.5	15	82.5	2.5
19	150	16	15	82.5	2.5
20	150	25	15	82.5	2.5
21	150	20.5	0	97.5	2.5
22	150	20.5	30	67.5	2.5
23	150	20.5	15	85	0
24	150	20.5	15	80	5
25	150	20.5	15	82.5	2.5
26	150	20.5	15	82.5	2.5
27	150	20.5	15	82.5	2.5
28	150	20.5	15	82.5	2.5
29	150	20.5	15	82.5	2.5
30	150	20.5	15	82.5	2.5

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

3.8 Evaluación sensorial

Se realizó una prueba hedónica de perfil flash a los productos extrudidos con mayor índice de expansión, en donde se evaluó la apariencia visual, color, aroma, textura (crujibilidad), sabor y la aceptación general; utilizando una escala hedónica de siete puntos (1= me disgusta extremadamente, 7= me gusta extremadamente). Los extrudidos fueron cortados a 5 cm de longitud. Los puntajes numéricos para cada producto extrudido se analizaron mediante el análisis de varianza (ANDEVA).



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRIA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS



Sexo: _____ Edad: _____ Fecha: _____

Pruebe el producto que se presenta a continuación. Porfavor escriba el número del 1 al 7 de acuerdo a la escala hedonica.

1	2	3	4	5	6	7
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

Código	Aparencia visual	Color	Aroma	Textura (Crujibilidad)	Sabor	Aceptación general
T1	_____	_____	_____	_____	_____	_____
T2	_____	_____	_____	_____	_____	_____
T3	_____	_____	_____	_____	_____	_____
T4	_____	_____	_____	_____	_____	_____
T5	_____	_____	_____	_____	_____	_____
T6	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Observaciones:

¡Muchas gracias!

Figura 15. Formato de evaluación para los productos extrudidos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la **Figura 7** se presenta la cinética de secado de plátano macho, representada como el contenido de humedad en Kg H₂O/Kg de S.S. con respecto al tiempo a 60 °C. Se alcanzó el equilibrio a los 180 minutos de la cinética. Utilizar temperaturas mayores a los 65 °C afectaría el almidón presente en fruto ya que se gelatinizaría (Baudi, 2006).

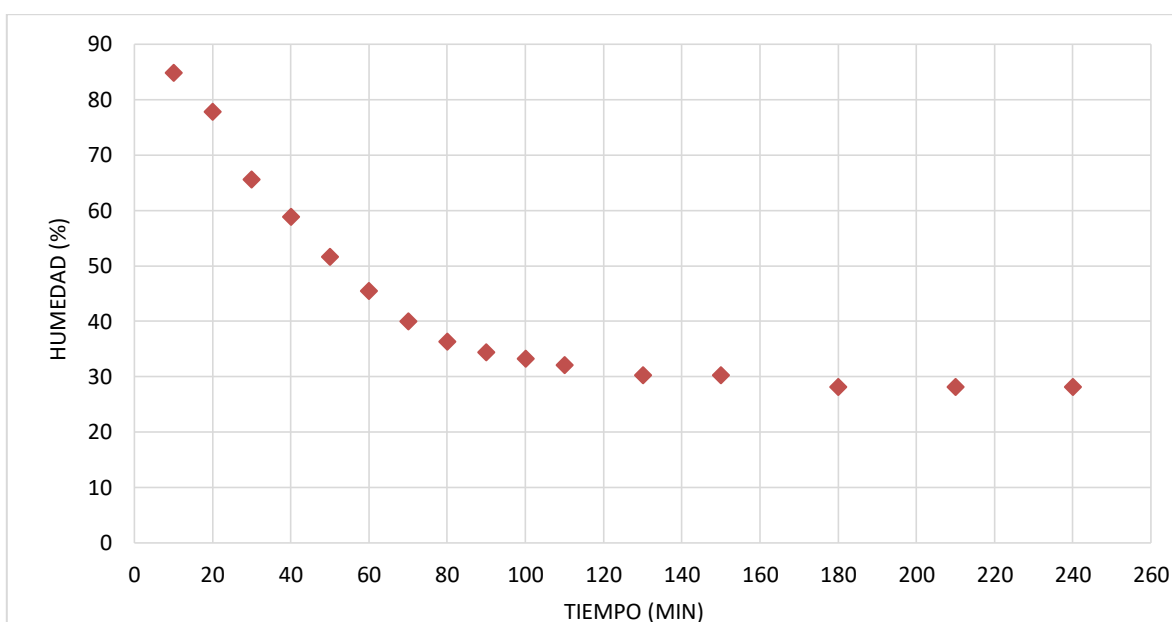


Figura 16. Cinética de secado de plátano macho a 60 °C.

4.1 Rendimiento de las harinas.

El rendimiento de residuo agroindustrial de piña y plátano macho para la obtención de la harina fue de 14.17g/1000 g y 46.97g/1000 g respectivamente. Cruz-Cabrera (2015) obtuvo 13.2g/1000g de harina de residuos de piña y Jiménez-Márquez (2012) obtuvo 23 g/1000g de harina de plátano macho.

4.2 Análisis Químico Proximal

Se realizó un análisis químico proximal para saber el contenido de componentes de las harinas de residuos agroindustriales de piña y plátano macho. Los resultados se

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

presentan en la **Tabla 6**, donde se puede observar que se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en todos los compuestos analizados. Las diferencias se deben principalmente a que son de fuentes diferentes. El componente de mayor proporción fue la humedad y los carbohidratos en HPM, resultados similares fueron reportados por Jiménez-Márquez (2012), quien reportó contenidos de humedad, cenizas, grasas, proteínas y carbohidratos de 2.54, 2.90, 0.21, 4.09 y 81.85 respectivamente. Sin embargo la diferencia entre los contenidos de humedad y proteínas se puede atribuir al método y tiempo de secado utilizado, así como la diferencia en las regiones de cultivo. Por otra parte en HRCPP los mayores componentes fueron la humedad, los carbohidratos y las proteínas. Umaña (2013) reportó datos similares a los obtenidos en esta investigación; humedad, cenizas, grasas, proteínas y carbohidratos de 5.85, 3.90, 0.29, 6.19 y 83.77% respectivamente.

Tabla 6. Composición química de las harinas de residuos agroindustriales de piña y plátano macho (%).

Determinación	HRCPP	HPM
Humedad	6.13 ± 0.20^a	11.07 ± 0.80^b
Cenizas	2.71 ± 0.01^a	2.14 ± 0.07^b
Grasas	1.09 ± 0.18^a	0.31 ± 0.09^b
Proteínas	9.15 ± 1.51^a	2.92 ± 1.19^b
Carbohidratos*	80.92 ± 0.01^a	83.56 ± 0.02^b

Los resultados representan el promedio de 3 determinaciones $\pm$ desviación estándar. Letras diferentes entre fila indican diferencia significativa ($p < 0.05$). Harina de residuos cáscara y pulpa de piña (HRCPP) y harina de plátano macho (HPM). *Los carbohidratos se calcularon por diferencia.

4.3 Color de las harinas

El color de las harinas se presenta en la **Tabla 7**, se puede observar que la harina de plátano macho tiene mayor luminosidad (L^*) que la harina de residuos agroindustriales de piña, esto se puede atribuir a que el utilizar ácido ascórbico como pre-tratamiento para el secado de las rodajas de plátano macho evita el oscurecimiento enzimático, así mismo durante el secado de los residuos agroindustriales se puede llevar a cabo reacciones de pirolisis por la temperatura/tiempo de secado y la degradación de pigmentos (Badui, 2006). El parámetro a^* que mide el color de rojo(+) a verde(-), en ambas harinas tienen

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

tonalidades rojizas, sin embargo presentan mayor coloración amarilla por un mayor valor en el parámetro b^* .

Tabla 7. Análisis de color de las harinas de residuos agroindustriales de piña y plátano macho.

Muestra	L^*	a^*	b^*	ΔE
HRCPP	74.67 ± 0.79	3.90 ± 0.26	19.54 ± 1.46	29.90 ± 0.00
HPM	64.95 ± 0.53	5.23 ± 0.24	18.97 ± 0.65	39.66 ± 0.00

Los resultados representan 3 determinaciones $\pm$ desviación estándar.

4.4 Efecto de las variables independientes sobre las variables de respuesta del proceso de extrusión

En la **Tabla 8**. Se muestra el efecto de las variables independientes en las propiedades fisicoquímicas del proceso de extrusión sobre las variables dependientes. Por otra parte en la **Tabla 9** se muestran los resultados de regresión de los extrudidos, en donde se puede observar que variables independientes ejercen un efecto sobre las variables de respuesta.

Tabla 8. Efecto de Temperatura, Humedad, concentración de HRCPP y stevia sobre las respuestas del proceso de extrusión.

Corrida	IE	DA ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	FMR (N)	ISA (%)	IAA ($\text{g}/100\text{ g}$)	ΔE
1	4.95	1.80	108.77	64.88	16.33	50.04
2	5.86	1.24	71.70	76.93	15.70	52.05
3	4.98	1.71	100.08	100.36	18.41	47.77
4	4.43	1.91	135.84	73.45	16.18	50.46
5	4.37	1.76	116.96	70.05	15.10	49.70
6	4.11	2.31	114.27	49.19	14.88	49.52
7	4.61	1.62	153.48	108.13	18.42	47.66
8	3.82	2.05	134.42	76.06	17.00	50.17
9	3.54	2.58	118.63	53.69	14.93	48.66
10	5.32	1.33	104.64	100.37	16.74	47.40
11	3.15	2.14	113.73	39.08	14.29	46.92
12	5.67	1.20	122.76	95.51	18.66	41.95
13	4.31	1.74	138.54	52.32	16.82	49.86
14	4.58	1.38	100.00	88.78	17.51	50.02
15	4.24	1.65	141.38	65.87	15.19	48.60

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

16	3.95	1.69	133.67	62.89	17.66	48.01
17	4.1	1.71	146.75	28.45	18.17	48.16
18	4.3	1.66	97.97	30.35	19.78	49.44
19	4.18	1.67	124.78	28.44	18.61	48.84
20	3.91	1.55	120.79	22.25	16.37	48.77
21	3.78	1.77	123.84	22.23	17.76	47.28
22	5.68	0.49	97.52	17.74	14.67	38.81
23	4.65	0.87	109.30	19.50	17.54	39.88
24	5.15	0.75	126.23	17.55	15.29	39.95
25	4.18	1.11	147.43	18.41	15.39	42.27
26	5.02	0.58	96.75	16.57	15.89	39.89
27	4.79	1.04	105.45	17.78	17.22	39.84
28	4.66	0.96	125.44	16.28	17.76	39.89
29	4.68	0.78	143.58	20.63	17.24	42.30
30	3.84	0.98	102.53	18.74	14.29	39.50

(Índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), fuerza máxima de ruptura (FMR), índice de solubilidad de agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA), diferencia total de color (ΔE).

Tabla 9. Coeficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para las determinaciones estudiadas, utilizando en los extrudidos HRCPP/HPM y stevia.

RESPUESTAS							
COEFICIENTES	INTERCEPTO	IE	DA	FMR	ISA	IAA	ΔE
		4.07	1.62	124.63	32.43	18.06	48.41
LINEAR	X_1	0.04	-0.43	-1.43	-23.15	-0.15	-7.85
	X_2	-0.30	0.12	5.71	-2.41	0.08	-0.30
	X_3	-0.32	0.13	10.82	-6.10	-0.31	1.98
	X_4	-0.20	0.11	8.16	-3.40	0.02	-0.48
CUADRATICO	X_1X_1	0.11	-0.09	-4.68	-0.77	-0.67	-2.44
	X_2X_2	0.07	0.00	-3.80	6.21	-0.62	-1.24
	X_3X_3	0.26	-0.07	1.56	7.26	-0.06	-1.88
	X_4X_4	0.12	-0.05	-0.92	8.11	-0.41	-0.17
INTERACCIONES	X_1X_2	-0.09	0.05	3.44	-3.03	0.04	1.77
	X_1X_3	0.12	-0.05	5.84	3.91	0.28	0.50
	X_1X_4	0.19	-0.12	-4.83	1.99	0.34	0.62
	X_2X_3	0.02	-0.00	-6.97	-6.62	-0.88	0.95
	X_2X_4	0.18	-0.06	-1.15	1.22	-0.15	0.08
	X_3X_4	0.07	-0.02	-7.74	0.63	0.30	0.03
R^2		0.78	0.63	0.68	0.70	0.67	0.90

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

X₁: Temperatura (°C), X₂: Contenido de humedad (g/100g), X₃: Harina de residuos agroindustriales (HRCPP) (g/100g), X₄: Stevia (g/100g). Los valores en negrita son los términos significativos del modelo de regresión ($P < 0.05$).

4.4.1 Efecto de temperatura, contenido de humedad, harina de residuos agroindustriales de pulpa de piña y stevia sobre el IE, DA, FMR, ISA, IAA y ΔE .

4.4.1.1 Índice de expansión (IE), densidad aparente (DA) y fuerza máxima de ruptura (FMR)

Los valores del IE de los productos extrudidos varían de 3.15 – 5.86 cm (**Tabla 8**), El modelo de regresión ajustado mostró un coeficiente de determinación de 0.78 (**Tabla 9**), el contenido de humedad (X₂), concentración de HRCPP (X₃) y stevia (X₄) presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en el término lineal, mientras que en su término cuadrático la concentración de HRCPP (X₃X₃) presento efecto significativo ($p < 0.05$) positivo. Esto indica que el incremento del contenido de humedad, la concentración de HRCPP y stevia disminuyen el IE. La **Figura 17 a**), se observa que al incrementar el contenido de humedad el IE disminuye, mientras que el aumento de la temperatura de extrusión favorece la expansión de las botanas. En la **Figura 17 b**), se observa que el aumento del contenido de stevia no incrementa el IE, pero al incremento de la concentración de HRCPP el IE disminuye, ya que el contenido de fibra tiene efecto directo sobre la expansión del extrudido, esto se debe a que la expansión es dependiente de la cantidad de fibra adicionada (Gómez-López 2013). El aumento de temperatura favorece la expansión de las botanas. Esto puede atribuirse a que la expansión se produce a temperaturas altas y bajos contenidos de humedad, provocando 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 y Kokini 2003). Este efecto del incremento del IE con el aumento de la temperatura y disminución del contenido de humedad, también ha sido reportado por otros autores (Falfán-Cortés *et al.*, 2014; Ruiz-Armenta *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2000).

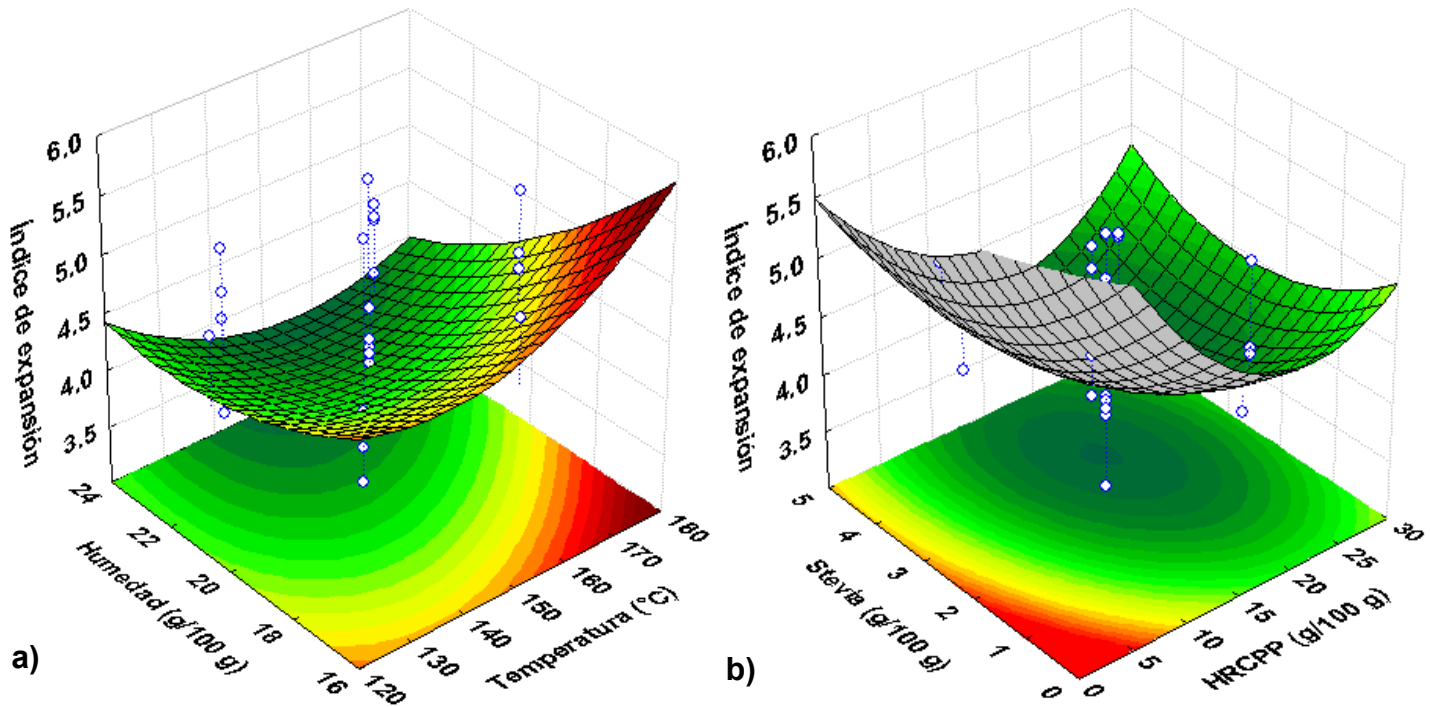


Figura 17. Índice de expansión en función de las variables: **a)** Temperatura (°C) y Humedad (g/100), **b)** HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).

Los valores de la DA presentan un intervalo de 0.49 – 2.58 (g cm⁻³) (**Tabla 8**), el modelo de regresión ajustado de la DA presentó un coeficiente de determinación de 0.63 (**Tabla 9**), el incremento de la temperatura presentó un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo lineal. En la **Figura 18 a)**, se observa que a bajas temperaturas se obtienen los mayores valores de DA, mientras que el aumento de la temperatura disminuye la DA, y la humedad presenta efecto significativo ($p < 0.05$) sobre esta respuesta. La **Figura 18 b)**, muestra que al aumentar la concentración de HRCPP y stevia la DA aumenta en los extrudidos. A elevados contenidos de humedad y bajas temperaturas se obtiene un incremento en la DA, este efecto del aumento 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 y las condiciones de procesamiento (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2014). La DA de las botanas es una medida indirecta del IE, dado que tiene una correlación negativa con la expansión (Charunch *et al.*, 2011).

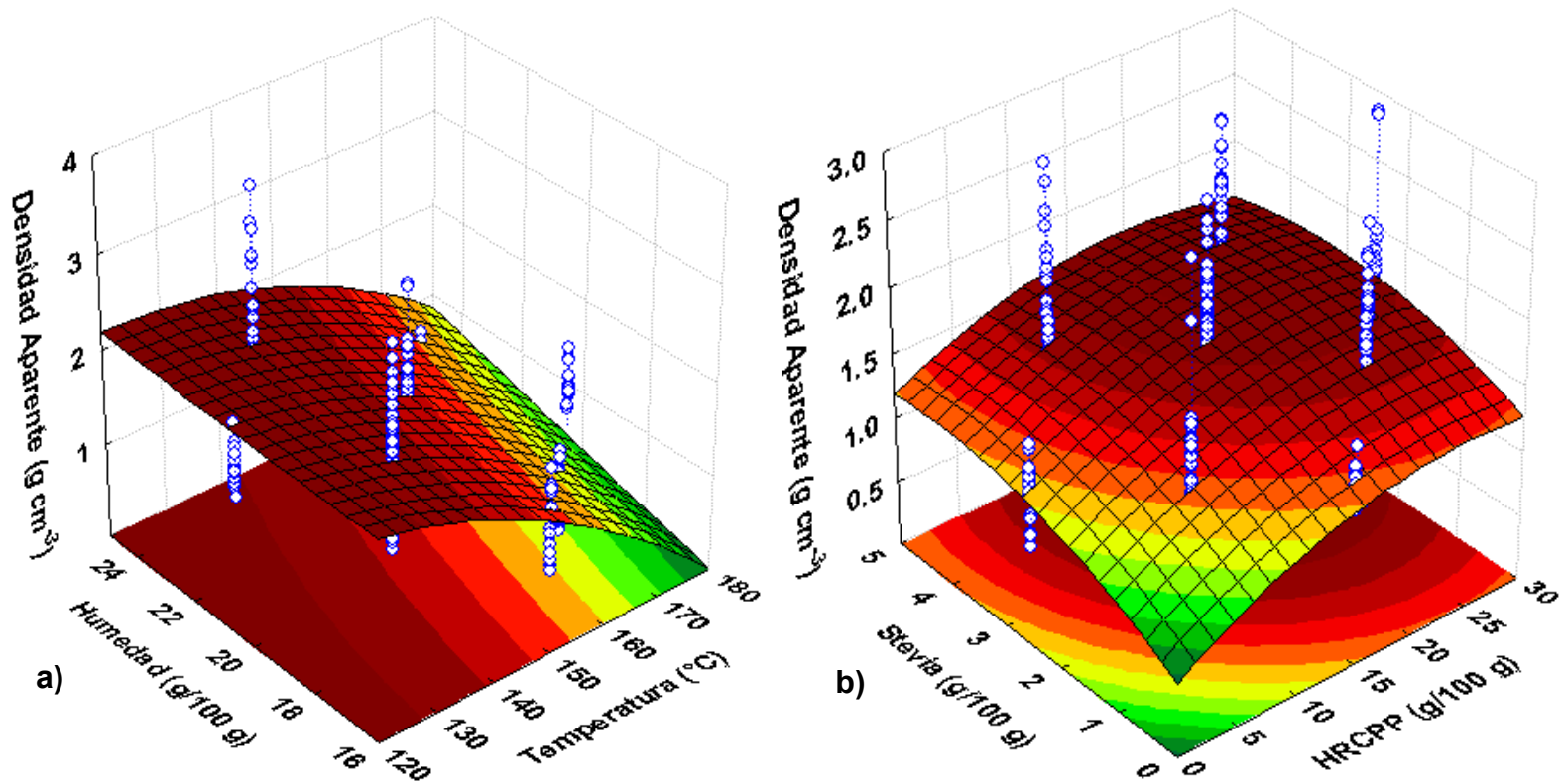


Figura 18. Densidad aparente en función de las variables: **a)** Temperatura (°C) y Humedad (g/100), **b)** HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).

Los valores de la FMR presentan un intervalo de 71.7 a 153.48 (N) (**Tabla 8**), el modelo de regresión ajustado de la FMR presentó un coeficiente de determinación de 0.68 (**Tabla 9**), el incremento de HRCPP y Stevia presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo lineal. La FMR de materiales extrudidos está asociada con la expansión, la densidad aparente y la estructura celular del producto. En la **Figura 19 a)** se observa que a mayores contenidos de humedad y temperatura se requiere de menor fuerza máxima de ruptura para los extrudidos, sin embargo el aumento de estos no presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre esta respuesta. La **Figura 19 b)** muestra que al aumentar las concentraciones de HRCPP y Stevia se necesita mayor fuerza máxima de ruptura además de presentar un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre esta respuesta. Es decir, el aumento de HRCPP aportando fibra a la mezcla diluyó la concentración de almidón contenida en HPM y la interacción entre estos componentes (fibra) y el almidón da como resultado productos menos

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

expandidos, más densos y que requirieron una mayor fuerza para romper a los extrudidos. Esto se debe a que la fibra puede romper la pared celular e impedir que las burbujas de aire se expandan a su capacidad máxima. Korkerd et al. (2016) y Ruiz-Armenta et al. (2018) sugieren que el aumento de fibra en formulaciones extrudidas se espera un aumento de la densidad aparente y la textura. Korkerd et al. (2016) sugieren agregar entre 10-30% como límites máximos de fibra en productos extrudidos

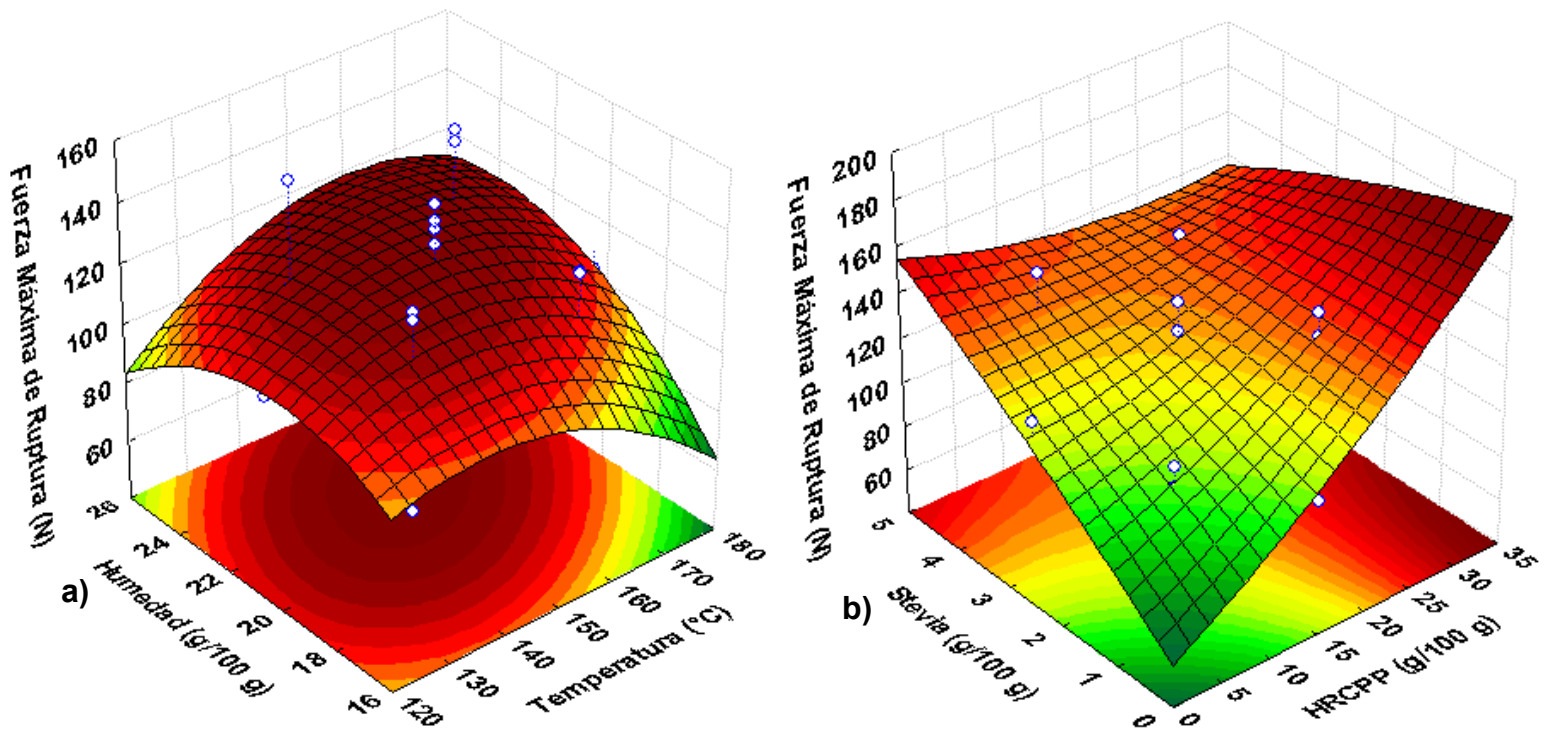


Figura 19. Fuerza máxima de ruptura en función de las variables: **a)** Temperatura (°C) y Humedad (g/100), **b)** HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).

4.4.1.2 Índice de solubilidad en agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA)

El índice de solubilidad en agua (ISA) mide la cantidad de componentes solubles liberados durante la extrusión (Kirby et al., 1988). A menudo se usa como un indicador de la degradación del almidón (dextrinización) (Ding, Ainsworth, Plunkett, Tucker y Marson, 2006), ya que este proceso conduce a la generación de moléculas más pequeñas y más solubles en agua. Además de los cambios en el almidón, el

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

ISA puede verse influido por cambios estructurales de otros componentes durante la extrusión, como proteínas, que sufren desnaturalización y la fibra que afectan su solubilidad. De acuerdo con Brennan et al. (2013) la solubilidad en agua de Fibra dietética puede aumentarse durante la extrusión. Sin embargo los valores de ISA presentan un intervalo de 16.28 a 108.13 % (**Tabla 8**), el modelo de regresión ajustado de ISA presentó un coeficiente de determinación de 0.70 (**Tabla 9**), el incremento de temperatura y HRCPP presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo lineal. En la **Figura 20 a)** se puede observar que el ISA aumenta a menor temperatura de extrusión, por otra parte en la **Figura 20 b)** la presencia de HRCPP provoca una mayor solubilización de los componentes conforme se disminuye la concentración de esta en las formulaciones que contienen las concentraciones más bajas de HRCPP y Stevia. La disminución de ISA con el aumento en el contenido de fibra también ha sido reportada por otros autores (Kumar et al., 2010; Alam et al., 2016; Sarawong et al., 2014). Hashimoto y Grossmann (2003) afirmaron que al aumentar el contenido de fibra disminuye el ISA a altas temperaturas. El ISA de las proteínas se reduce en la extrusión debido a la desnaturalización, los cambios estructurales y a la formación de complejos con otras macromoléculas como el almidón (Fernández-Gutiérrez et al., 2004). El aumento del contenido de humedad disminuyó el ISA debido a que una mayor cantidad de humedad durante el proceso de extrusión menor grado de gelatinización del almidón y probablemente actúa como un plastificante causado por la reducción de la degradación del almidón, también debido a la menor cizalladura, lo que disminuye el ISA (Hagenimana et al., 2006). El ISA está relacionado con la cantidad de moléculas solubles, es decir, es un indicador de la degradación de compuestos moleculares y mide el grado de conversión de almidón en la extrusión (Kaur et al. 2014). La degradación del almidón durante la cocción por extrusión disminuye el ISA.

El índice de absorción de agua (IAA) mide la cantidad de agua absorbida por el almidón y puede usarse como un índice de gelatinización (Anderson et al., 1969). Los valores de IAA presentan un intervalo de 14.29 a 19.78 (g H₂O/g muestra) (**Tabla 8**), el modelo de regresión ajustado de IAA presento un coeficiente de

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

determinación de 0.67 (**Tabla 9**), el incremento de temperatura y humedad presenta un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en su expresión cuadrática. Se ha informado que el índice de absorción de agua está influido por factores como la temperatura y la humedad (Selani *et al.* 2014). En la figura **21 a**) se puede observar que los mayores IAA fueron de aquellos que tenían una temperatura de extrusión de 140 a 165 °C y humedad de 20 a 22.75 g/100 g, por otra parte en la figura **21 b**) se puede observar que a menores concentraciones de HRCPP y Stevia se obtienen mayores IAA, esto se atribuye a que las formulaciones que tengan mayor HP serán las que permitan mayor IAA por la presencia de almidón. Los gránulos de almidón después de alcanzar un máximo grado de hinchamiento sufren un daño estructural, disminuyendo el IAA a bajos contenidos de humedad y aumentando la temperatura de extrusión. Esto es probablemente debido a la dextrinización o fusión de almidón que prevalece sobre el fenómeno de gelatinización (Sarawong *et al.*, 2014). Por otra parte Altan *et al.* (2008) informa una disminución del IAA debido a la competencia de la absorción de agua entre la pulpa de piña y el almidón disponible.

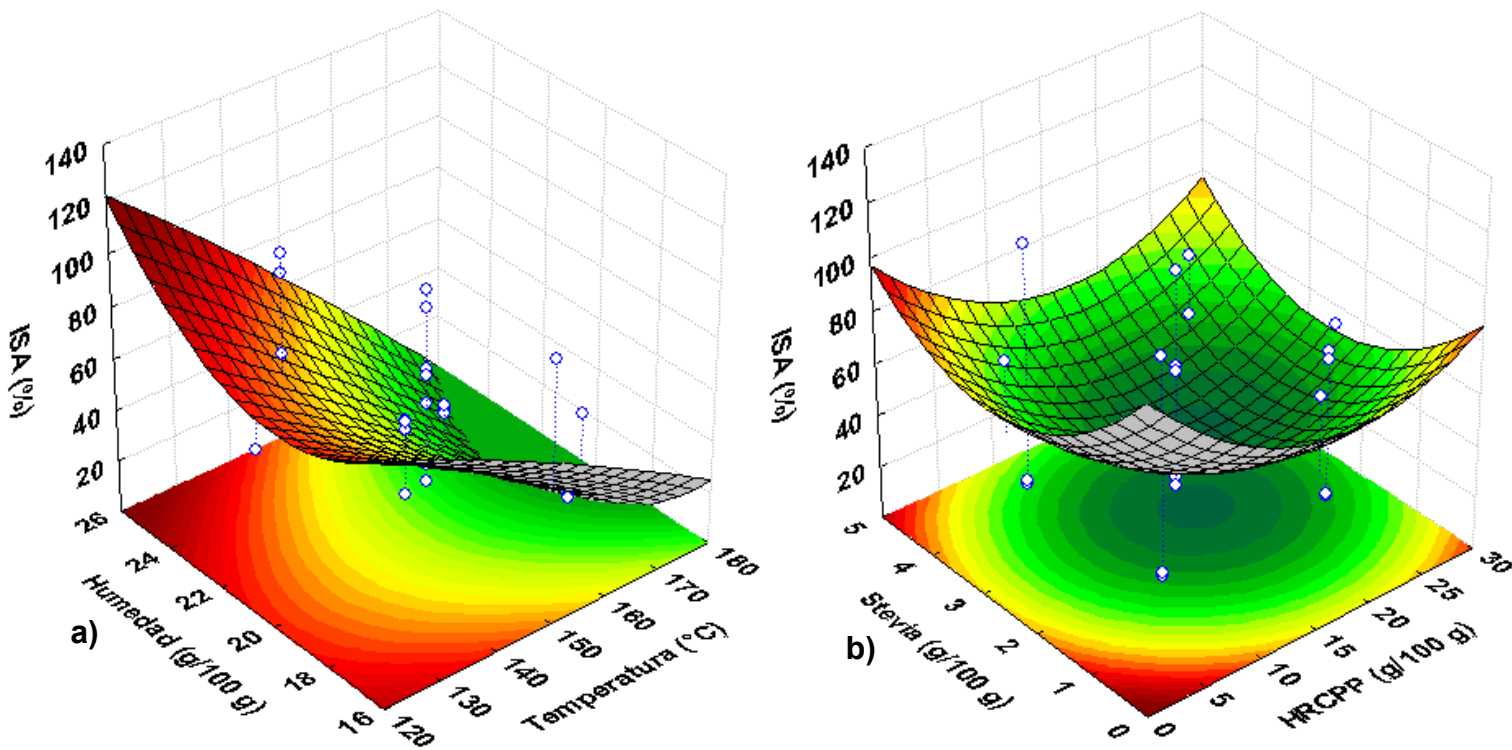


Figura 20. Índice de solubilidad de agua en función de las variables: **a)** Temperatura (°C) y Humedad (g/100), **b)** HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).

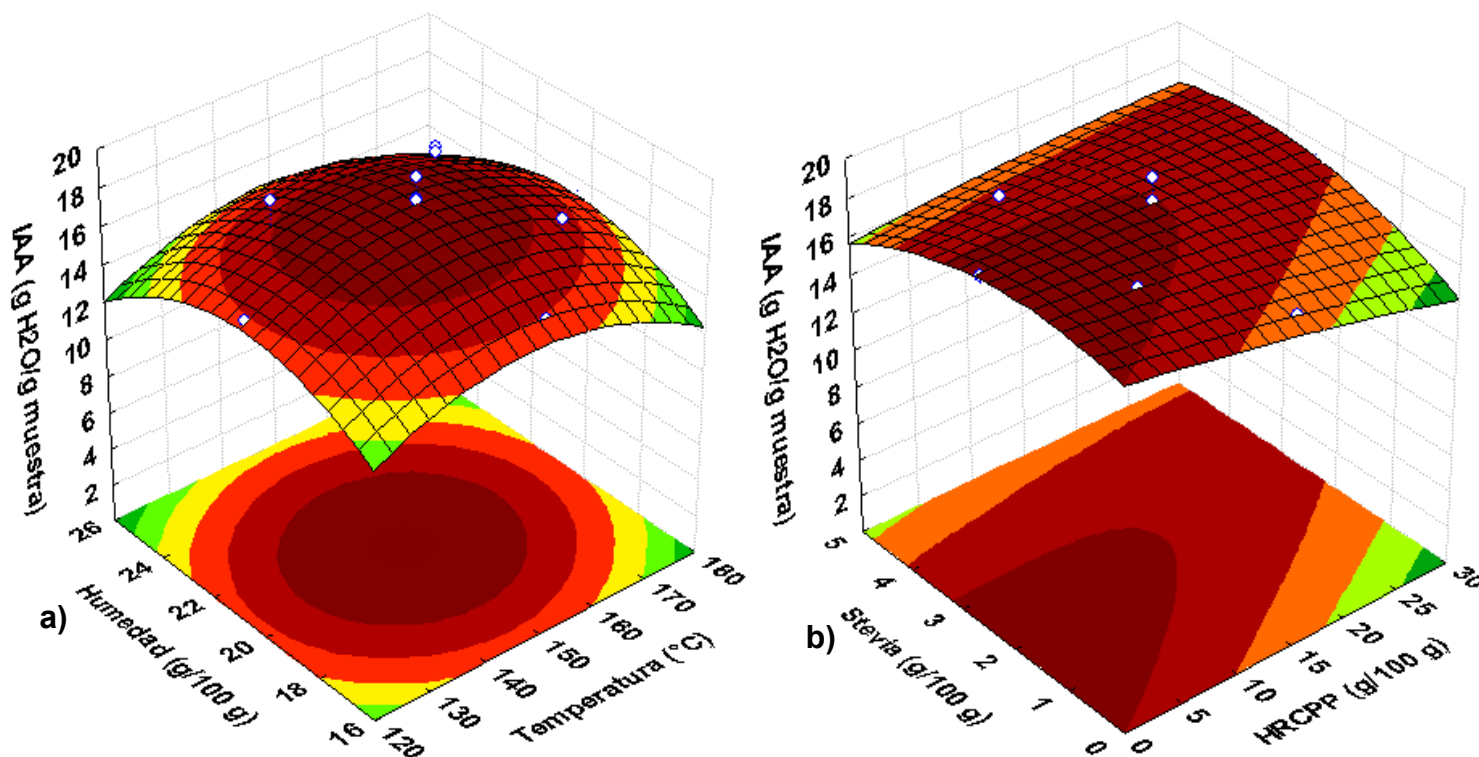


Figura 21. Índice de absorción de agua en función de las variables: **a)** Temperatura (°C) y Humedad (g/100), **b)** HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).

4.4.1.3 Color

El color es importante porque es el primer atributo percibido por los consumidores y determina la aceptación o el rechazo de un producto (Rampersad *et al.*, 2003). Las ecuaciones de regresión múltiple de la diferencia total de color (ΔE) en función de la temperatura de extrusión (X_1), humedad (X_2), HRCPP (X_3) y Stevia (X_4) resultó con intervalos de 38.81 a 52.05 (**Tabla 8**), el modelo de regresión ajustado de ΔE presento un coeficiente de determinación de 0.90 (**Tabla 9**), el incremento de temperatura presentó un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en su expresión lineal, sin embargo la HRCPP agregó un efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en su expresión lineal. En la **Figura 22 a)**, se puede observar que el aumento de ΔE se debe a la humedad y temperaturas de extrusión de 120 a 160 °C, este se puede atribuir a las reacciones redox entre azúcares y proteínas (aminoácidos) en alimentos que a altas temperaturas pueden promover el pardeamiento no

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

enzimático (Reacción de Maillard), que da como resultado el oscurecimiento del producto final (Nayak *et al.*, 2011). Por lo tanto, el aumento observado en los valores de ΔE puede atribuirse a la reacción de Maillard como resultado del proceso de extrusión y que consiste en aquellas formulaciones que contenían las mayores concentraciones de HRCPP y stevia. En la Figura 22 b) se puede observar que el incremento de la concentración de HRCPP aumenta la ΔE por las reacciones de Maillard como se había mencionado anteriormente, sin embargo las concentraciones de Stevia no incrementan la ΔE , esto se debe a que la Stevia posee estabilidad térmica y puede ser expuesta a altas temperaturas en largos periodos de tiempo, sin perder sus propiedades (Lee, 1979).

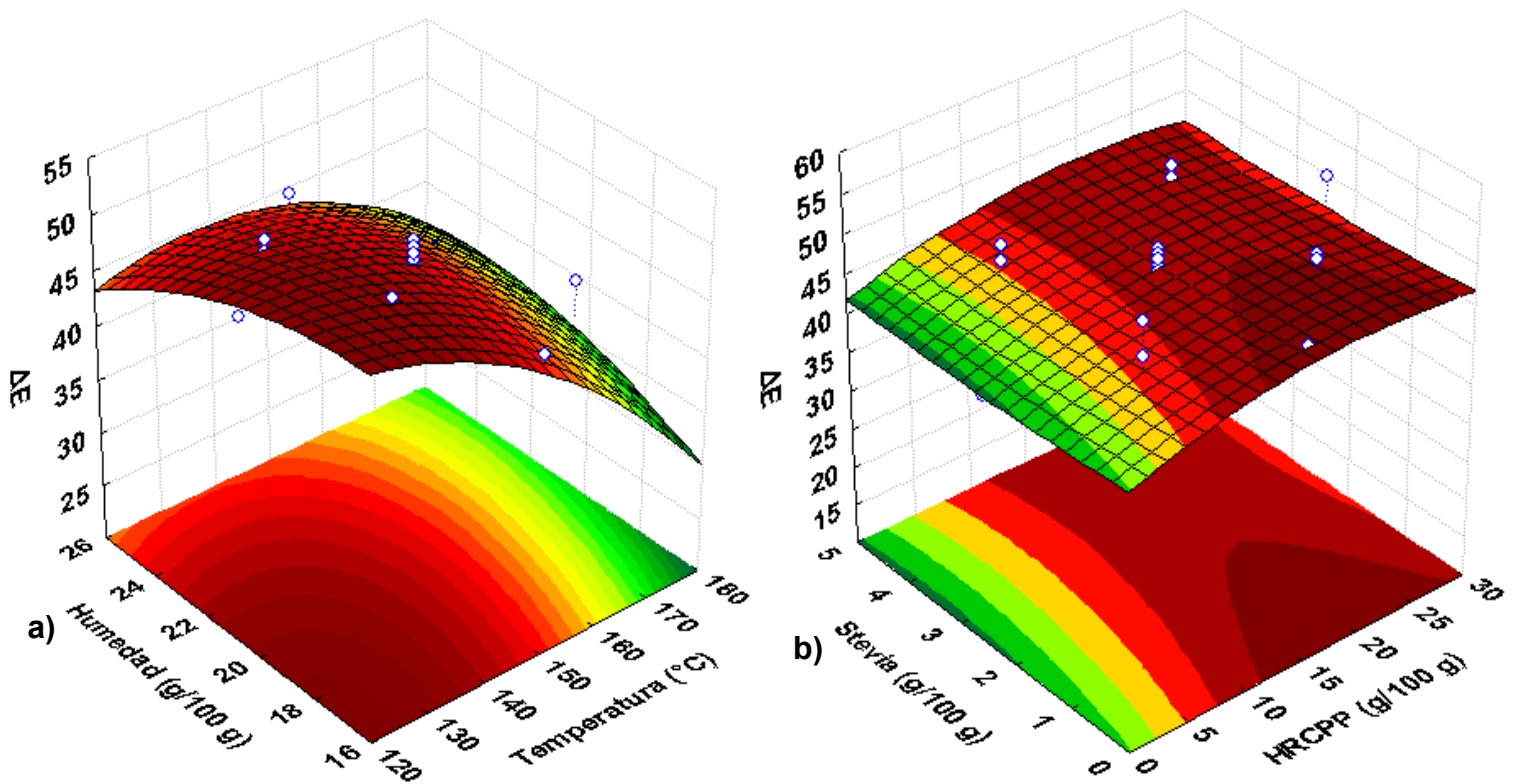


Figura 22. Diferencia total de color en función de las variables: **a)** Temperatura (°C) y Humedad (g/100), **b)** HRCPP (g/100 g) y Stevia (g/100 g).

4.4.1.4 Evaluación sensorial

El análisis sensorial de los alimentos es especialmente importante ya que proporciona información sobre las actitudes de los consumidores hacia un nuevo producto. El análisis de los extrudidos por nuestro panel sensorial demostró que los productos que tenían mejor calificación de las características evaluadas fueron C2 y C10 (Figura 14). Esto se debe a las características de procesamiento de estas dos formulaciones que consistían en temperatura de extrusión de 165 °C, humedad 18.25 g/100 g, HRCPP 7.5 g/100 g, Stevia 1.25 y 3.75 g/100 g y HPM 91.25 y 88.75 g/100 g respectivamente. Sin embargo C10 fue el que obtuvo la mayor calificación en cuanto a la aceptación general, sabor y crujibilidad. Los panelistas comentaron que les gustaría comer las formulaciones presentadas con chile y limón, así como otros comentaron que les gustaría probarlas como cereal para desayuno. Se ha informado por autores anteriores que los atributos de color y textura no solo son utilizados por el consumidor como un indicador de aceptación de alimentos, sino también como un indicador de la calidad de los alimentos (Lawless y Heymann, 1998). Roudaut et al. (2002) informaron que la aceptabilidad de los productos extrudidos depende siempre de la textura de los alimentos (dureza y crujibilidad), que se destaca como el parámetro más importante en los productos de extrudidos.

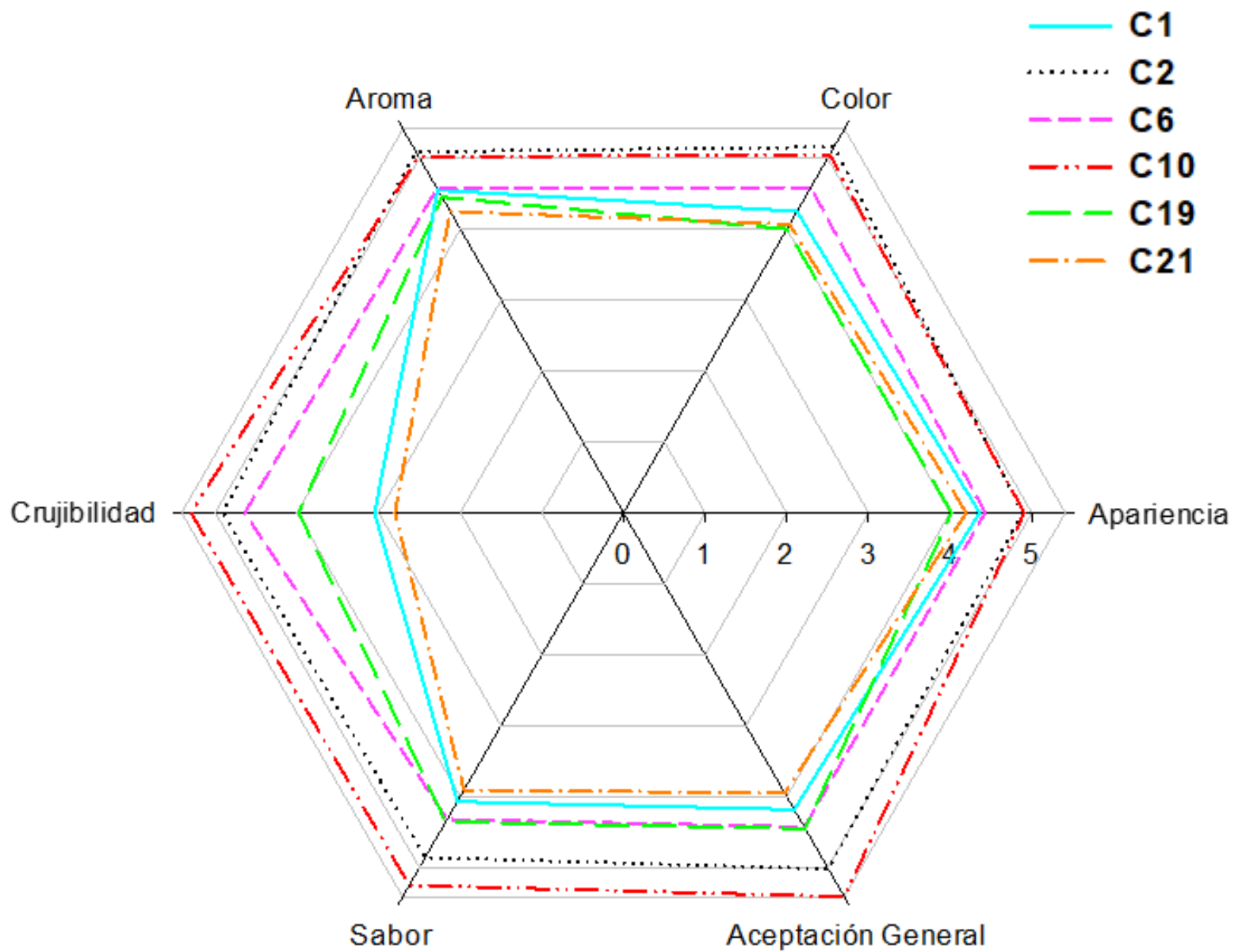


Figura 23. Parámetros sensoriales de los extrudidos evaluados.

V. Conclusiones

V. CONCLUSIONES

- Se obtuvo un rendimiento del 14.17 % para la harina de residuos de cáscara y pulpa de piña y de 46.97 % para la harina de plátano macho.
- De acuerdo con el AQP ambas harinas presentaron alto contenido de carbohidratos, que sugiere alto contenido de fibra y almidón para HRCPP y HPM respectivamente.
- De acuerdo con el análisis de regresión múltiple la temperatura presentó un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo sobre DA, ISA Y ΔE . La humedad tiene un efecto significativo ($p < 0.05$) negativo para IE y positivo para DA. Las concentraciones de HRCPP utilizadas ejercieron efectos significativos negativos para IE e ISA y positivos para DA, FMR y ΔE . Por último la Stevia presentó un efecto significativo negativo para IE y positivo para DA y FMR.
- Los resultados indican que IE e ISA disminuyen significativamente por el uso de mayores proporciones de HRCPP.
- Se obtuvieron seis formulaciones con los mayores IE con intervalos de 5.02 a 5.86 mm.
- De acuerdo con el análisis sensorial realizado el extrudido con mejores puntuaciones fue el C10 que correspondía a Temperatura de extrusión de 165 °C, Humedad 18.25 g/100 g, HRCPP 7.5 g/100 g, Stevia 3.75 g/100 g y HPM 88.75 g/100 g.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se logró obtener una botana con características fisicoquímicas de acuerdo a lo establecido con buena aceptación general por los consumidores y que tiene alto contenido en fibra.

VI. REFERENCIAS

VI. Referencias

Aceves-Navarro, L.A., Juárez-López, J.F. Palma-López, D.J., López-López, R. Rivera-Hernández, B., Rincón-Ramírez, J.A., Morales-Colorado, A.R. y Hernández-Alvarado, R. 2008. Estudio para determinar zonas de alta potencialidad del cultivo de plátano macho (*Musa paradisiaca*) en el estado de Tabasco.

Alam, S. A., Järvinen, J., Kokkonen, H., Jurvelin, J., Poutanen, K., & Sozer, N. 2016. Factors affecting structural properties and in vitro starch digestibility of extruded starchy foams containing bran. *Journal of Cereal Science*, 71, 190-197.

Altan A, McCarthy KL, Maskan M 2008. Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *J Food Eng* 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, 4–9.

Anton S.D., Martin C.K., Hongmei H.M.S., Coulon S., William B.A., Cefalu M.D., Geiselman P. & Willianson D.A. 2010. Effects of stevia aspartame, and sucrose on food intake, safiety, and postprandial glucose and insulin levels. *Appetite* pp 55: 37 43.

Badui D. S. 2006. Química de los alimentos. Cuarta edición. Ed. Pearson Educación México. P.p 226-230.

Bartolomé, A. P., Rupérez, P., & Fúster, C. 1995. Pineapple fruit: morphological characteristics, chemical composition and sensory analysis of Red Spanish and Smooth Cayenne cultivars. *Food Chemistry*, 53(1), 75-79.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Bello, P. L. A. Sanchez, H. L. Moreno, D. E. y Agama, A. E. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. P: 19-22.

Bello, P. L. A., Agama, A. E., Islas, H. J., Pacheco, V. G. & Osorio, D. P. 2012. "Starch digestibility and glycemic index of cookies partially substituted with unripe banana flour". *LWT-Food Science and Technology* pp 46: 177 – 182.

Bouzaza, D.; Arhaliass, A and Bouvier, J. M. (1996). "Die design and dough expansion in low moisture extrusion cooking process". *Journal of Food Engineering*, 29(2): 139-152.

Brahmachari G. Landal, C. M., Roy, R., Mondal, S. & Brahmachari A.K. 2011. Stevioside and related compounds-Molecules of pharmaceutical promise. A critical Overview *Arch. Pharm. Chem. Life Sci* 1:5 19.

Brennan, A. M., Derbyshire, E., Tiwari, B. K., & Brennan, C. S. 2013. Ready to eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science & Technology*, 48, 893–902.

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.

Chávez-Martínez, M., Hermanadas M. & Roldan, A. 1992. Tablas de uso práctico del valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. Comisión Nacional de Alimentos del Instituto Nacional de Nutrición.

Dacome A., Da Silva C., Da Costa C., Fontana J., Adelman J. & Da Costa S. 2005. Sweet diterpenic glycosides balance of a new cultivar of *Stevia rebaudiana* (Bert.)

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Bertoni. Isolation and quantitative distribution by chromatographic, spectroscopic and electrophoretic methods. *Process Biochemistry*. 40. pp 3587-3594.

Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73, 142–148.

Dos Santos Fernandez, M.; Wang, S; Ascheri, M.F, Costa, S.A.J. (2002). "Productos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos". *Pesqagropecbras Brasilia* 37(10):1495-1501.

Ells, S., Preston, C., Hertzog, C., Heckel, F., Richling, E., & Schreier, P. (2005). Aroma profiles of pineapple fruit (*Ananas comosus* L. Merr.) and pineapple products. *LWT-Food Science and Technology*, 38(3), 263-274.

Escobar, M. (1982). Identificación y caracterización de 16 clones de plátano en Tabasco. Ed. Universidad Autónoma de Chapingo. P: 299-311.

Faisant N., Gallart D., Bouchet B. & Champ M. 1995. "Banana breakdown in the human small intestine studied by electron microscopy. *European Journal of Clinical Nutrition* pp 49: 98 – 104.

Falfán-Cortés, R. N., Verdalet-Guzmán, I., & 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.

Fernandez-Gutierrez, J. A., Martin-Martinez, E. S., Martinez-Bustos, F., & Cruz-Orea, A. 2004. Physicochemical properties of casein-starch interaction obtained by extrusion process. *Starch/Starke*, 56(5), 190– 198. doi:10.1002/star.200300211

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Galvan L., Guzma J., Jarma A., Combatt E. 2003. Determinación de los requerimientos nutricionales de Stevia rebaudiana en el Medio Sinú En: Memorias XXXIII Congreso Anual de Comalfi. Monteria, Colombia.

Gómez-López P. 2013. "Obtención de productos directamente expandidos por extrusión y botanas de 3° generación a base de chía y almidón de maíz resistente AR4". **Tesis Maestría**. Universidad Veracruzana.

González, R.J.; Torres, R.L.; Añón, M.C. (2000). "Comparison of rice and corn cooking characteristic before and after extrusion". *Polish Journal of Food and Nutrition Science*.9(50), 1: 29-54.

González, R.J.; Torres, R. L.; De Greef, D.M. (2002). "Extrusión-Cocción de Cereales". *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.

Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43, 38–46.

Happi Emaga, T. Andrianavio, R.H., Wathelet, B., Tchango, J. y Paquot, M., 2007. Effect of the stage of maturation and varieties on the chemical composition of banana and plantain peels. *Food Chem*.103: 590-600.

Hashimoto, J.M. & Grossmann, M.V.E. 2003. Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. *International Journal of Food Science & Technology*, 38, 511–517.

Hauk, W.B.; Huber, R.G. 1989. "Single Screw vs Twin Screw Extrusion" *Cereal Foods world*, 34(11):930-939.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Harper, M. J. 1981. *Extrusion of Foods*, Volume I, CRC, Press Inc, Boca Raton Florida, USA.

Jarrna A., Rengifo T, Aramendiz H. 2005. Aspectos fisiológicos de estevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) en el Caribe colombiano. El efecto de la radiación incidente sobre el área foliar y la distribución de biomasa. *Agronomía Colombiana*. 23(2), 207-216.

Kaur A., Kaur S., Singh M., Singh N., Shevkani K. & Singh B. 2014. Effect of banana flour, screw speed and temperature of extrusion behaviour of corn extrudates. *J Food Sci Technol*. Doi: 10.1007/s13197-014-1524-2.

Kokini, J.L.; Chang, C.N.; Lai, L.S. (1992). "The role of rheological properties on extrudate expansion". En: *Food Extrusion Science and Technology*. Ed

Kokini.J, Ho Ch.T. Karwe.M: Marcel Dekker; NY. p: 631-652.

Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., Uttapap, D., & Rungsardthong, V. (2016). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of food science and technology*, 53(1), 561-570.

Kirby, A. R., Ollett, A. L., Parker, R., & Smith, A. C. (1988). An experimental study of screw configuration effects in the twin-screw extrusion cooking of maize grits. *Journal of Food Engineering*, 8, 247–272

Kritchevsky D. Dietary fiber. *Annu Rev Nutr* 1988; 8: 301 - 328.

James L. White "Twin Screw Extrusion Technology and Principles", Hanser, Munich, 1991.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Lawless, H. T., & Heymann, H. (1998). *Sensory evaluation of food: principles and practices*. New York: Chapman and Hall.

Lee, S. J.; Lee, K. R.; Park, J. R.; Kim, K. S.; Tchai, B. S. 1979. A Study on the safety of stevioside as a new sweetening source. *Korean Journal of Food Science and Technology* 11, 224-231.

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

Madan S., Sayyed A., Singh G. N., Kanchan K., Kumar Y., Singh R. & Gorg, M. 2010. *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni. A Review. *Indian Journal of Natural Products and Resources*. 1(3).267 286.

Midmore D., Rank A. 2002. A new rural industry stevia to replace imported chemical sweeteners. RIRDC web publication No.Wo2/0022. 55 p.

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.

Nayak, B., Berrios, J.J., Powers, J.R. and 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, C874-C883.

Núñez Santiago, M.C., González Soto, R.A., Bello Pérez, L.A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55, pp. 86-90.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Rampersad, R., Badrie, N. & Comissiong, E. 2003. Physico-chemical and sensory characteristics of flavored snacks from extruded cassava/pigeonpea flour. *Journal of Food Science* 68, 363- 367.

Rauwendal C., "Understanding Extrusion", Hanser Publishers, Munich, 1998.

Roudaut, G., Dacremont, C., Pamies, B. V., Colas, B., & Le Meste, M. (2002). Crispiness: A critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science and Technology*, 13, 217–227.

Rodríguez-Miranda, J., Ramírez-Wong, B., Vivar-Vera, M. A., Solís-Soto, A., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Medrano-Roldan, H., & Delgado-Licon, E. (2014b). Efecto de la concentración de harina de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), contenido de humedad y temperatura de extrusión sobre las propiedades funcionales de alimentos acuócolos. *Revista mexicana de ingeniería química*, 13(3), 649-663.

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.

Sajilata, M.; Singhal, S.; Pushpa; K. 2006. Resistant Starch. A Review. Comprehensive. *Reviews in Food Science and Food Safety* 5, 1-17.

Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., & Ng, P. K. 2014. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food chemistry*, 143, 33-39.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

Selani, M. M., Brazaca, S. G. C., dos Santos Dias, C. T., Ratnayake, W. S., Flores, R. A., & Bianchini, A. (2014). Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*, 163, 23-30.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera -Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. México. (SIAP-SAGARPA) 2014. www.siap.gob.mx/.

Tobin, G y Muller, H.G. 1988. *Nutrición y ciencia de los alimentos*, Primera edición. Editorial Acriba, S.A. p171-173.

Tribelhorn, E. R. and Harper, M. J. 1980. "Exruder-Cooker Equipment", *Cereal Foods World*, 25(4):154-156.

Tribess, T. B., Hernández-Urbe, J. P., Mendez-Montealvo, M. G. C., Menezes, E. W., Bello-Perez, L. A., & Tadini, C. C. (2009). Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 1022–1025.

Vieda, P. J. A. 2005. *Manual cultivo de stevia*. Garzón Huila Colombia. Ber. Impresores Garzón Edición. 84 p

Zhang, M., Bai, X., & Zhang, Z. 2011. Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran. *Journal of Cereal Science*, 54, 98–103.

Zúñiga-García V. 2008. "La tecnología del proceso de extrusión para la elaboración de alimentos". **Tesis Licenciatura**. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.