



S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO
de Tuxtepec**

**"OBTENCIÓN DE UNA BOTANA EXTRUDIDA A BASE
DE MAÍZ (*Zea mays* L.) ADICIONADA CON HARINA
DE CHAPULÍN (*Sphenarium purpurascens* Ch.)"**

TESIS

Para Obtener el título de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

PRESENTA

I.A. RUBÍ CUJ LAINES

DIRECTOR:

DR. JESUS RODRÍGUEZ MIRANDA

CO-DIRECTORA:

M.C. ERNESTINA PAZ GAMBOA



MCA-2017/05

TUXTEPEC, OAXACA, MARZO 2017

COMITÉ TUTORIAL

DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA

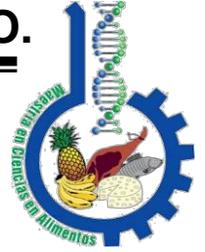
M.C. ERNESTINA PAZ GAMBOA

DR. MARÍA DE LOS ANGELES VIVAR VERA

DR. ERASMO HERMAN Y LARA



S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO.



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

**“OBTENCIÓN DE UNA BOTANA EXTRUDIDA A
BASE DE MAÍZ (*Zea mays* L.) ADICIONADA CON
HARINA DE CHAPULÍN (*Sphenarium
purpurascens* CH.)”**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
ALIMENTOS**

PRESENTA:

I.A. RUBÍ CUJ LAINES

DIRECTOR:

DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA

CO-DIRECTOR:

M.C. ERNESTINA PAZ GAMBOA

TUXTEPEC, OAXACA

MARZO DEL 2017

"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
División de Estudios Profesionales

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

SUBDIRECCION ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
EXPEDIENTE: DEP-ñ/17
Tuxtepec, Oaxaca, **9/MARZO/2017**
OFICIO: No. 1176

I.A. RUBÍ CUJ LAINES
EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS
CON NÚMERO DE CONTROL M15350002
PRESENTE.

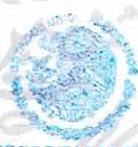
POR MEDIO DE LA PRESENTE ME PERMITO COMUNICARLE QUE LA COMISIÓN REVISORA INTEGRADA POR LOS C.C. **DR. JESÚS RODRÍGUEZ MIRANDA, M.C. ERNESTINA PAZ GAMBOA, Dra. MARIA DE LOS ÁNGELES VIVAR VERA Y DR. ERASMO HERMAN Y LARA** REVISÓ Y APROBÓ EN SU TOTALIDAD EL TRABAJO PROFESIONAL DENOMINADO "**OBTENCIÓN DE UNA BOTANA EXTRUDIDA A BASE DE MAÍZ (*Zea mays L.*) ADICIONADA CON HARINA DE CHAPULÍN (*Sphenarium purpurascens Ch.*)**" PRESENTADO POR USTED COMO PRODUCTO DE TESIS DEL LINEAMIENTO DE TITULACIÓN CORRESPONDIENTE, PARA OBTENER EL TÍTULO 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
"CIENCIA Y TÉCNICA PRESENTES AL FUTURO"


M.E. JULIAN KURI MAR
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

C.c.p.-Coord. de titulación
JKM/has


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



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



REGISTRO SGC
Código: ITTUX-AC-PO-008-09
Revisión: 1
Fecha de Autorización: 19/Junio/2014

“Obtención de una botana extrudida a base de maíz (*Zea mays* L.) adicionada con harina de chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.)”

Por:
I.A. Rubí Cuj Laines

Tesis propuesta al
Instituto Tecnológico de Tuxtepec

Como requerimiento parcial para obtener el grado de
Maestro en Ciencias en Alimentos

Marzo del 2017

Dedicatorias

Con todo mi amor y cariño:

A dios

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mis padres: Guadalupe Laines Hernández y Alfredo Cuj Pérez

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me han infundado siempre, pero más que nada, por su amor.

A Luciano Cuj May

A ti que aunque no estás conmigo físicamente, sé que desde el cielo me cuidas siempre. A ti que eres una de mis grandes inspiraciones para salir adelante ¡Gracias!

A mis hermanos: Beatriz Cuj Laines y Alexis Antonio Cuj Laines

Por estar conmigo y apoyarme siempre, gracias por la confianza que siempre nos hemos tenido, los amo.

A mis sobrinas Gretel Guadalupe Grajeda Cuj y Kimberly E. Lastra Cuj

Por ser una de mis mayores inspiraciones para seguir adelante. Las amo bebés.

A mi novio: Elvis Antonio Collado Paz

Por tu amor y cariño, por haberme tenido la paciencia necesaria y las palabras adecuadas que me reconfortaban y animaban a seguir adelante.

A mis amigos

Por brindarme su cariño y estar conmigo en las buenas y en las malas aunque sea en la distancia.

A mis maestros

Gracias por su tiempo, por su apoyo así como por la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional y por la fe depositada en mí.

De Corazón, ¡Muchas Gracias!

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Jesús Rodríguez Miranda** por haberme permitido formar parte de su equipo de trabajo, por el apoyo incondicional, por sus consejos, por compartir sus conocimientos para hacerme crecer profesionalmente, por la disponibilidad en la revisión de esta tesis, y por la confianza que depositó en mí en todo momento.

A la **M.C. Ernestina Paz Gamboa, a la Dra. María de los Ángeles Vivar Vera y al Dr. Erasmo Herman Lara**, gracias por el apoyo y asesoría en la realización de esta investigación.

A mis **maestros de la Maestría en Ciencias en Alimentos** por sus enseñanzas, las cuales fueron la base para la realización de este trabajo de investigación.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca con registro número 291030 y CVU 665763 otorgada para la realización de los estudios de la Maestría en ciencias en Alimentos.

Al **Dr. Hiram Medrano Roldan Jefe del Laboratorio de Biotecnología de Minerales del Instituto Tecnológico de Durango, Dgo.**, por brindarme la oportunidad de realizar una estancia académica en su institución.

Al **Instituto Tecnológico de Tuxtepec y 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.

RESUMEN

Cuj Laines, Rubí. Maestría en Ciencias en Alimentos. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Febrero, 2017. **Obtención de una botana extrudida a base de maíz (*Zea mays* L.) adicionada con harina de chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.)**. Director: Dr. Jesús Rodríguez Miranda y Co - Director: M. C. Ernestina Paz Gamboa.

La extrusión es un proceso de cocción que ha demostrado potencial para el desarrollo de nuevos productos como son las botanas, logrando la transformación de proteínas y almidones en corto tiempo (Jing y Chi, 2013). El principal componente de las botanas es el maíz, éste es un alimento con alto contenido de almidones pero deficiente en ciertos aminoácidos esenciales (Morales *et al.*, 2008); el chapulín representa un recurso alimentario y una fuente de ingresos por sus ventas en mercados, pero solo como un platillo típico pues no tiene un valor agregado, siendo éste un alimento rico en proteínas (75%) (Ramos - Elorduy *et al.*, 2012). El objetivo de esta investigación fue obtener una botana extrudida a base de maíz (*Zea mays* L.) con harina de chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.). Se realizó una caracterización morfológica al chapulín. El maíz se sometió a un proceso de nixtamalización. Ambas materias primas (maíz y chapulín) se molieron y tamizaron a un tamaño de partícula de 0.500 mm, a las harinas (harina de maíz nixtamalizado [HMN] y harina de chapulín [HC]) se les realizó un análisis químico proximal (AQP), color (L^* , a^* , b^* , C^* , h° y ΔE) y pH. El proceso de extrusión se realizó en un extrusor de tornillo simple, tornillo de compresión 3:1 y dado de salida cilíndrico (3 mm). Se empleó un diseño experimental central compuesto con tres variables independientes: temperatura ($T = 120 - 180$ °C), contenido de humedad ($H = 18 - 22$ g/100 g) y concentración de harina de chapulín (Concentración de HC = 0 - 40 g/100 g), y como variables de respuesta: Propiedades fisicoquímicas (IE [índice de expansión], DA [densidad aparente], textura [dureza], color [L^* , a^* , b^* , C^* , h° , ΔE , WI y BI] y pH), funcionales (IAA [índice de absorción de agua], IAAC [índice de absorción de aceite] e ISA [índice de solubilidad de agua]) y AQP. Se realizó la optimización numérica del proceso para obtener el mejor tratamiento. Los resultados morfológicos mostraron que los chapulines presentaron un peso promedio de 0.30 g, un largo de 25.91 mm, grosor de 8.07 mm y espesor de 7.10 mm. La HC presentó un alto contenido de proteína 52.74 g/100 g, mientras que en la HMN fue de 10.53 g/100 g. El pH de la HC fue de 3.95 y para la HMN de 7.04. La HC presentó menor luminosidad ($L^* = 50.022$) que la HMN ($L^* =$

81.78). La Temperatura en su término lineal presentó efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en IE, DA, Textura y humedad, a medida que aumentaba la temperatura el IE disminuyó, la DA aumentó y la humedad disminuyó; y efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en IAAC, con el aumento de la Temperatura este aumentaba. La Humedad en su término lineal presentó efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en IE y humedad, ambos aumentaron a medida que la humedad se elevó. La concentración de HC en su término lineal presentó efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en DA, a^* , ΔE , WI y proteínas, lo que significó que a medida que se incrementó la concentración de HC la DA aumentó, el parámetro a^* aumentó, la ΔE aumentó el valor de WI disminuyó y el contenido de proteínas aumentó; y efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en IE, Textura, pH, L^* , b^* , C^* , h° , BI, IAA e IAAC, con el aumento de la concentración de HC el IE se vio afectado, ya que disminuyó, los parámetros L^* , b^* , C^* , h° , BI, IAA e IAAC también disminuyeron. Las interacciones de Temperatura-Humedad presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en IE. De igual forma las interacciones Temperatura-Concentración de harina de chapulín presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en IE, Textura e IAAC, lo que significa que disminuyeron; y efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en DA, es decir que aumentó. Mientras que las interacciones Humedad-Concentración de harina de chapulín únicamente presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) positivo en IE. Los tratamientos que presentaron mejor aceptabilidad general fueron los que contenían una menor concentración de harina de chapulín. De acuerdo a las condiciones óptimas se obtuvieron 4 productos a Temperatura = 162.07, 162.26, 161.88 y 162.53 °C, Humedad = 18.81 g/100 g y Concentración de harina de chapulín = 8.11 g/100 g. Se demostró que se puede obtener una botana extrudida aceptable por el consumidor y alta en contenido proteico a partir de mezclas de HMN y HC mediante la incorporación de hasta un 8.11 g/100 g de harina de chapulín, sin afectar sus propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

Cuj Laines, Rubí. Master in Food Science. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. February, 2017. **Obtaining an extruded corn-based snack (*Zea mays* L.) added with chapulin flour (*Sphenarium purpurascens* Ch.).** Advisor: Dr. Jesús Rodríguez Miranda Co-advisor: M. C. Ernestina Paz Gamboa.

Extrusion is a cooking process that has demonstrated good potential for the development of new products such as snacks, achieving the transformation of proteins and starches in a short time. The objective of this research was to obtain an extruded corn-based snack (*Zea mays* L.) with chapulin flour (*Sphenarium purpurascens* Ch.). A morphological characterization was made to the grasshopper. Maize was subjected to a nixtamalization process. Both raw materials (maize and chapulin) were milled and sieved to a particle size of 0.500 mm, after which the flours (nixtamalized corn flour [NCF] and chapulin flour [CF]) were subjected to a proximal chemical analysis (PCA), color (L^* , a^* , b^* , C^* h° and ΔE) and pH. The extrusion process was performed in a single screw extruder, 3:1 compression screw and cylindrical outlet die (3 mm). A central experimental design was used composed of three independent variables: temperature ($T = 120 - 180^\circ\text{C}$), moisture content ($M = 18-22\text{ g} / 100\text{ g}$) and grasshopper concentration (Concentration of CF = $0-40\text{ g} / 100\text{ g}$), And as response variables: Physicochemical properties (EI [expansion index], AD, Texture, color [L^* , a^* , b^* , C^* , h° , ΔE , WI and BI] and pH), functional (WAI [water absorption index], OAI [oil absorption index] and WSI [water solubility index]) and PCA. The numerical optimization of the process was performed to obtain the best treatment. The morphological results showed that the weeds had an average weight of 0.30 g, a length of 25.91 mm, a thickness of 8.07 mm and a thickness of 7.10 mm. The HC presented a high protein content of 52.74 g / 100 g, whereas in the NCF it was 10.53 g / 100 g. The pH of the CF was 3.95 and for the NCF of 7.04. The CF presented lower luminosity ($L^* = 50.022$) than the NCF ($L^* = 81.78$). The T in its linear term had a significant ($p < 0.05$) negative effect on EI, AD, Texture and moisture and a significant ($p < 0.05$) positive effect on OAI. The H in its linear term had a significant ($p < 0.05$) positive effect on EI and moisture. The Concentration of CF in its linear term presented a significant

($p < 0.05$) positive effect in AD, a^* , ΔE , WI and proteins and a significant negative effect in EI, Texture, pH, L^* , b^* , C^* , h° , BI, WAI and OAI. Temperature-Moisture interactions had a significant ($p < 0.05$) negative effect on EI. Likewise, Temperature-Concentration of CF flour interactions have a significant ($p < 0.05$) negative effect on EI, Texture and OAI and a significant ($p < 0.05$) positive effect on AD. While Moisture-Concentration of CF interactions had only a significant ($p < 0.05$) positive effect on EI. The treatments that had the best overall acceptability were those containing a lower Concentration of CF. According to the optimum conditions, 4 products were obtained at Temperature = 162.07, 162.26, 161.88 and 162.53 °C, Moisture = 18.81 g / 100 g and Concentration of CF = 8.11 g / 100 g. It was shown that an extruded snack acceptable by the consumer and high in protein content can be obtained from mixtures of NCF and CF by the incorporation of up to 8.11 g / 100 g of CF, without affecting its physicochemical properties.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	vii
Abstract	ix
Índice de tablas	xiv
Índice de figuras	xv
1. Introducción.....	1
2. Marco teórico.....	4
2.1. Botana	4
2.1.1. Procesos de elaboración	6
2.1.2. Producción y mercados	7
2.2. Proceso de extrusión	8
2.2.1. Extrusión y calidad nutritiva	10
2.2.2. Alimentos extrudidos	11
2.2.3. Alimentos extrudidos tipo botanas.....	12
2.3. Maíz	13
2.3.1. Descripción botánica	13
2.3.2. Composición química del maíz.....	15
2.3.3. Producción Mundial, Nacional y regional.....	16
2.3.4. Usos	20
2.3.5. Nixtamalización del maíz.....	21
2.3.6. Alimentos extrudidos a base de maíz.....	22
2.4. Chapulín (<i>Sphenarium purpurascens</i> Ch.).....	23
2.4.1 Descripción taxonómica	23
2.4.2 Composición nutrimental	25
2.4.3. Distribución mundial, Nacional y regional.....	25
2.4.4. Alimentos a base de insectos.....	27
2.5. Propiedades funcionales y fisicoquímicas de los alimentos.....	29
2.5.1. Propiedades funcionales	29
2.5.2. Propiedades físicas y químicas de los alimentos	30

2.6. Evaluación sensorial.....	32
2.7. Antecedentes	33
2.8. Justificación.....	36
2.9. Objetivos	37
2.9.1. Objetivo General.....	37
2.9. 2. Objetivos específicos.....	37
3. Materiales y métodos	40
3.1. Materias prima	40
3.1.1. Caracterización morfológica del chapulín.....	40
3.1.2. Obtención de la harina de chapulín	41
3.1.3. Obtención de la harina de maíz nixtamalizado.....	41
3.2. Análisis químico proximal (AQP).....	41
3.3. Color y pH.....	42
3.4. Proceso de extrusión	44
3.5. Parámetros de evaluación en el extrudido	45
3.5.1. Índice de expansión (IE) y densidad aparente (DA)	45
3.5.2. Índice de absorción de agua (IAA) e Índice de en agua (ISIA).....	45
3.5.3. Índice de absorción de aceite (IAAc).....	46
3.5.4. Textura (Dureza)	47
3.5.5. Evaluación sensorial.....	47
3.5.6. Diseño experimental y análisis de datos	47
3.5.7. Optimización numérica	48
4. Resultados y discusiones.....	52
4.1. Caracterización morfológica del chapulín	52
4.2. Caracterización parcial (AQP) de las harinas	52
4.2.1. Determinación de pH y color de las harinas	55
4.3. Proceso de extrusión	58
4.4. Efecto de las variables independientes sobre las variables de respuesta del proceso de extrusión.....	60
4.4.1 Efecto de las variables independientes (Temperatura, contenido de humedad, concentración de harina de	

chapulín) sobre las características físico-químicas.....	60
4.4.2. Efecto de las variables del proceso (Temperatura, contenido de humedad, concentración de harina de chapulín) sobre el análisis químico proximal	73
4.4.3. Efecto de las variables del proceso (Temperatura, contenido de humedad, concentración de harina de chapulín) sobre las propiedades funcionales.....	77
4.5. Evaluación sensorial	83
4.6. Optimización de los parámetros del proceso	84
5. Conclusiones.....	87
6. Recomendaciones.....	90
7. Referencias	92

LISTA DE TABLAS

Tabla	Descripción	Pág.
No.		
1	Clasificación de botanas de acuerdo a su proceso.....	5
2	Composición de botanas listas para comer.....	12
3	Producción de maíz en los distritos políticos del estado de Oaxaca.....	20
4	Cambios de composición en el maíz durante la nixtamalización	22
5	Especificaciones físicas y químicas de la harina de maíz.....	22
6	Análisis químico proximal.....	42
7	Variables analizadas en el diseño central compuesto.....	48
8	Variables independientes y niveles de diseño experimental expresad en unidades codificadas y reales para el proceso de extrusión.....	49
9	Caracterización química proximal de la harina de chapulín y maíz nixtamalizado (base seca).....	53
10	pH y color de las harinas de maíz nixtamalizado (HMN) y de chapulín (HC).....	57
11	Coefficientes de regresión de los modelos de superficie de respues para las características físico-químicas de los productos extrudid obtenidos.....	62
12	Propiedades fisicoquímicas del producto.....	63
13	Coefficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para los parámetros de color de los productos extrudidos obtenidos.....	68
14	Parámetros de color del producto extrudido.....	69
15	Coefficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para el análisis químico proximal.....	74
16	Composición químico proximal (g/100 g) de los productos extrudidos obtenidos.....	75
17	Coefficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para las propiedades funcionales de los productos extrudidos obtenidos.....	78
18	Respuestas de las variables independientes a la condición de extrusión para las características funcionales.....	81

19	Aceptación general de los tratamientos obtenidos.....	83
20	Productos extrudidos óptimos.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Descripción	Pág.
No.		
1	Principales partes de un extrusor de tornillo.....	9
2	El maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	15
3	Partes de la semilla del maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	16
4	Principales países productores de maíz en el 2010.....	17
5	Rendimiento de la producción de maíz por principales productores en 2012.....	18
6	Participación en la Producción de maíz por Estado 2014 (millones de toneladas y participación %)......	19
7	<i>Sphenarium purpurascens</i> Ch., A) macho, B) hembra, vista lateral.....	24
8	Distribución mundial, nacional y regional de <i>S. purpurascens</i> ...	25
9	Distribución de las especies de <i>S. purpurascens</i> en México.....	26
10	Dimensiones del chapulín (<i>Sphenarium purpurascens</i> Ch.).....	40
11	Fotografía del extrusor de tornillo simple utilizado.....	44
12	Productos extrudidos obtenidos a partir de las mezclas de harinas de maíz nixtamalizado y chapulín.....	59
13	Gráficas de superficie de IE (índice de expansión) en función de: A) Contenido de humedad y temperaturas de extrusión, B) las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.....	65
14	Gráficas de superficie de DA (densidad aparente) en función de: A) Contenido de humedad y temperaturas de extrusión, B) las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.....	65
15	Gráficas de superficie de Textura (N) en función de: A) Contenido de humedad y temperaturas de extrusión, B) las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.....	66
16	Gráficas de superficie de pH en función de: A) las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.....	66

17	Gráficas de superficies de L* (A), a* (B), b* (C), C* (D), °h (E), ΔE (F), WI (G) y BI(H) en función de: las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.....	72
18	A) Gráfica de superficie de humedad en función del contenido de humedad y temperaturas de extrusión. B) Gráfica de superficie de proteína en función de las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.....	77
19	A) Gráfica de superficie de IAA (índice de absorción de agua).en función de las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión. B) Gráfica de superficie de IAAC (índice de absorción de aceite) en función de las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.....	82

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

Las botanas se han convertido en una parte importante de los hábitos alimentarios de la mayoría de la población mundial ya que aportan comodidad y sacian la sensación de hambre por un momento (Chávez y Díaz, 2015). El Estado de Oaxaca no es la excepción a esta realidad. Las botanas que generalmente se consumen están elaboradas principalmente de maíz y de trigo, productos con escasas o nulas propiedades alimenticias que afectan la salud debido a los azúcares añadidos, grasa, sal y aderezos (Gómez-López, 2013). Una botana saludable debe incluir los siguientes requisitos deseados: poseer un perfil nutricional balanceado de calorías, grasas, carbohidratos y proteínas así como de vitaminas y minerales, además de incluir fibra (Sacaquirín *et al.*, 2012). Una de las tecnologías más importantes que ha demostrado un gran potencial para el desarrollo de nuevos productos como son las botanas, es la cocción por extrusión. Este es un proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico y se aplica al alimento procesado alta presión y temperatura durante un breve tiempo (Lizárraga *et al.*, 2013; Jing y Chi, 2013). Esta tecnología tiene algunos aspectos positivos únicos en comparación con otros procesos térmicos debido a su versatilidad, alta productividad, relativo bajo costo, eficiencia energética, no contamina, inactiva factores anti-nutricionales, enzimas y microorganismos indeseables y retiene nutrientes (Jing y Chi, 2013). Los granos de cereales son utilizados con frecuencia en la producción de botanas extrudidas debido a sus buenas características físicas, como el maíz (*Zea mays* L.) (Morales *et al.*, 2008; SIAP-SAGARPA, 2014). El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal de tercer lugar en importancia después del trigo y el arroz, siendo un producto básico en la alimentación humana, principalmente en América Latina. México tiene la mayor diversidad genética de este cultivo con más de 300 variedades de granos nativos y tiene el más alto consumo mundial per cápita de este cereal, que se consume generalmente después de un proceso de nixtamalización. Este proceso térmico-alcalino de los granos tiene varios beneficios, ya que se aumenta el valor nutritivo, el sabor y el aroma, por lo que es un paso preliminar para el procesamiento de maíz en productos alimenticios (SIAP-SAGARPA, 2014).

En los últimos años, es cada vez mayor la demanda de los consumidores por las botanas extrudidas nutritivas, por lo tanto es necesario generar productos apetecibles que aprovechen los beneficios nutrimentales y que promuevan la sustitución de alimentos “chatarra” (Alimentos que disponen de importantes niveles de grasas, sal, azúcares, condimentos y aditivos), por opciones saludables. Los investigadores han generado botanas nutritivas, estas han sido producidas por la incorporación de leguminosas, vegetales o frutas en su formulación, sin embargo no se ha reportado la incorporación de fuentes animales para la adición de proteínas en productos extrudidos (extruidos, ambas palabras son correctas) (Ding *et al.*, 2006; Hagenimana *et al.*, 2006). El chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.) es un insecto sin alas, de los cuales diversos estudios realizados en esta especie de chapulín reportan un buen aporte de nutrientes (proteínas, minerales, fibra y carbohidratos solubles) dentro de los cuales las proteínas son el principal componente de su estructura celular. Además contienen altas proporciones de vitamina A, vitamina B, minerales como el zinc, magnesio y calcio (Melo *et al.*, 2011). El consumo de chapulines tiene algunas ventajas entre las que se pueden mencionar las siguientes: son de fácil digestión, y son una propuesta prometedora para ser la comida del futuro, puesto que poseen un rendimiento estructural muy alto. Otra ventaja de estos insectos es que no pierden su valor nutritivo, puesto que generan sustancias antibióticas que los protegen mientras están vivos y, una vez capturados, no permiten su descomposición si se conservan en seco (Aguayo, 2009). En México es el ortóptero más abundante y presenta una distribución geográfica muy amplia que comprende el centro, sur y occidente en estados como Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos, Distrito Federal, Estado de México, Chiapas y Tabasco (Cerritos, 2008; Jiménez *et al.*, 2010; Ortiz-Timoteo *et al.*, 2014). Por lo anterior, en el presente trabajo se propuso la obtención de un extrudido tipo botana, elaborado con una combinación de harina de Chapulín (*Sphenarium Purpurascens* Ch.) con harina de maíz nixtamalizado, así como evaluar sus características físicas y funcionales. Esto contribuiría no solo a la obtención de una botana de alto consumo como alternativa de refrigerio más nutritivo, por lo tanto más sano, sino al aprovechamiento del chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.), otorgándole así un valor agregado.

MARCO TÉORICO

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. BOTANA.

Definir lo que es una botana es difícil, ya que el término no puede ser confinado solo a productos tradicionales tales como palomitas, productos expandidos por extrusión, papas fritas o bocadillos similares. Puede decirse que es un aperitivo que se consume con ciertas bebidas o antes de una comida completa, aunque esta acepción excluiría a un gran número de productos. Su homólogo en inglés es Snack o Snack food, (Hoseney, 1991).

La Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-216-SSA1-2002, define las botanas como los productos de pasta de harinas, de cereales, leguminosas, tubérculos o féculas; así como de granos, frutas, semillas o leguminosas con o sin cáscara o cutícula; productos nixtamalizados y piel de cerdo, que pueden estar fritos, horneados, explotados, cubiertos, extrudidos o tostados; adicionados o no con sal y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos.

Las botanas son una parte natural de nuestras costumbres y que constituye un mercado de miles de millones en todo el mundo (Torres, 2009).

A lo largo de toda su historia, las botanas han sido clasificadas de diversas maneras. Las formas más acertadas de hacerlo han sido en base a su proceso de fabricación o a la materia prima con que son elaboradas, en la Tabla 1 se aprecia la clasificación de botanas de acuerdo a su proceso de elaboración.

Existe una gran variedad de botanas, que van desde las carnes frías, las frutas o verduras, productos fritos y tostados como los cacahuates, chicharrones de harina, papas fritas, habas, garbanzos y entre otras. Las botanas resultan un producto que cubre muchas necesidades de los clientes como precio accesible, buen sabor, amplio surtido en sabor y tamaño disponible en puntos de venta no es exclusivo de una clase social y es para todas las edades (Báez *et al.*, 2012).

Tabla 1. Clasificación de botanas de acuerdo a su proceso.

Proceso	Botanas
Frituras	Papas fritas Plátano frito Zanahoria frita Chicharrón de cerdo Derivados de papa Frituras de harina
Extrudidos	Pellets de harina Extrudidos de masa: Corn-sticks y Corn-chips Collets
Troquelados	Botanas de tortilla
Recubiertos	Cacahuates recubiertos Extrudidos compuestos
Explotados	Palomitas de maíz
Tostados	Cacahuates Almendras Habas Semillas de girasol Semillas de calabaza Garbanzos
Horneados	Pretzels

Fuente: Véles, 2004.

De acuerdo a Nava (2012) no existe una clasificación formal de las botanas y las clasifican de la siguiente manera:

- ✓ Botanas saladas (cacahuates, papas fritas, pretzels, etc).

- ✓ Botanas dulces (galletas, pastelitos)
- ✓ Botanas nutritivas o saludables (frutas, verduras, alimentos con bajas calorías).

Si bien la mayoría de las botanas que se consumen a diario se compran envasadas, existen botanas caseras con ingredientes más sanos que los otros.

Actualmente, la tendencia es producir botanas de mejor calidad nutritiva ya que debido a que su consumo, lejos de verse disminuido por no representar una adecuada opción nutrimental, se ha visto aumentado en su comercialización. Este hábito de consumo puede ser aprovechado para convertirlo en un vehículo adecuado para suministrar nutrimentos de buena calidad a los consumidores (Cuatzo *et al.*, 2010).

2.1.1. PROCESOS DE ELABORACIÓN.

Los procesos de elaboración de las botanas pueden ser por freído, horneado, explotados, cubiertos, extrudidos o tostados; adicionados o no con sal y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos (NOM PROY-NOM-216-SSA1-2002).

La industria productora de alimentos botana de cereales es cada día más grande e importante. En general, la manufactura de botanas se puede dividir en tres grandes categorías: a) productos enteros, b) productos nixtamalizados y c) productos extrudidos. Esta última categoría se puede subdividir en productos expandidos directos, productos obtenidos a través de pellets y masa formadas en el extrusor para ser posteriormente freídas y terminadas con otro tipo de tratamiento térmico, denominados “de tercera generación” (Véles, 2004).

El proceso de cocimiento por extrusión representa una de las tecnologías de mayor impacto en el área de alimentos, ésta es importante en la producción de hojuelas de maíz, arroz inflado, cereales para desayuno, proteínas texturizadas, bebidas instantáneas, análogos de carne, alimentos para mascotas y alimentos botana, entre muchos otros productos (Lizárraga *et al.*, 2013).

2.1.2. PRODUCCIÓN Y MERCADOS.

Los productores de botanas son empresas grandes, medianas y pequeñas; algunos cuentan con marca comercial, otros maquilan para empresas más grandes, etc. Dentro del negocio existen decenas de fabricantes prácticamente caseros, que producen de manera irregular según el costo por temporada de la materia prima; sus productos generalmente son comercializados por ellos mismos y por supuesto están los grandes productores de botanas, que abarcan poco más del 80% del mercado mexicano. Los productores de botanas han notado que los sabores tradicionales de alguna zona geográfica en nuestro país influyen, en gran medida, el éxito en el consumo de estos productos. Los sabores étnicos expresan las preferencias en el gusto de los habitantes de la zona en donde fueron localizados, sin embargo, las investigaciones en materia de nuevos sabores reflejan que una vez que son probados y aprobados pueden ser aceptados por los demás consumidores (Véles, 2004).

Las principales empresas de botanas en México son Pepsico (Sabritas), Bimbo (Barcel), Arca (Bokados), Nipón y Nishikawa. La venta de botanas saladas ya sean sabritas, papatinas, pringles, prispas, snaky, cazares, doritos, sabritones, mafer, nishikawa, entre otros, genera ventas anuales por arriba de los 2,950 millones de dólares en México, con una producción equivalente a unas 6,755 millones de bolsitas individuales al año. Si bien, en 2006 y 2007 la producción registró una ligera contracción, en los primeros siete meses de 2008 repuntó a 7.2%, que de mantener esa tendencia se superaría el nivel récord de 2005 cuando se fabricaron a nivel industrial poco menos de 295 millones de toneladas de papas fritas, frituras de maíz y cacahuates. El volumen de producción de botanas en México ha crecido de 234,726 toneladas en el año 2000 a 420,000 toneladas en el año 2008, estimándose que en la actualidad asciende a alrededor de 450,000 toneladas. Estudios realizados revelan que el 86% de los mexicanos consumen algún tipo de botana (maíz, papitas fritas o extrudidos), al menos una vez cada 15 días. El mismo estudio afirma que las compras, tanto para consumo dentro como fuera del hogar, se realizan de manera impulsiva, no son planeadas. El consumo per cápita, está entre 3.5 a 3.8 kilos (Báez, 2012).

Las botanas extrudidas con formas son las más lucrativas de esta categoría, con aproximadamente dos tercios de la cuota del mercado. Le siguen las tortillas de maíz y chips.

2.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN.

La palabra extrusión proviene del latín "extrudere" que significa forzar un material a través de un orificio de salida. La extrusión es definida como "el proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico", ésta puede o no implicar un proceso de cocción. Mediante este proceso mecánico de inducción de energía térmica y mecánica, se aplica al alimento procesado alta presión y temperatura, durante un breve tiempo (Porta, 1993).

De acuerdo a Jing y Chi (2013), la cocción por extrusión es un proceso térmico que implica la aplicación de alta temperatura, alta presión, y las fuerzas de cizallamiento a una masa sin cocer, tales como alimentos a base de cereales.

Este tipo de técnicas, se emplea generalmente para el procesamiento de cereales y harinas de leguminosas, solas o combinadas con verduras y frutas en polvo, convirtiéndolos en productos precocidos, destinados a la alimentación humana y animal. Debido a que los equipos de extrusión procesan una gran variedad de materias primas, que pueden mezclarse para obtener raciones nutricionalmente balanceadas. Un extrusor se considera un bioreactor de alta temperatura y corto tiempo de residencia que transforma una amplia variedad de materias primas en intermedios modificados o productos finales (Rodríguez, 2008).

Los componentes principales de un extrusor se muestran en la Figura 1. El producto extrudido puede ser afectado por diversas variables como el tipo y características de la materia prima, velocidad y configuración del tornillo, temperatura del barril, velocidad de alimentación, tipo y diámetro de la matriz, entre otras. El principio fundamental del proceso de extrusión es convertir el material sólido en un fluido mediante la aplicación de calor y trabajo mecánico, promoviendo así la termoplastificación del mismo. El

tornillo gira y transporta el material en dirección de una matriz, aplicándole un esfuerzo mecánico, transformándolo en una masa uniforme (Aguilar-Palazuelos, 2007).

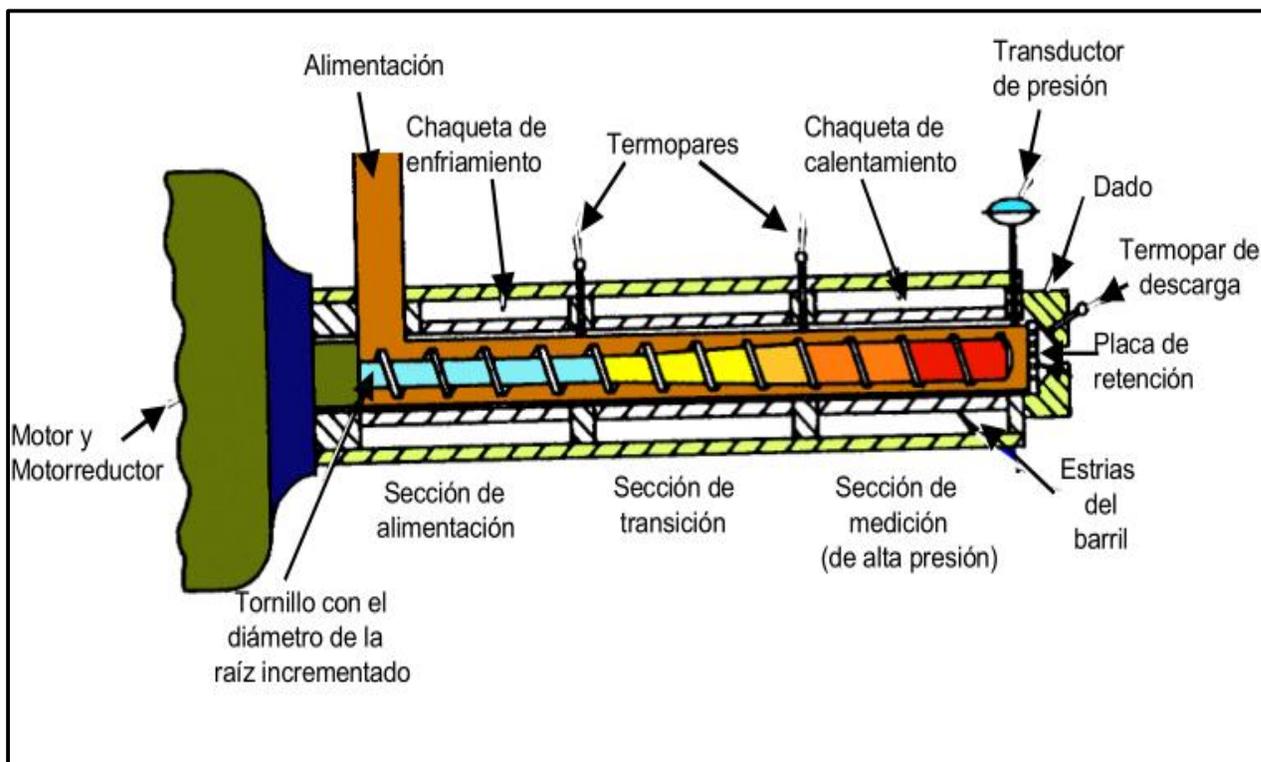


Figura 1. Principales partes de un extrusor de tornillo. (Aguilar-Palazuelos, 2007).

El interés en el uso de extrusores en la industria alimentaria se deriva del hecho de que son capaces de combinar diversos ingredientes dando nuevas estructuras a los alimentos y por lo tanto pueden ser útiles en el desarrollo alimentos funcionales (Brennan, *et al.*, 2013).

2.2.1. EXTRUSIÓN Y CALIDAD NUTRITIVA.

La tecnología de extrusión es un nuevo método de procesamiento económico, se puede lograr la transformación de proteínas, almidón y polímero de celulosa, directa o indirectamente, en un corto período de tiempo (Jing y Chi, 2013).

Se ha utilizado ampliamente en la producción de cereales y botanas listas para el consumo, debido a su facilidad de operación y capacidad para producir una variedad de texturas y formas que atraen a los consumidores. Muchos de los alimentos listos para el consumo son relativamente altos en azúcar y sal, son alimentos nutricionalmente pobres. Sin embargo, existe un potencial para manipular el estado nutricional de los alimentos extrudidos mediante la alteración de potenciales de digestión de almidón y proteína, y por la incorporación de componentes bioactivos tales como fibra dietética. La calidad de los productos finales puede variar en función de algunos parámetros de extrusión tales como la composición de las materias primas, humedad, temperatura del cilindro, velocidad y tipo del tornillo. La demanda de los consumidores de las botanas listas para el consumo (ETR, por sus siglas en inglés) está mostrando un crecimiento constante, debido a su naturaleza y también a su atractivo en la textura y las propiedades sensoriales. El proceso de extrusión ofrece a la industria alimentaria un método para producir las ETR de consumo aceptable a partir de ingredientes a base de cereales relativamente baratos. Existe un gran potencial para la industria mundial de alimentos para manipular el estado nutricional de estos productos con el fin de ofrecer productos a los consumidores con una gama de perfiles nutricionales de almidón y proteínas de alta digestibilidad. Durante los próximos 10 años, se verá, sin duda, una preponderancia de la investigación de los efectos de la tecnología de extrusión en el perfil químico y nutricional de botanas listas para el consumo (Brennan, *et al.*, 2013).

Características físicas de botanas, como la expansión, la dureza y densidad, son parámetros importantes que afectan las características funcionales y la aceptabilidad de los productos finales (Omwamba y Mahungu, 2014).

La densidad, la porosidad y la expansión de los productos extrudidos son dependientes del contenido de humedad de alimentación, tiempo de resistencia y la temperatura del

extrusor. El agua es un componente de la reacción esencial en la gelatinización y juega uno de los papeles importantes en el control de expansión del extrudido (Stojceska *et al.*, 2009).

Seleccionando adecuadamente las condiciones de procesado de extrusión y la composición de ingredientes, se pueden producir botanas nutritivas que tengan atributos de expansión y textura deseables (Meng *et al.*, 2010).

También, la idoneidad de los alimentos extrudidos para una aplicación particular depende de sus propiedades funcionales como la absorción de agua, solubilidad en agua, los índices de absorción de aceite, y la viscosidad de la masa (Lazou y Krokida, 2010).

La digestibilidad de almidón puede ser mejorada por el proceso de extrusión debido a la gelatinización parcial y fragmentación de almidón atribuido al efecto de cizallamiento mecánico del extrusor en los gránulos de almidón (Brennan *et al.*, 2013).

2.2.2. ALIMENTOS EXTRUDIDOS.

La cocción por extrusión se ha estudiado ampliamente para producir una variedad de alimentos, incluidas las botanas, los productos de pasta y cereales de desayuno listos para el consumo, alimentos para bebés, proteína vegetal texturizada, alimentos para mascotas, sopas secas y mezclas secas para bebidas (Singh *et al.*, 2010).

La extrusión de productos a base de cereales tiene ventajas sobre otros métodos de procesamiento habituales debido a su bajo costo, poco tiempo, alta productividad, versatilidad, formas únicas de los productos y el ahorro de energía (Jing y Chi, 2013).

2.2.3. ALIMENTOS EXTRUDIDOS TIPO BOTANAS.

Una de las características importantes de las botanas es su textura y esta tiene que ver con el índice de expansión que presenta. Las variables del proceso de extrusión influyen en ésta (Rodríguez, 2008).

La tecnología de extrusión juega un papel central en la industria moderna a base de cereales, especialmente para la producción de botanas a partir de maíz, trigo, arroz y avena (Chaiyakul *et al.*, 2009).

Existe una gran variedad de botanas en el supermercado, con una gran variedad de tamaños, formas, colores y sabores disponibles diseñados para atraer al consumidor. La mayoría de estas botanas están hechas de almidón, productos a base de maíz, trigo, arroz, avena y papa. Estos productos son generalmente altos en contenido de almidón, pero bajos en valor nutricional en cuanto a vitaminas, minerales menores, aminoácidos y fibra como se observa en la Tabla 2 (Brennan, *et al.*, 2013).

Tabla 2. Composición de botanas listas para comer.

	Almidón (g/100 g)	Azúcares (g/100 g)	Fibra dietética (g/100 g)	Grasa (g/100 g)	Proteína (g/100 g)	Agua (g/100 g)	Valores de energía (Kcal/100 g)
Palomitas	15.5	62.1	4.5	20.0	2.1	2.6	480
Papas fritas	52.6	0.7	5.3	34.2	6.2	2.8	530
Chips de tortilla	58.9	1.2	6.0	22.6	7.6	0.9	459
Palito de pan	67.5	5.0	3.8	8.4	11.2	3.5	392
Barra de cereal	28.3	27.6	4.8	22.2	10.4	2.6	468

Kat kit	12.9	50.1	1.4	26.0	7.5	2.0	500
Pan crujiente	67.4	3.2	11.7	0.6	9.4	6.4	308
Rice Krispies	82.5	10.4	0.7	1.0	6.1	3.0	382
Avenas	81.4	8.2	0.6	0.9	7.9	3.0	376

Fuente: Brennan, *et al.*, 2013

2.3. MAÍZ.

El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Otras especies del género *Zea*, comúnmente llamadas teocintle y las del género *Tripsacum*, conocidas como arrocillo o maicillo, son formas salvajes parientes de *Zea mays*. Son clasificadas como del Nuevo Mundo, porque su centro de origen está en América.

2.3.1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.

El maíz (*Zea mays L.*) pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género (Acosta, 2012), y sus parientes más cercanos, los teocintles (*Zea spp.*), son miembros de la tribu Maydeae, de la Subtribu Tripsacinae y de la familia Poáceae (Sánchez, 2011).

De acuerdo a datos recopilados por la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, por sus siglas en inglés), se escribe la taxonomía del maíz (*Zea mays L.*) USDA - NRCS (2012).

Reino: Plantae.

Subreino: Tracheobionta.

Superdivisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Cyperales

Familia: Poaceae / Gramineae

Género: *Zea* L.

Especies: *Zea mays* L.

En la Figura 2 se observa la planta del maíz, la cual es anual de 1.5-3 m, tallos gruesos (>15 mm), macizos, de hojas anchas (2-10 cm). Es una planta monoica, con las flores masculinas en panícula terminal (penacho), las flores masculinas están formadas por lema, palea, 2 lodículas y 3 estambres, dos en cada espiguilla, también emparejadas, una casi sésil y la otra cortamente pedicelada; las flores femeninas en inflorescencias axilares (panoja o mazorca), dos por espiguilla (una de ellas estéril), lema y palea muy reducidas; espiguillas sentadas sobre el eje grueso de la mazorca, glumas reducidas. El fruto o mazorca en cariósipide, es duro y generalmente amarillo (Canals *et al.*, 2009). El grano de maíz se compone de tres partes principales, la cubierta de la semilla o pericarpio, el endospermo amiláceo y el embrión a menudo llamado el germen, que se convertirá en una nueva planta (ECOCROP-FAO, 2007).



Figura 2. El maíz (*Zea mays* L.). (Kenneth, 2015)

2.3.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MAÍZ.

En la Figura 3 se muestran las partes de la semilla de maíz. El grano de maíz está compuesto por un 70 a 75% de almidón, de 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite, contenidos en tres estructuras: el germen (embrión), el endosperma y el pericarpio. El germen constituye el 10 al 12% del peso seco y contiene el 83% de los lípidos y el 26% de la proteína del grano. El endosperma constituye el 80% del peso seco y contiene el 98% del almidón y el 74% de las proteínas del grano. El pericarpio constituye del 5 al 6% del peso seco e incluye todos los tejidos de cobertura exterior, con un 100% de fibras vegetales (INTA, 2010).

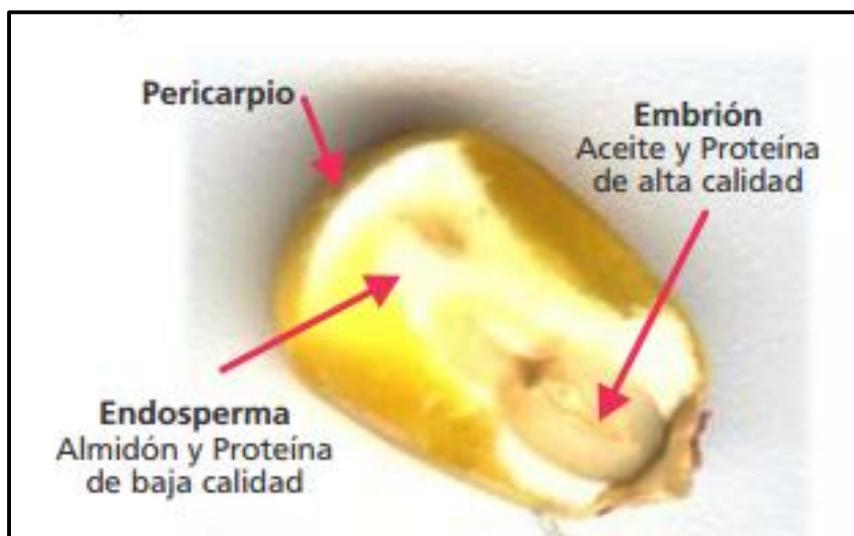


Figura 3. Partes de la semilla del maíz (*Zea mays* L.). (Álvarez, 2010)

La calidad de uso del maíz está determinada principalmente por la estructura y composición del grano. Las diferencias en estructura y composición dependen del cultivar así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha y poscosecha. Algunas características del grano vinculadas a su estructura y composición son: Dureza endospermica, el almidón, aceites, carotenoides y tocoferoles (INTA, 2010).

2.3.3. PRODUCCIÓN MUNDIAL, NACIONAL Y REGIONAL.

El maíz es uno de los cultivos básicos más importantes y extendidos en todo el mundo. Constituye una de las fuentes principales de alimento de millones de personas, sobre todo en América y Asia. Se trata de una de las primeras plantas que se domesticaron y se difundieron por todo el mundo (Sánchez, 2014).

En 1492 Cristóbal Colón descubrió el maíz en América y lo llevó a España, desde donde se extendió por toda Europa, el norte de África, Oriente, India y China. Es el único cereal de origen americano que se ha convertido en uno de los cultivos principales en todo el mundo. El aumento de su consumo como alimento básico se

debió a que rinde más que el trigo, el centeno o la cebada. Gracias a su bajo precio, se convirtió en el alimento principal y la fuente central de energía y proteínas para la gente pobre. Actualmente, 85% de los países cultivan maíz. De los diez principales países productores de maíz en 2010 como se muestra en la Figura 4, son Estados Unidos, China, Brasil, México, Argentina, Indonesia, India, Francia, Sudáfrica y Ucrania (SIAP-SAGARPA, 2010).

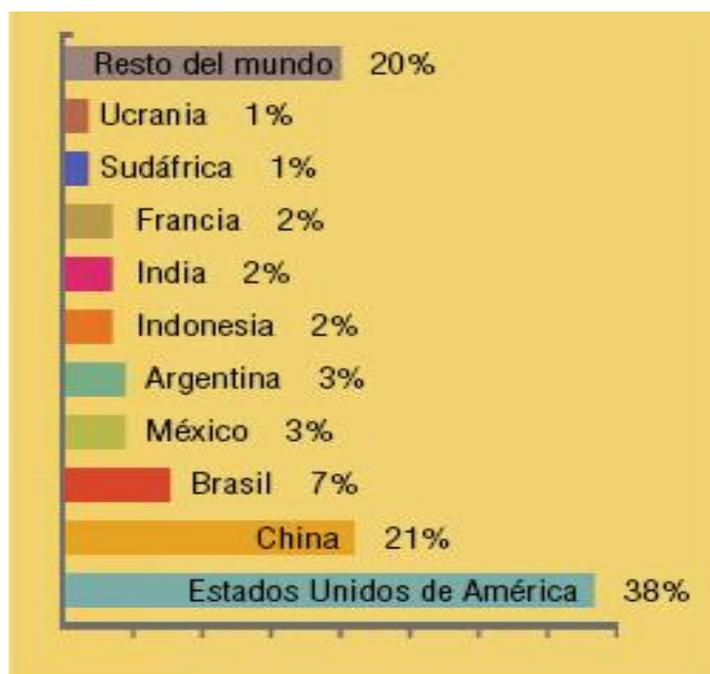


Figura 4. Principales países productores de maíz en el 2010. (SIAP-SAGARPA 2010)

El maíz en México se cultiva actualmente en un amplio rango de altitud y variación climática, desde el nivel del mar hasta los 3,400 m. Se siembran en zonas con escasa precipitación, en regiones templadas, en ambientes muy cálidos y húmedos, en escaso suelo, en pronunciadas laderas o en amplios valles fértiles, en diferentes épocas del año, y bajo múltiples sistemas de manejo y desarrollo tecnológico. A esta diversidad de ambientes, los agricultores, indígenas o mestizos, mediante su conocimiento y

habilidad, han logrado adaptar y mantener una extensa diversidad de maíces nativos (Sierra, 2014).

En la Figura 5 se observa el rendimiento de la producción de maíz por principales productores en 2012 (Toneladas metricas por hectarea), donde México ocupaba el décimo lugar en su producción a nivel mundial después de Estados Unidos, China, Unión Europea, Brasil, Argentina, Ucrania, Sudáfrica, Canadá y Egipto.

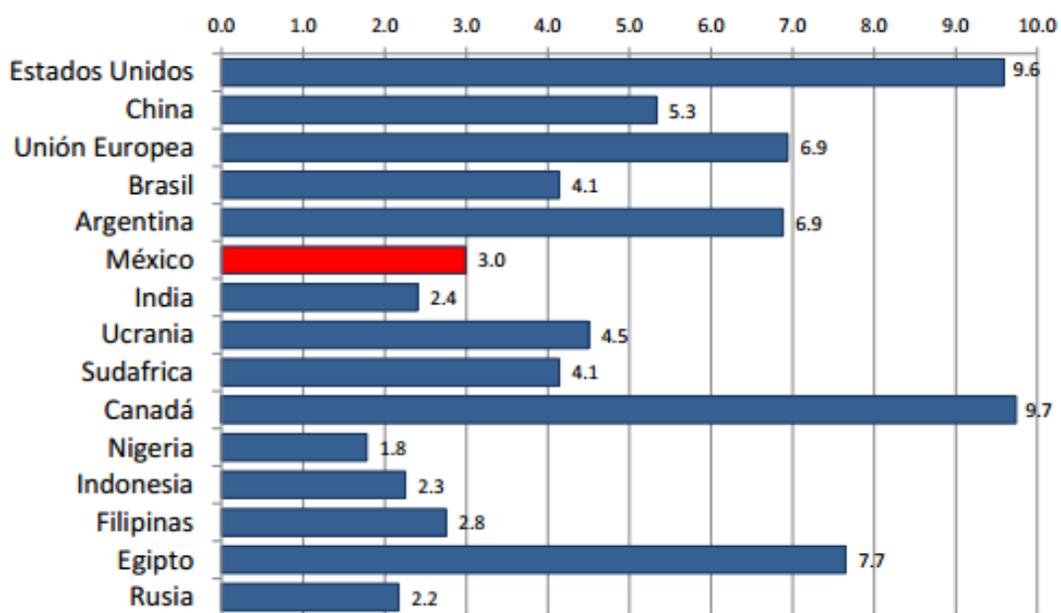


Figura 5. Rendimiento de la producción de maíz por principales productores en 2012 (Toneladas metricas por hectarea). (USDA 2013).

En la Figura 6 se muestra la participación en la Producción de maíz por Estado 2014 (millones de toneladas y participación %) de acuerdo a datos de la SAGARPA, donde los principales Estados productores de maíz en México fueron Sinaloa con una producción de 5.2 millones de toneladas y una participación de 23%; Jalisco con 3.2 millones de toneladas y 14% de participación; y en tercer lugar el estado de México con

1.4 millones y 7% para dichos indicadores. Le siguen los estados de Michoacán, Chiapas, Guerrero, Guanajuato, Chihuahua, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Hidalgo, Tamaulipas y Campeche.

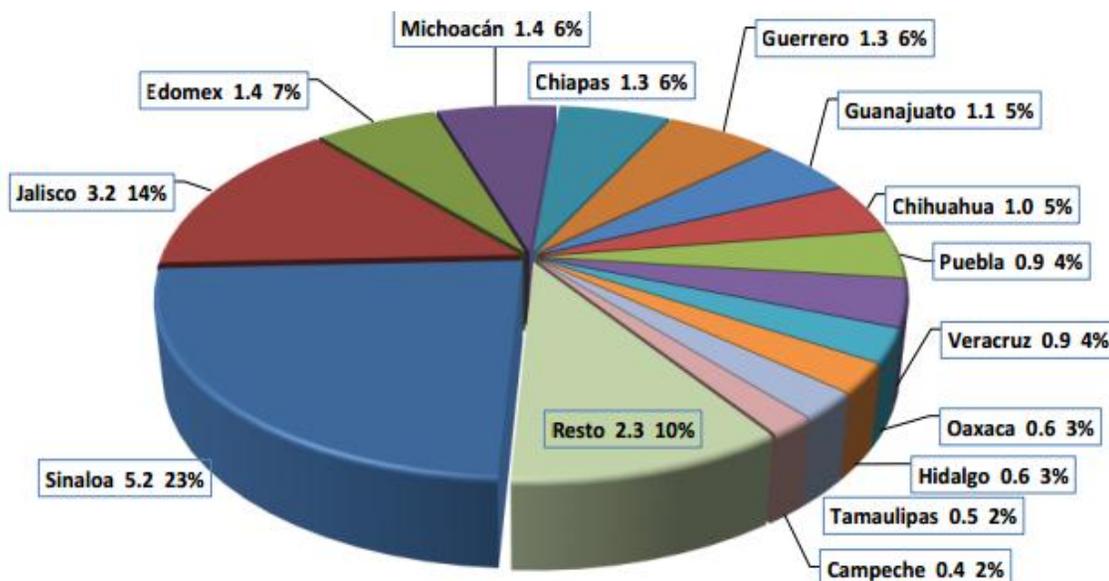


Figura 6. Participación en la Producción de maíz por Estado 2014 (millones de toneladas y participación %). (SAGARPA, 2014).

En la Tabla 3 se presenta la Producción de maíz en los distritos políticos del estado de Oaxaca, donde se observa que en Tuxtepec, la producción en el año 2014 fue de 121,974 toneladas.

Tabla 3. Producción de maíz en los distritos políticos del estado de Oaxaca.

Distrito	Superficie (ha)		Producción (Tn)	Rendimiento (Tn ha ⁻¹)
	Sembrada	Cosechada		
Cañada	37,025.50	36,961.00	42,525.52	1.15
Costa	77,915.30	74,844.30	90,182.53	1.20
Huajuapán de León	133,953.08	115,885.98	108,335.43	0.93
Istmo	88,338.10	75,025.85	88,790.78	1.18
Sierra Juárez	22,639.50	22,639.50	27,789.75	1.23
Tuxtepec	63,122.00	63,122.00	121,974.60	1.93
Valles centrales	177,753.75	137,299.88	148,931.40	1.08
Total	600,747.23	525,778.51	628,530.01	1.20

Fuente: SIAP-SAGARPA, 2014.

El maíz Tuxtepecano, es de atractivas mazorcas cilíndricas dentadas de 18.9 cm de largo, 4.7 cm de diámetro, 14 hileras dispuestas en forma recta y cada hilera con 42 granos, presentan coloración crema, el color del olote en la parte media es blanco. El grano tiene 9.3 mm de ancho, longitud de 12 mm y espesor de 3.8 mm (Sierra, 2014).

2.3.4. USOS.

La tortilla es la principal forma de consumo del maíz en México (Morales *et al.*, 2008), ya que alrededor de 12.3 millones de toneladas de maíz se consumen en esta forma, donde el 64% es a través de método tradicional maíz-masa-tortilla y el 36% mediante la industria de la harina de maíz nixtamalizado (SIAP-SAGARPA, 2014).

2.3.5. NIXTAMALIZACIÓN DEL MAÍZ.

La palabra “nixtamalización” se ha venido usando desde hace unos 20 ó 30 años, para hacer referencia al proceso alcalino de cocción del maíz, para convertirlo en masa, y de ahí a una amplia cantidad de diferentes preparaciones, entre las cuales la tortilla es posiblemente las más importante (Bressani *et al.*, 1993).

Se obtiene maíz nixtamalizado o nixtamal para la producción de masa, que es utilizada para la elaboración de tortillas tradicionales que son la fuente principal de calcio en la alimentación de los mexicanos. El fundamento y procedimiento del proceso tradicional de nixtamalización no ha variado con los siglos, independientemente de que el maíz cocido en agua con cal “nixtamal” vaya a ser molido mediante manipulación artesanal o en grandes instalaciones fabriles con modernos métodos de secado, para la producción de masa o harinas de maíz nixtamalizadas. Este proceso consiste en el cocimiento del grano de maíz en suficiente agua (1:3) es decir, 1 kg de maíz por tres litros de agua, adicionando hidróxido de calcio Ca(OH)_2 , sometido a una temperatura menor a la de ebullición, durante un tiempo de 30 a 45 minutos, dependiendo de la dureza del grano y dejándose reposar de 12 a 14 horas en el caldo de cocción llamado nejayote. Se lava eliminando los componentes orgánicos (pericarpio, germen y fracciones del endospermo), y el exceso de calcio (Mercado y Gaytán, 2011).

La Tabla 4 presenta algunos de los cambios de composición en el maíz durante la nixtamalización, donde se gelatiniza el almidón, se hidroliza la hemicelulosa del pericarpio y se destruyen algunos aminoácidos y vitaminas. Por otra parte, en el nejayote se solubilizan minerales, grasa, vitaminas y algunas proteínas, como las albúminas y las globulinas.

Tabla 4. Cambios de composición en el maíz durante la nixtamalización.

Componentes (%)	Sin tratar	Nixtamalización
Proteína	11.0	10.6
Fibra cruda	2.3	2.0
Extracto etéreo	5.1	4.5
Cenizas	1.7	2.3
Calcio	76	1.230

Fuente: Rodríguez, 2008.

De acuerdo a la norma oficial mexicana NMX-F-046-s-1980, la harina de maíz nixtamalizado debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas anotadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones físicas y químicas de la harina de maíz

ESPECIFICACIONES	MÍNIMAS %	MÁXIMAS %
Humedad	-	11.0
Proteínas (Nitrógeno x 6.25)	8.0	
Cenizas	-	1.5
Extracto etéreo	4.0	
Fibra cruda	-	2.0

Nota: Las especificaciones correspondientes se refieren sobre base seca

Fuente: NMX-F-046-s-1980

2.3.6. ALIMENTOS EXTRUDIDOS A BASE DE MAÍZ.

La harina de maíz es ampliamente utilizada para la elaboración de alimentos extrudidos expandidos. Sin embargo, como con otros cereales, el valor nutritivo de la harina de maíz no satisface las necesidades de los consumidores conscientes de la salud. Es

bien conocido que la adición de legumbres a los cereales produce un aumento en la cantidad y la calidad de la mezcla de proteínas. Las leguminosas extrudidas tienen una buena expansión y son consideradas factibles para la elaboración de botanas con alto valor nutrimental (Silva *et al.*, 2014). Sin embargo pueden ser utilizadas fuentes animales para la adición de proteínas en productos extrudidos, ya que México cuenta con una gran biodiversidad.

2.4. CHAPULÍN (*Sphenarium purpurascens* CH.).

El saltamontes *Sphenarium purpurascens* Charpentier (*Orthoptera Pyrgomorphidae*) es un insecto sin alas. Se completa una generación por año, que comienza en mayo, cuando los huevos emergen durante la temporada de lluvias (Cerritos *et al.*, 2008).

2.4.1 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA.

Nombre común: "Chapulín de la milpa" "Chapulín comestible"

Ubicación taxonómica:

Orden: Orthoptera

Suborden: Caelifera

Superfamilia: Acridoidea

Familia: Pyrgomorphidae

Especie: *Sphenarium purpurascens* (Charpentier).

Comúnmente se conoce como "saltamontes" o "chapulín de la milpa" ya que es abundante en agroecosistemas donde se cultiva maíz. *Sphenarium purpurascens* Ch. tiene la cabeza triangular, presenta un fastigio cefálico simétricamente dividido por una línea media, su cuerpo es robusto y fusiforme; el pronoto es convexo y tiene forma de silla de montar, éste presenta una fina quilla longitudinal y muestra alas vestigiales que llegan a alcanzar los tímpanos del primer segmento abdominal (Castellanos-Vargas y Cano-Santana, 2009). Presenta dimorfismo sexual, siendo la hembra de mayor tamaño con una coloración verde de patrón uniforme. El macho puede presentar coloraciones

verdes o cafés con manchas oscuras y es más pequeño a diferencia de la hembra tal como se visualiza en la Figura 7.

Representa un recurso alimentario y una fuente de ingresos por sus ventas en mercados (Ramos-Elorduy *et al.*, 2012), aunque también se menciona que puede ocasionar daños a cultivos de amaranto (García *et al.*, 2011).

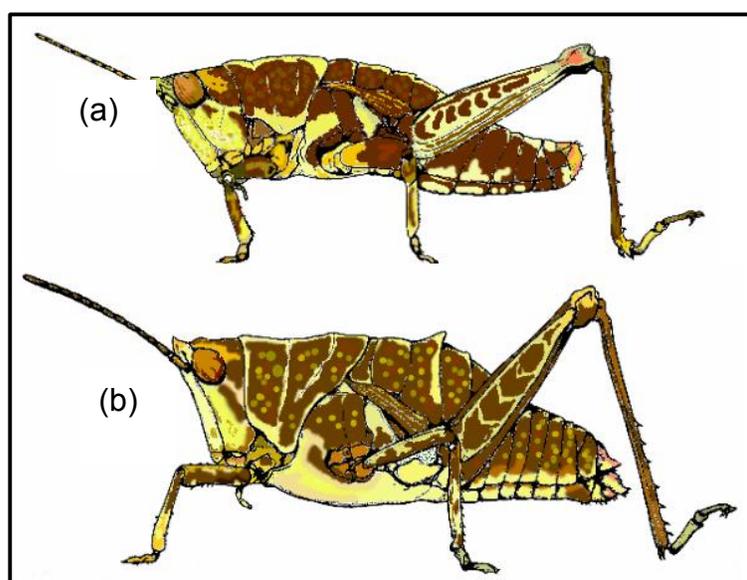


Figura 7. *Sphenarium purpurascens* Charpentier, a) macho, b) hembra, vista lateral. (<http://www.bionica.info/Biblioteca/AnonimoSphenarium.pdf>, 2015)

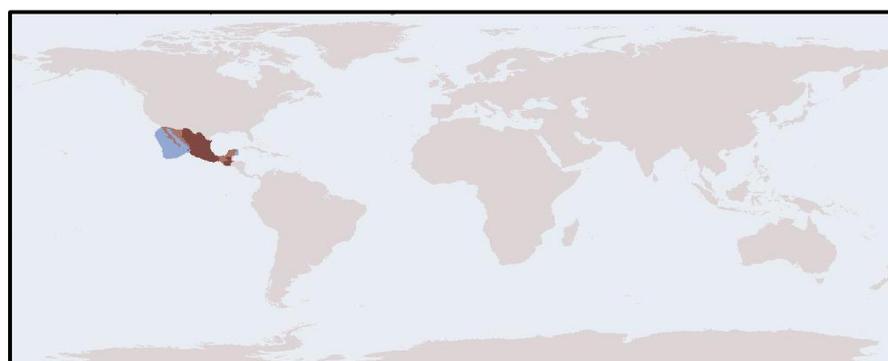
La especie presenta variación en la coloración corporal aparentemente como una respuesta al tipo de vegetación en donde los individuos se desarrollan y forrajean, ésta puede ser: verde, negra, gris o café (Castellanos-Vargas y Cano-Santana, 2009).

2.4.2 COMPOSICIÓN NUTRIMENTAL.

Diversos estudios realizados en esta especie de chapulín reportan un buen aporte de nutrientes en el que destacan las proteínas (71.50%), grasa (5.75%), minerales (2.5%), fibra (3.89%) y carbohidratos solubles (16.36%) (Navam *et al.*, 2014). Los Chapulines contienen altas proporciones de vitamina A, vitaminas B, minerales como el zinc, magnesio y calcio (Aguayo, 2009).

2.4.3. DISTRIBUCIÓN MUNDIAL, NACIONAL Y REGIONAL.

En la Figura 8 se observa la distribución mundial de *S. purpurascens*. El cual se encuentra distribuido en México y Guatemala.



Niveles geográficos	Tierra	Océano
no hay datos o no está presente		
nivel 1 presente		
nivel 2 presente		
nivel 3 presente		

Los tonos azules localizan las islas oceánicas, también se incluyen en la distribución

Figura 8. Distribución mundial de *S. purpurascens*. (Eades *et al.*, 2011).

En México es el ortóptero más abundante y presenta una distribución geográfica muy amplia que comprende el centro, sur y occidente en Estados como Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco, Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos, Distrito Federal, Estado de México, Chiapas y Tabasco (Castellanos-Vargas y Cano-Santana, 2009). En la Figura 9 se muestran las zonas correspondientes a los pastizales y la selva baja de los climas semicálido, subhúmedo y templado subhúmedo de México, como el área predominante de distribución de *S. purpurascens*.

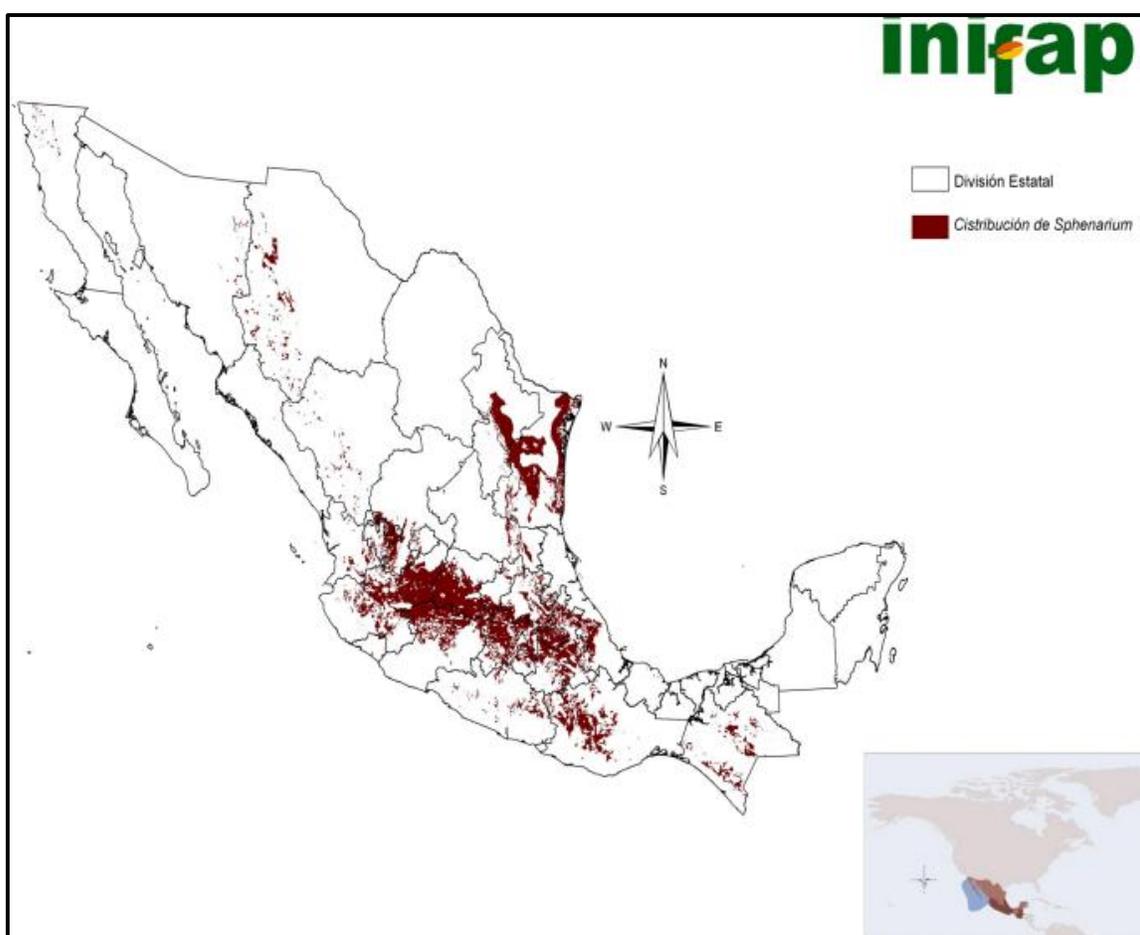


Figura 9. Distribución de las especies de *S. purpurascens* en México. (SENASICA 2012).

Los chapulines (*S. purpurascens*) son una especie clave en la dieta mesoamericana de hoy. Entre mayo y diciembre el pueblo de Santa María Jacatepec, Puebla, capturan este saltamontes y lo venden en el estado de Oaxaca. Todos los días, los residentes locales comienzan la cosecha en 4-5 h, lo que facilita la captura debido a la baja del metabolismo de los insectos a temperaturas más frías. Cosechadoras usan redes cónicas sin asas para vencer a la ligera las plantas de alfalfa, que permite a cada familia de la localidad obtener alrededor de 50-70 kg de saltamontes semanal. Se estima que al menos 75-100 toneladas (peso fresco) por año se extraen solo en este valle (Cerritos *et al.*, 2008).

Los ambientes semicálidos, subhúmedos de Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Oaxaca, Guerrero y Chiapas presentan las mejores condiciones para la sobrevivencia de este insecto al no presentar temperaturas que puedan ocasionar la mortalidad de las ninfas de primer instar (estado del insecto larvario) (Quijano 2015).

Hay un grave problema de nutrición en todo el mundo debido a la deficiencia de proteínas de buena calidad que afecta a personas de bajos ingresos. Los insectos son una buena alternativa, consumidos por todo el mundo, por eso es importante, mejorar las técnicas de producción, conservación y comercializarlas y hacerlas disponibles a toda la población.

Las investigaciones con insectos se han llevado a cabo desde hace más de veinte años, con especies de México y otros países de África, Asia, Australia y América. Se han estudiado el valor nutricional y biodisponibilidad de 107 especies de insectos comestibles.

2.4.4. ALIMENTOS A BASE DE INSECTOS.

Los alimentos de origen animal son importantes para el estado de nutrición, crecimiento y tasa de recuperación, así como el rendimiento cognitivo de los niños desnutridos (Michaelsen *et al.*, 2009; Neumann *et al.*, 2003) Incluso pequeñas cantidades de

ingredientes de alimentos de origen animal, como los insectos, pueden mejorar sustancialmente la adecuación de nutrientes (Michaelsen *et al.*, 2009).

Algunos estudios específicos ya han identificado casos en los que las plagas de insectos pueden tener un impacto positivo sustancial de la salud en las zonas donde la desnutrición es alta, así como los beneficios económicos. Por ejemplo, un saltamontes en México conocida como chapulines (*Sphenarium purpurascens* Ch.) es controlado por la recolección de ellos como un alimento, además de los cultivos que atacan. Esta actividad proporciona un beneficio anual de alrededor de \$ 3000.00 por familia y un total de 100 toneladas métricas de masa de insectos comestibles (Premalatha *et al.*, 2011).

La entomofagia, tradición culinaria que se realiza en México desde la época prehispánica, en la que, el consumo de chapulín *Sphenarium purpurascens* Ch. en zonas rurales, forma parte de la dieta cotidiana de sus habitantes y en zonas urbanas este insecto tiene gran demanda como botana o platillo típico (Rostro *et al.*, 2012).

El consumo de chapulines tiene algunas ventajas entre las que se pueden mencionar las siguientes: Son de fácil digestión, los chapulines, así como los insectos en general son una propuesta prometedora para ser la comida del futuro, puesto que poseen un rendimiento estructural muy alto. Las proteínas son el principal componente de la estructura celular, por lo tanto es el principal nutriente para el crecimiento y para la constitución de la estructura muscular; cabe mencionar que las proteínas provenientes del chapulín son de buena calidad e inciden favorablemente en la formación celular, la constitución y reparación de tejidos y músculos, así como en el mejoramiento de la consistencia de la sangre (Aguayo, 2009).

Los insectos son fáciles de localizar, recolectar y almacenar, su digestibilidad es elevada y, sin necesidad de refrigerarlos, se conservan en buen estado. Otra ventaja de los insectos es que no pierden su valor nutritivo, puesto que generan sustancias antibióticas que los protegen mientras están vivos y, una vez capturados, no permiten su descomposición si se conservan en seco. Los alimentos a base de insectos contienen las características para decir que son alimentos con propiedades

funcionales, ya que son aquellos alimentos que proporcionan beneficios para la salud, por su alto contenido en proteínas.

2.5. PROPIEDADES FUNCIONALES Y FISICOQUÍMICAS DE LOS ALIMENTOS.

Una propiedad es una característica por la cual se pueden identificar y describir a los alimentos. Las propiedades funcionales y físico-químicas de los alimentos son estudiadas para obtener una visión global de su posible uso o aplicación (Badui, 2006).

2.5.1. PROPIEDADES FUNCIONALES.

Cualquier alimento en forma natural o procesada, que además de sus componentes nutritivos contiene componentes adicionales que favorecen a la salud, la capacidad física y el estado mental de una persona. El calificativo de funcional se relaciona con el concepto bromatológico de "propiedad funcional", o sea la característica de un alimento, en virtud de sus componentes químicos y de los sistemas fisicoquímicos de su entorno, sin referencia a su valor nutritivo. En Europa se define alimento funcional a "aquel que satisfactoriamente ha demostrado afectar benéficamente una o más funciones específicas en el cuerpo, más allá de los efectos nutricionales adecuados en una forma que resulta relevante para el estado de bienestar y salud o la reducción de riesgo de una enfermedad" (Alvídrez-Morales, 2002).

Las propiedades funcionales más importantes que se estudian en algunos sistemas de alimentos son:

- ✓ Capacidad de absorción de agua: El agua es un ingrediente universal en los sistemas de alimentos. Cuando el agua es agregada en exceso a un alimento, parte de agua interactúa con los sólidos. En otras palabras, una porción del agua añadida no aparecerá como agua libre. En un sentido práctico, reconocemos

que parte del agua es “absorbida” o “ligada al sistema de alimentos y es opuesta al agua “libre”, la cual está disponible para una interacción interior. Algunos componentes presentan diferentes capacidades de retención de agua debido a la facilidad que tienen de interactuar con las moléculas de este disolvente a través de puentes de hidrogeno. Estos grados de hidratación se deben en parte a las diferencias que existen en la relación de sus componentes (Rodríguez *et al.*, 2012).

- ✓ Capacidad de solubilidad en agua: determina la cantidad de polisacárido soluble liberado de los gránulos de almidón después de la adición del exceso de agua y se usa a menudo como un indicador de la degradación de los componentes moleculares (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). Está directamente relacionada con el grado de gelatinización del almidón que se produce dentro de un extrusor (Shankar, 2010)

- ✓ Capacidad de absorción de aceite: La capacidad de absorción de grasa se relaciona con el número de cadenas laterales no polares de las proteínas u otras macromoléculas presentes en los alimentos como el almidón, que se enlazan con cadenas de grasa. La capacidad de absorción de grasa es una propiedad importante en la formulación de productos cárnicos, sustitutos de carne y en productos de panadería y sopas, que además se relaciona con la capacidad de retener las características de sabor y con la suavidad del producto (Adawy, 2001).

2.5.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS ALIMENTOS.

Las propiedades físicas: las podemos ver y medir sin alterar su composición. En el caso de los alimentos estos pueden ser modificados según la necesidad de cada grupo o persona, esto quiere decir que en el momento de picarlos, cortarlos, rebanarlos estos

ya sufren cambios físicos. Color, textura, forma, masa, solubilidad, densidad, punto de fusión, etc.

Las propiedades químicas: las podemos observar cuando sufren cambios en su composición. Los alimentos tienen cambios en su composición química cuando los cocinamos, freímos, hervimos, aquí también se incluye el momento cuando nuestro organismo comienza la digestión (Rodríguez-Miranda 2008).

Algunas propiedades físicas se describen a continuación:

- ✓ Color: Es el principal atributo de calidad que tiene el consumidor a la hora de seleccionar los alimentos. El estudio del color en los alimentos está tomando una gran importancia en la industria de los alimentos debido a que se está usando como herramienta para la automatización y control de procesos de la elaboración de diversos productos y en el control de calidad del producto acabado. El color en los alimentos depende fundamentalmente de las transformaciones que tienen lugar sobre los pigmentos propios o adicionados a los alimentos (Calvo y Dúran, 1997).

- ✓ Textura y estructura: La textura corresponde a un concepto muy ambiguo. Para algunos autores es el conjunto de propiedades que se derivan de la especial disposición que tienen entre si las partículas que integran los alimentos. Para otros, es el conjunto de propiedades de un alimento capaces de ser percibidas por los ojos, el tacto, los músculos de la boca incluyendo sensaciones como aspereza, suavidad, granulosidad. La textura de los alimentos tiene una importancia fundamental en la producción y aceptación del producto por el consumidor. Al estudiar las propiedades de textura de cada grupo se hace necesario determinar algunos parámetros físico-químicos: tensión superficial, viscosidad, coherencia entre moléculas, adhesión de unas partículas a otras (Alvarado y Aguilera, 2001).

- ✓ Densidad aparente: Para materiales granulados (tal como guisantes, alubias, harinas, polvos, leche, café y almidón) puede ser de interés conocer la densidad de las partículas individuales o unidades, o bien de la densidad del conjunto del material, que incluye el volumen vacío entre las unidades individuales. El término densidad de los sólidos o de las partículas se refiere a la densidad de una unidad individual. Esta unidad puede o no conocer poros internos. La densidad de los sólidos se define como la masa de las partículas dividida entre el volumen de las partículas, y tendrá en cuenta la presencia de tales poros. La porosidad resultará afectada por la geometría, tamaño y propiedades superficiales del producto (Lewis, 1993).

Entre algunas propiedades fisicoquímicas se encuentran:

- ✓ Actividad de agua (A_w): Las propiedades coligativas, reológicas y de textura de un alimento dependen de su contenido de agua, aun cuando éste también influye definitivamente en las reacciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas (Baduí, 2006).
- ✓ Potencial de hidrógeno (pH): Es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinada por el número de iones de hidrógeno (H^+) en una sustancia. El resultado de la medición del pH está determinado por una relación entre el número de protones (iones H^+) y el número de iones hidroxilo (OH^-). El término común para referirse al pH es la alcalinidad. (<http://www.lenntch.com/espanol/pH-y-alcalinidad.htm>, 2015).

2.6. EVALUACIÓN SENSORIAL.

El análisis sensorial es una herramienta imprescindible para obtener información sobre algunos aspectos de la calidad de los alimentos, a los que no se puede tener acceso con otras técnicas analíticas. Los inconvenientes y riesgos que conlleva la incorporación de las técnicas sensoriales a los programas de control y aseguramiento de la calidad de los alimentos, son de menor entidad que las indudables ventajas que

puede aportar. Aunque no todos los métodos propuestos y utilizados para evaluar la calidad sensorial de los alimentos se pueden considerar adecuados, actualmente se dispone de conocimientos suficientes para diseñar sistemas efectivos de control de la sensorial para cada caso concreto en función de las características particulares de cada alimento y de su posición en el mercado (Costell, 2003).

En la evaluación sensorial los instrumentos de medición son los sentidos humanos: vista, oído, gusto, olfato y tacto. Las señales visuales son importantes en el control de la calidad de las materias primas o del proceso y las impresiones visuales influyen decisivamente en la actitud del consumidor hacia el producto. Es muy importante diferenciar entre el olor y aroma. El primero es la percepción de sustancias volátiles por medio de la nariz. En cambio el aroma es la detección después de haberse puesto el alimento en la boca; o sea que el aire, en el caso del aroma, no es el medio de transmisión de la sustancia, sin la membrana mucosa del paladar. Los sabores se perciben cuando se ponen en contacto los alimentos con la superficie de la lengua. La unión del gusto y del olfato se denomina “análizador químico”, por ser la energía química la que estimula a ambos. En la literatura científica inglesa esta relación se conoce como “flavour” (Rodríguez, 2002).

2.7. ANTECEDENTES.

Sánchez *et al.* (2009). Desarrollaron una fritura a base de harina de trigo y harina de chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.). Los insectos recolectados en la población de Santa María Nenetzintla en el estado de Puebla, fueron sometidos a una limpieza y desecados para su posterior molienda y obtención de la harina, que sirvió para preparar la masa, posterior freído, adición de polvo en chile y secado. Los resultados obtenidos fueron que al 90% de la población le agrado el sabor que presentaba, y en cuanto a la textura diferente a la de marcas comerciales llamó la atención del público y fue bien aceptada, sin embargo el color negruzco que presentaba no fue de su agrado. Se observó que al revelar a la población los ingredientes de la fritura los datos de aceptación que presentaban eran refutados expresando malestar por haber comido

harina de insecto. Los resultados del análisis químico proximal de la harina de chapulín fue de proteínas (54.92%), fibra cruda (1.42%), extracto etéreo (11.83%) e hidratos de carbono (21.26%).

Jiménez et al. (2010). Elaboraron una fritura de chapulín con amaranto y harina de trigo como alternativa alimenticia para la población. El trabajo se dividió en dos etapas. La primera, trabajo de campo se realizó una colecta del chapulín en el mes de septiembre del 2009, en San Vicente Chicoloapan, Estado de México, la muestra obtenida fue de 220 g. se trasladó a la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco. En la segunda etapa ya en el laboratorio de bromatología se identificó la especie con la ayuda de claves taxonómicas. Posteriormente se adquirió semilla de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) originario de Tulyehualco, delegación Xochimilco, D.F. Las frituras una vez elaboradas se deshidrataron y molieron para llevar a cabo análisis de macronutrientes y minerales en base seca. Se determinó humedad por deshidratación en estufa a 55°C durante 24 hrs; proteínas por el método de Kjeldahl que da nitrógeno total, éste se multiplica por 6.25 para obtener nitrógeno proteico; minerales por eliminación de materia orgánica en mufla a 650°C por 3 hrs; lípidos por extracción de grasas con éter de petróleo y determinación en aparato Goldfish; en fibra por hidrólisis ácida y posteriormente por hidrólisis alcalina para determinar carbohidratos solubles y carbohidratos insolubles, extracto libre de nitrógeno o carbohidratos solubles por diferencia. Los resultados del análisis químico proximal de la fritura fue de proteínas (26.68%), fibra cruda (3.41%), extracto etéreo (51.82%) y minerales (8.50%). Ellos obtuvieron una fritura que además de tener un alto valor nutricional fue de costo accesible.

Melo et al. (2011). Evaluaron la calidad proteica de alimentos a partir de insectos nativos comestibles de América Latina y Asia. Realizaron el análisis químico proximal de cinco especies de insectos acuáticos y terrestres de acuerdo a los métodos de la AOAC (2000). Los resultados fueron en este orden, saltamontes (chapulines), *Sphenarium purpurascens* Ch. Proteína (71.50%), grasa (5.75%), minerales (2.5%), fibra (3.89%) y carbohidratos solubles (16.36%). Hormigas chicatanas, *Atta Mexicana* B. Proteína (66.00%), grasa (24.02%), minerales (3.00%), fibra (2.06%), carbohidratos

solubles (4.92%). Gusano de Maguey, *Aegiale hespheriaris* K. Proteína (30.88%), grasa (58.55%), minerales (2.29%), fibra (0.12%), carbohidratos solubles (8.16%). Escamoles huevos de hormiga, *Liometopum apiculatum* H. Proteína (40.90%), grasa (33.96%), minerales (7.58%), fibra (1.3%); carbohidratos solubles (16.26%). Ahuahutle huevos de mosquito son una mezcla de *Krizousacorixia azteca* J. y otras especies, proteína (53.60%), grasa (4.33%), cenizas (21.00%), fibra (3.00%), carbohidratos solubles (18.07%). Los insectos tienen un buen valor nutricional y alto contenido en proteína con todos los aminoácidos esenciales. La promoción de las técnicas de cultivo y conservación será una buena fuente de ingresos para las personas que cultivan estos insectos no sólo por su consumo, sino para su comercialización en ciudades urbanas.

Navam et al. (2014). Evaluaron las propiedades fisicoquímicas de una botana extrudida fortificada con proteínas, formulada para combatir la desnutrición proteica en los países en desarrollo. La desnutrición proteica es frecuente en las regiones en desarrollo del mundo y los niños son los más afectados. Se procesaron mezclas de harina de frijol, arroz, mijo y soya en un extrusor de tornillo simple. Utilizando un diseño central compuesto y la metodología de superficie de respuesta a diferentes temperaturas (190-275 °C) y velocidades de tornillo (60-110 rpm) se utilizó para obtener las mejores condiciones de extrusión para desarrollar un producto extrudido enriquecido con proteínas con características físicas, químicas y sensoriales deseables. Las propiedades sensoriales fueron evaluadas en términos de color y aceptabilidad visual global de los productos extrudidos utilizando una escala hedónica de nueve puntos. Los resultados sugieren que las dos variables de extrusión, la temperatura y la velocidad del tornillo, influyeron en las propiedades físico-químicas y sensoriales del extrudido. La capacidad de absorción y solubilidad en agua, así como el índice de absorción de aceite no se vieron afectados por las variables de extrusión. La mejor condición de extrusión se obtuvo a una velocidad de tornillo de 60 rpm y a una temperatura de barril de 190 °C sobre la relación de expansión, densidad aparente, capacidad de retención de agua, textura, color y la aceptación visual global de los productos extrudidos. Este estudio se demostró que los productos extrudidos con el

mayor contenido de proteínas son aceptables y se pueden preparar de diversas mezclas de harina de frijol, arroz y mijo bajo condiciones de extrusión optimizada mediante la incorporación de hasta un 30% de harina de soya. Este es el primer intento de producir una botana extrudida enriquecida con proteína a base de harina de soya con mijo y frijoles que se puede incluir en la comida de un niño como un cereal para el desayuno o un aperitivo para luchar contra la desnutrición proteica.

Navarro-Cortez *et al.* (2016). Prepararon botanas extrudidas a partir de mezclas de harinas de semilla de calabaza (HSC) y maíz nixtamalizado (MN) usando un extrusor de tornillo simple. Las condiciones óptimas fueron a una temperatura de extrusión de 120 °C, contenido de humedad de 20 g/100 g y HSC de 10.36 g/100 g y contenido de proteína de 11.74 g/100 g. Los resultados indicaron que el índice de expansión (IE), densidad aparente (DA) y la diferencia total de color (ΔE) se vieron afectados de manera significativa ($P < 0.05$) por el aumento de la proporción de HSC. La temperatura afecto significativamente negativamente ($P < 0.05$) el IE y dureza, mientras que el aumento de contenido de humedad sólo causó un aumento significativo ($P < 0.05$) en el índice de absorción de agua (IAA). Obtuvieron una botana extrudida que podría ser considerada como un alimento funcional con beneficios nutricionales y de salud.

2.8. JUSTIFICACIÓN.

La población de México actualmente pasa por un gran número de problemas de salud provocados principalmente por factores como alimentación inadecuada, tradición y costumbres, entre otros. El consumo de alta cantidad de botanas con contenidos significativos de grasas y carbohidratos, y bajos en valor nutrimental, son uno de los causantes de dichos problemas. Las botanas son de un tipo de comida que es ingerida como entremés entre comidas y es adquirido normalmente en tiendas de barrio. Desafortunadamente en América Latina, son consideradas como “comida chatarra”, debido a su bajo valor nutricional y a su alto contenido de calorías, por la presencia, en gran medida, de los carbohidratos que aportan los cereales y las grasas absorbidas durante su elaboración. Ocasionando así daños a la salud como el sobrepeso y la

obesidad, enfermedades del corazón y diabetes. Dentro de esta problemática tanto consumidores, procesadores y gobiernos intentan encontrar botanas, más nutritivas y balanceadas, que se adapten al gusto de todos los consumidores, no obstante que las botanas son una parte ya natural de nuestras costumbres y que constituyen un mercado de miles de millones en todo el mundo.

En México el consumo de estos alimentos es de hace muchos años y dejar que desaparezcan sería un crimen para la población, es por ello que al menos se han realizado esfuerzos para disminuir el hábito de consumo de alimentos tipo botana, pero no ha existido mucho éxito. De esta manera, debido al hábito tan arraigado de la población por consumir alimentos botana, resulta interesante el desarrollo de este tipo de alimentos con mayor valor nutricional, que pueda servir como vehículo de importantes nutrientes, debido a su gran aceptación por la población.

Es por ello que la extrusión de mezclas de chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.) y maíz (*Zea mays* L.) podrían ser una alternativa para la elaboración de botanas con alto contenido proteico, contribuyendo así a la disminución de dichos problemas de salud. Además de que el Municipio de Tuxtepec, Oaxaca, que es donde se llevará a cabo la investigación; cuenta con las materias primas necesarias, para el desarrollo del mismo.

2.9. OBJETIVOS.

2.9.1. OBJETIVO GENERAL.

Obtener una botana extrudida a base de maíz (*Zea mays* L.) adicionada con harina de chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.).

2.9.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Caracterizar morfológicamente el chapulín.
- Realizar la caracterización química proximal de las harinas de chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.) y maíz nixtamalizado (*Zea mays*).

- Estudiar el efecto de la temperatura de extrusión, contenido de humedad, la concentración de la harina de chapulín en la harina de maíz nixtamalizado sobre las características fisicoquímicas (índice de expansión [IE], densidad aparente [DA], Textura [Dureza] color (L^* , a^* , b^* C^* , h° , ΔE , WI [índice de blancura, por sus siglas en inglés] y BI [índice de bronceado, por sus siglas en inglés] y pH), propiedades funcionales (índice de absorción de agua [IAA], índice de solubilidad en agua [ISA] e índice de absorción de aceite [IAAc]) y AQP.
- Realizar la optimización numérica del proceso de extrusión.

MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. MATERIAS PRIMAS.

Los chapulines (*Sphenarium purpurascens* Ch.) se adquirieron en el mercado local de San Juan Bautista Tuxtepec. Los granos de maíz (*Zea mays* L.) del tipo criollo fueron comprados en la localidad de Santa María Jacatepec, Oaxaca.

3.1.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL CHAPULÍN.

Se utilizó un Vernier Digital (Mitutoyo Corp., modelo CD-6, Japón). (Zepeda-Cavazos *et al.*, 2012), se tomaron muestras aleatorias (100 chapulines) y se les midió el largo (mm), espesor (mm) y grosor (mm) y se pesaron en una balanza analítica. En la Figura 10 se muestra el chapulín con sus respectivas dimensiones.

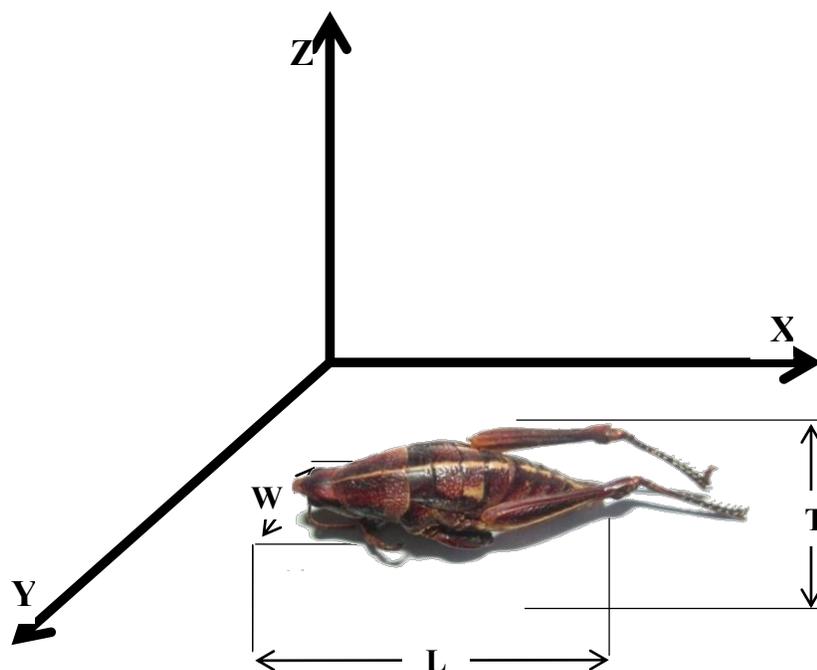


Figura 10. Dimensiones del chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.). L = Largo, T = Grosor y W = Espesor

3.1.2. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE CHAPULÍN.

Se realizó el secado de los chapulines en una estufa de secado (Binder, modelo E 28, Alemania) a 65 °C por 24 h, posteriormente se sometieron a una molienda en una licuadora industrial (Oster, Bpst02-b00, México), hasta reducir las partículas a un tamaño de malla No. 35 (0.50 mm), de acuerdo a los estándares de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés). La harina se colocó en bolsas ziploc ® y se almacenaron en un refrigerador (Mabe, RME1436XMXS2, México) a 4 °C hasta su uso.

3.1.3. OBTENCIÓN DE LA HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO.

Se preparó de acuerdo al procedimiento sugerido por Milán *et al.* (2004) y por la NMX-F-046-S-1980. Porciones de 100 g de maíz se mezclaron con una disolución de cal (1.08 g de cal /100 g de maíz) la cual se sometió a cocción a 85 °C/ 45 min; utilizando una relación grano/medio de cocción de 1:3 y se dejó reposar en el mismo recipiente durante 8 h, se eliminó la solución del cocimiento conocida como “nejayote” y el nixtamal se lavó cuatro veces con agua, se molió y se secó a 55 °C/25 h, se enfrió a temperatura ambiente y se realizó una molienda, hasta reducir las partículas a un tamaño de malla No. 35 (0.50 mm) de acuerdo a los estándares de la ASTM.

7.2. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL (AQP).

Se realizó un AQP a las harinas de chapulín y maíz nixtamalizado, así como de los productos extrudidos. Los análisis fueron determinados por triplicado de acuerdo a los métodos de la AOAC (2012), que se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Análisis químico proximal

Análisis	Método
Humedad	Pérdida de peso (925.10, AOAC, 2012)
Cenizas	Calcinación (923.03, AOAC, 2012)
Grasas	Soxhlet (920.39, AOAC, 2012)
Proteínas	Kjeldahl (920.87, AOAC, 2012)
Fibra cruda	Digestión ácida y alcalina (962.09, AOAC, 2012)
Carbohidratos	Por Diferencia

3.3. COLOR Y pH.

El color se determinó mediante un colorímetro triestimulo UltraScan vis (MiniScan Hunter Lab, modelo 45/0L, Hunter Associates Lab., Ind., U.S.A). Se obtuvieron los valores L* (Luminosidad), a* (cromaticidad rojo-verde) y b* (cromaticidad amarillo/azul), a partir de los cuales se calcularon los valores de Cromaticidad (C*) (Ec. 1), ángulo Hue (h°) (Ec.2), la diferencia total de color (ΔE) (Ec.3), índice de blancura (WI) (Saricoban y Yilmaz, 2010) (Ec.4) e índice de saturación (BI) (Saricoban y Yilmaz, 2010; Gupta *et al.*, 2011) (Ec.5).

El pH se midió con un potenciómetro (ULTRABASIC DENVER UB-10 ®, U.S.A.), dispersando las harinas en agua a 25 °C. Para la determinación se mezcló 1 g de harina con 10 mL de agua destilada y se midió con el potenciómetro, previamente calibrado con tres soluciones buffer pH 4, 7 y 11.

$$C^* = ((a^* + (b^*))^{0.5} \quad \text{Ec. 1.}$$

$$h = \text{arc tan}(b^* / a^*) \quad \text{Ec. 2.}$$

$$\Delta E = [(L_s - L)^2 + (a_s - a)^2 + (b_s + b)^2]^{1/2} \quad \text{Ec. 3.}$$

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ec. 4.}$$

$$BI = \frac{[100 * (X - 0.31)]}{0.17} \quad \text{Ec. 5.}$$

$$\text{Donde } X = \frac{(a^* + 1.75 * L^*)}{(5.645 * L^* + a^* - 3.012 * b^*)}$$

7.4. PROCESO DE EXTRUSIÓN.

En la Figura 11 se presenta la fotografía del extrusor de tornillo simple utilizado (Brabender, Modelo E19/25 D, Instruments Inc. U.S.A), de laboratorio con cuatro zonas de calentamiento, fuerza de compresión del tornillo 3:1, relación longitud/diámetro (L/D) 20:1, diámetro interno del dado de salida circular de 3 mm. Antes de extrudir se realizó el mezclado de las formulaciones así como el ajuste del contenido de humedad de 18 a 22 g/100 g de acuerdo al diseño de experimentos. Los extrudidos se secaron en una estufa de secado (Binder, modelo E 28, Alemania) a 45 °C por 20 h y se almacenaron en bolsas ziploc® a temperatura de 4 °C para su análisis posterior.



Figura 11. Fotografía del extrusor de tornillo simple utilizado.

7.5. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN EN EL EXTRUDIDO.

7.5.1. ÍNDICE DE EXPANSIÓN (IE) Y DENSIDAD APARENTE (DA).

El IE se determinó de acuerdo al método de Gujska y Khan (1990), dividiendo el diámetro del producto extrudido entre el diámetro del orificio del dado de salida del extrusor. Para lo cual se utilizó un Vernier digital (Mitutoyo Corp., modelo CD-6, Japón).

La DA se determinó de acuerdo a la técnica reportada por Wang *et al.* (1993). A 20 muestras de extrudidos de aproximadamente 5 cm seleccionados al azar, se les midió el diámetro (d) en cm y luego su longitud (L) en cm. A cada muestra se le tomaron tres mediciones del diámetro y se calculó el valor promedio. Posteriormente, se pesó cada extrudido (Pm) en g, para finalmente determinar la densidad utilizando la ecuación 6.

$$\text{Densidad (DA)} = Pm / \pi(d/2)^2 * L \quad \text{Ec. 6}$$

Los resultados se expresaron en kg m⁻³.

7.5.2. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA) E ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA).

La determinación de los índices de absorción de agua (IAA) y de solubilidad en agua (ISA) fueron determinados por triplicado de acuerdo a los procedimientos descritos por Anderson *et al.* (1969). A 1 g de muestra se le añadió 10 mL de agua destilada en tubos para centrifuga y se agitaron en vortex (Vortex-2 Genie, Model G-560, Scientific Industries, INC, U.S.A) durante 30 s. Posteriormente, la muestra se centrifugó a 3500 rpm durante 15 min, usando una centrifuga (Universal Compact Centrifuge HERMLE

Labortechnik GmbH Mod Z 200 A, Germany). El sobrenadante se decantó y se evaporó hasta que se secó, en una estufa de secado (Binder, modelo E 28, Alemania) a 110 °C; el residuo se pesó, se expresó en porcentaje y se consideró como ISA por medio de la ecuación No. 7.

$$\text{ISA} = (\text{Peso de sobrenadante seco} / \text{peso de la muestra seca}) \times 100 \quad \text{Ec. 7.}$$

Después de decantar el sobrenadante, el sedimento remanente en el tubo se pesa y se expresa como g de agua absorbida por g de muestra seca para obtener el IAA por medio de la ecuación No 8.

$$\text{IAA} = \text{Peso de sedimento} / \text{peso de la muestra seca} \quad \text{Ec. 8.}$$

Los resultados se expresan como gramos de agua retenida por gramo de muestra para IAA e ISA en porcentaje.

3.5.3. ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE ACEITE (IAAc).

Se estableció la capacidad de absorción de aceite de acuerdo al procedimiento descrito por Beuchat (1977), en el cual a 1 g de muestra se le añade 10 mL de aceite de maíz, en tubos para centrifuga (Universal Compact Centrifuge HERMLE Labortechnik GmbH Mod Z 200 A, Germany) y se agitan en vortex (Vortex-2 Genie, Model G-560, Scientific Industries, INC, U.S.A) durante 30 s y se centrifugan a 3500 rpm durante 15 min (Universal Compact Centrifuge HERMLE Labortechnik GmbH Mod Z 200A, Germany). Los resultados se expresan como gramos de aceite retenido por gramo de muestra, utilizando la ecuación No 9.

$$\text{IAAc} = \text{Peso de sedimento} / \text{peso de la muestra seca} \quad \text{Ec. 9.}$$

3.5.4. TEXTURA (DUREZA).

Para la textura se determinó el parámetro de dureza en los extrudidos. Se tomaron piezas extrudidas de 5 cm de longitud, con un texturómetro universal (Texture Analyser TA-XT2i Texture Technologies Corp., Sacrsdale NY/stable MicroSystems, U.K). Se usó una cuchilla Warner Bratzler a una distancia de 45 mm. Las muestras fueron colocadas sobre una plataforma de 1 cm de espesor, con una ranura. Se realizaron 20 mediciones por tratamiento y se reportó la fuerza máxima requerida en newton (N).

3.5.5. EVALUACIÓN SENSORIAL.

Se realizó una evaluación sensorial de aceptación, mediante una escala hedónica de 7 puntos (1 = Me disgusta extremadamente a 7 = me gusta extremadamente) de aceptación general. A 50 consumidores (Gan *et al.*, 2007).

3.5.6. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE DATOS.

La Tabla 7 muestra las variables analizadas en el diseño central compuesto y la Tabla 8 las variables independientes y niveles de diseño experimental expresados en unidades codificadas y reales para el proceso de extrusión. Se realizó un diseño de experimentos central compuesto con tres variables independientes usando un paquete estadístico comercial (Design-Expert 7.0.0 Statease Inc., USA). Las variables independientes consideradas fueron la temperatura de extrusión (120-180 °C) (X_1), contenido de humedad (18-22 g/100g) (X_2) y la concentración de harina de chapulín en la harina de maíz nixtamalizado (0-40 g/100g) (X_3), manteniendo constante el velocidad de alimentación en g/min y la velocidad de tornillo (100 rpm). Las variables de respuestas fueron: características fisicoquímicas (índice de expansión [IE], densidad aparente [DA], Textura [Dureza] color [L^* , a^* , b^* C^* , h° , ΔE , WI, BI] y pH), análisis químico proximal (humedad, extracto etéreo, proteína y cenizas) y propiedades funcionales (índice de adsorción de agua [IAA], índice de solubilidad en agua [ISA] é índice de absorción de aceite [IAAc]). Los resultados se analizaron por medio de

regresión lineal múltiple. La significancia estadística de los términos de la regresión se examinó mediante el análisis de varianza (ANDEVA), para cada respuesta. Se realizó una comparación de medias por el método de Fisher ($p < 0.05$).

3.5.7. OPTIMIZACIÓN NUMÉRICA.

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

Tabla 7. Variables analizadas en el diseño central compuesto

Variable	Código	Niveles				
		-1.68	-1	0	1	1.68
Temperatura (°C)	X_1	120	132.16	150	167.81	180
Contenido de humedad (g/100 g)	X_2	18	18.81	20	21.19	22
Concentración de chapulín (g/100 g)	X_3	0	14.19	35	55.81	70

Tabla 8. Variables independientes y niveles de diseño experimental expresados en unidades codificadas y reales para el proceso de extrusión.

Variables independientes						
No. Tratamientos	Código			Actual		
	X_1	X_2	X_3	Temperatura (°C)	Contenido de humedad (g/100 g)	Concentración de chapulín (g/100 g)
1	-1	-1	-1	132.16	18.81	8.11
2	1	-1	-1	167.84	18.81	8.11
3	-1	1	-1	132.16	21.19	8.11
4	1	1	-1	167.84	21.19	8.11
5	-1	-1	1	132.16	18.81	31.89
6	1	-1	1	167.84	18.81	31.89
7	-1	1	1	132.16	21.19	31.89
8	1	1	1	167.84	21.19	31.89
9	-1.682	0	0	120	20	20
10	1.682	0	0	180	20	20
11	0	-1.682	0	150	18	20
12	0	1.682	0	150	22	20
13	0	0	-1.682	150	20	0
14	0	0	1.682	150	20	40
15	0	0	0	150	20	20
16	0	0	0	150	20	20

17	0	0	0	150	20	20
18	0	0	0	150	20	20
19	0	0	0	150	20	20
20	0	0	0	150	20	20

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DEL CHAPULÍN.

Los resultados mostraron que los chapulines presentaron un peso promedio de 0.29 g, con un largo de 25.91 mm, espesor 7.10 mm y grosor 8.07 mm. Estos resultados fueron similares a los datos obtenidos por Aragón (2011) y Bustillos-Rodríguez *et al.* (2014), en la que realizaron mediciones del chapulín del Estado de Hidalgo. Reportaron un largo de 31.75 y 24 mm respectivamente. En otro estudio realizado por Jiménez *et al.* (2010), en Xochimilco, los chapulines recolectados de la Ciudad de México presentaron un tamaño de 20.75 mm de largo por 7.8 mm de ancho.

Los adultos presentaron un marcado dimorfismo sexual, generalmente las hembras fueron más grandes, robustas y corpulentas (Castellanos-Vargas y Cano-Santana, 2009). De acuerdo a Huerta *et al.* (2014), en un estudio realizado en el Estado de Hidalgo, los machos midieron 25 ± 0.5 mm de largo por 7 ± 0.7 mm en su parte más ancha y las hembras midieron 30 ± 0.5 mm de largo por 8 ± 0.09 mm en su parte más ancha presentando coloración más notoria, y tomando en cuenta otras características como son cabeza más grande, antenas más cortas, ojos más pequeños, entre otras. Sin tomar en cuenta si los chapulines son hembras o machos, la dimensión del insecto va a depender de la vegetación en donde los individuos se desarrollan y forrajean (Huerta *et al.*, 2014). La vegetación del Estado de Oaxaca, así como el clima y otras condiciones lo hace un lugar adecuado para el desarrollo de este insecto.

4.2. CARACTERIZACIÓN PARCIAL DE LAS HARINAS.

En la Tabla 9 se observa la caracterización química proximal de la harina de chapulín y maíz nixtamalizado. Ambas harinas presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en todas las determinaciones, excepto en el contenido de grasa. Esto es debido a que son materias primas totalmente diferentes, una de origen animal y la otra vegetal.

El contenido de humedad en los dos casos los valores fueron menores al máximo permitido para el producto, de acuerdo a la NOM-147-SSA1-1996 en la que los valores

máximos permitidos para harinas fue de 15%, obteniéndose para la HMN una humedad de 6.92% y para la harina de chapulín 2.76%. La NOM NMX-F-046-S-1980, estableció que las harinas de maíz nixtamalizado deben tener una humedad menor al 11%.

Tabla 9. Caracterización química proximal de la harina de chapulín y maíz nixtamalizado. (Base seca)

Componente (g/100g)	HMN	HC
Humedad*	6.92 ± 0.29 ^a	2.76 ± 0.17 ^b
Proteína ¹	10.53 ± 0.53 ^a	52.74 ± 0.04 ^b
Grasa	10.47 ± 0.54 ^a	10.51 ± 0.46 ^a
Fibra	1.81 ± 0.14 ^a	6.22 ± 0.65 ^b
Cenizas	1.43 ± 0.07 ^a	3.58 ± 0.10 ^b
Carbohidratos ²	75.72 ± 1.26 ^a	26.95 ± 0.11 ^b

Los resultados representan el promedio de 3 determinaciones ± Desviación estándar. Letras diferentes en una misma fila indica diferencia estadísticamente significativa ($p > 0.05$). *Base humedad. ¹El factor utilizado fue de 6.25. ²El valor fue obtenido por diferencia. HMN=Harina de maíz nixtamalizado, HC=Harina de chapulín.

La harina de maíz nixtamalizado, que presentó 6.92% de humedad, se encontró por debajo del límite superior al máximo permitido (11%) en la NOM NMX-F-046-S-1980, de harina de maíz nixtamalizado, comparado con los resultados obtenidos por Rodríguez-Miranda *et al.* (2011) fueron de 11.69%, rebasando el límite permitido de la NOM NMX-F-046-S-1980, esto podría ser debido a la forma de empleo de la técnica de secado, así como a los equipos de secado utilizados. El contenido de proteína, fibra y cenizas fueron

similares a los datos reportados por Rodríguez-Miranda *et al.* (2011) y se encontraron dentro de los valores mínimos y máximos establecidos en la NOM NMX-F-046-S-1980, en la que para proteínas establece como mínimo 8%, para fibra como máximo en 2%, extracto etéreo mínima de 4% y cenizas máxima de 1.5%. En general, las cenizas representan el contenido de materia inorgánica, principalmente minerales de un alimento. El contenido de cenizas pudo ser debido la composición de minerales que tiene el tipo de suelo donde fueron sembradas las plantaciones de maíz, es por ello que plantaciones que estén en suelos ricos en nutrientes minerales, presentan mayor contenido de cenizas y por lo tanto mayor cantidad de minerales. Por otro lado este contenido de cenizas en la harina de maíz nixtamalizado pudo ser debido a la adición de hidróxido de calcio en el proceso de nixtamalización, ya que al adicionar esta sustancia incrementan los minerales. El aumento de las proteínas en la HMN se le atribuye a la biodisponibilidad de la lisina, de la glutelina, que ocurre durante el proceso de nixtamalizado, de igual forma al incremento del triptófano y la niacina en el maíz (Badui, 2006). El mayor componente en la harina de maíz nixtamalizado fueron los carbohidratos (75.72%), comparando este resultado con el reportado por Rodríguez-Miranda *et al.* (2011) (66.86%) fue mayor el resultado que se obtuvo, esto se atribuye a los lavados en el proceso de nixtamalización, este componente se pierde al aplicar severos lavados, solubilizándose en el nejayote. Tal como mencionan Rostro-Alanís (2014) en el que durante el lavado, un alto porcentaje de sólidos solubles (vitaminas, proteínas, lípidos y azúcares), y pericarpio fueron eliminados en el “nejayote”, en un total que va del 2 al 4% P/P del total del peso del grano. Sahai *et al.* (2000) mencionan que la temperatura de cocción y la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, son los factores más críticos en la influencia de la pérdida de sólidos solubles, por encima de los tiempos de cocción y remojo.

El contenido de proteínas y grasas del chapulín encontrado en este estudio fue similar al encontrado por otros autores, Sánchez *et al.* (2009) reportaron un contenido de proteínas de 54.92% y grasas de 11.83%. En fibra y carbohidratos presentaron mayor diferencia ($p < 0.05$) (1.42 y 16.36% respectivamente). Estas diferencias pudieron ser debidas al manejo de las técnicas o a la diferencia de procedencia de los chapulines, los que reporta

Sánchez *et al.* (2009), son del Estado de Hidalgo, por lo cual tuvieron una vegetación y forraje diferente. Ramos-Elorduy, *et al.* (2002) reportaron un contenido de proteínas en chapulines de 57.0 a 70.72%. En los resultados reportados por estos autores se observó que el mayor componente fueron las proteínas. En el contenido de extracto etéreo, los chapulines no presentaron datos similares a lo reportado por Ramos-Elorduy, *et al.* (2002), ellos obtuvieron un contenido mayor de 11.05%. Son escasas las fuentes científicas de este componente en lo que se refiere a insectos, aquellos que tienen contenidos elevados de extracto etéreo son holometábolos y en estado larval son muy ricos en grasa, como por ejemplo algunas especies de gusanos (gusanillo *Phasus triangularis* con 62.20% y el gusano rojo de maguey *Xyleutes redtembacheri* 58.95%). Para el contenido de cenizas los chapulines no presentan elevados contenidos en comparación con otros insectos como el Axayacatl (12.40%) y el Ahuahutle (8.10%), es probable que esta alta proporción de sales se deba al hábitat donde se desarrollan (lagos alcalinos). Por otro lado los chapulines poseen un contenido de fibra cruda de 9.41%. Algunos autores mencionaron que la digestibilidad de los componentes químicos o principios inmediatos de los alimentos presentan distinta digestibilidad; ésta depende, por una parte, de la proporcionalidad de los distintos componentes entre sí, pero el que influye de manera decisiva es la fibra cruda, ya que además de su poca o nula digestibilidad (de acuerdo al animal que lo consume), su presencia en grandes cantidades disminuye la digestibilidad de los otros componentes, lo cual les confiere a los insectos el ser altamente digestibles "*in vitro*" e "*in vivo*" (Gamboa 1997; Martínez, 1984; Ramos-Elorduy y Pino, 1981; Ramos-Elorduy *et al.*, 1986; Rumpold, 2013). El contenido de proteínas de la harina del chapulín encontrado en esta investigación fue elevado (52.74%), mientras el contenido de harina de maíz nixtamalizado fue menor (10.53%).

4.2.1. DETERMINACIÓN DE pH Y COLOR DE LAS HARINAS.

En la Tabla 10 se muestran los resultados del pH y color de las materias primas. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$). Estas diferencias se deben a la composición de origen de las harinas, como pueden ser los ácidos orgánicos.

El pH y el color en la HMN se pueden relacionar con la cal agregada en la preparación, la intensidad del lavado y el tipo de maíz utilizado. Un pH alto se puede obtener incrementando la concentración de cal durante el cocimiento o reduciendo el número de lavados del nixtamal (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

El pH de la HMN fue de 7.04, dato similar a los estudios de Bedolla y Rooney (1984) los cuales reportaron que el pH promedio de las harinas nixtamalizadas mexicanas fue de 7.4, ya que el pH de la HMN como se mencionó antes, está relacionado con la cantidad de álcali usado durante la nixtamalización y con la intensidad del lavado del nixtamal, por lo cual no hubo un lavado tan severo en este trabajo, de lo contrario el pH habría sido más bajo, tal como lo reportado por Rodríguez-Miranda *et al.* (2011), en el que reportan un pH de 6.32 en la HMN, valor por debajo del promedio establecido. La diferencia de pH entre ambas harinas se le puede atribuir a las diferentes materias primas utilizadas, siendo una de origen animal y la otra de origen vegetal. Además la HMN presentó mayor pH debido al proceso térmico-alcalino por el cual se obtuvo.

El color en la HMN, el valor de luminosidad L^* (que va de oscuro a claro) presentó diferencia significativa ($p > 0.05$) en ambas harinas, la HMN se encontró en 81.78 y en la HC fue de 50.02, siendo la HMN más clara que la HC, esto puede ser atribuido a que son dos materias primas distintas, por lo tanto hay diferentes pigmentos en ambas. Este resultado de luminosidad en la HMN fue similar comparado con otros autores como Rodríguez-Miranda *et al.* (2011) el cual obtuvo un valor de 85.3. El valor de a^* (tonalidad de rojo [$+a^*$] a verde [$-a^*$]) en la HMN fue de 0.3 presentó una tendencia hacia rojo pero muy ligeramente, a diferencia de la HC la cual fue más roja (con un valor de 9.42). Para el parámetro b^* (tonalidad de amarillo [$+b^*$] a azul [$-b^*$]) ambas harinas tuvieron tendencia hacia el amarillo, con un valor más alto en la HMN (HMN=13.94, HC=11.23). Esto

probablemente se debe a que la nixtamalización generó una tonalidad amarilla en la harina, la intensidad de esta tonalidad depende del porcentaje de pericarpio que el grano retiene después de la nixtamalización. Si retiene más pericarpio, la tonalidad amarilla es más intensa que si retiene poco. Se ha reportado que el color está asociado con el patrón de antocianinas presentes en la muestra y posiblemente a la protección que el pericarpio pudiera proporcionar a los pigmentos (Salinas-Moreno *et al.*, 2003). En el proceso de nixtamalización se conjugan dos de los factores a los que las antocianinas son más susceptibles (pH y temperatura) (Markakis, 1982), aunque el tiempo sea corto, las condiciones al ser drásticas son suficientes para destruir el pigmento del pericarpio del grano. Debido a que el pH de la HMN fue más alcalino, el anillo de piridium de la antocianina se rompe, y el color azul desaparece para dar paso a una coloración amarillo pálida. Esta etapa no es muy estable y el color amarillo desaparece más o menos rápido, dependiendo del pH. Una vez que se alcanza este estado, aun cuando se acidifique el medio, ya no es posible regenerar la estructura de la antocianina, y entonces se puede decir que el pigmento se ha destruido (Brouillard, 1982).

Tabla 10. pH y color de las harinas de maíz nixtamalizado. (HMN) y de chapulín (HC).

Parámetros	HMN	HC
pH	7.04 ± 0.01 ^a	3.95 ± 0.03 ^b
Color	L*	81.78 ± 1.26 ^a
	a*	0.3 ± 0.08 ^a
	b*	13.94 ± 0.02 ^a
	C*	13.94 ± 0.61 ^a

h°	88.76 ± 0.08 ^a	50.00 ± 0.02 ^b
ΔE	22.49 ± 0.27 ^a	51.54 ± 0.25 ^b

Los resultados representan el promedio de 3 determinaciones ± Desviación estándar. Letras diferentes en una misma fila indica diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$).
 ΔE=Diferencia total de color.

En el parámetro de C* (saturación), los colores en el centro son grises (apagados) y conforme avanzan hacia la contorno se vuelven más saturados (vivos), ambas harinas tienden a tener un color más saturado, nos obstante la HC es más saturada (14.65) que la HMN (13.94). De acuerdo a los resultados obtenidos del valor de h° para la HC fue de 50.00 mostrando un rojo intenso y para la HMN de 88.76 el cual representó un amarillo aún más intenso. Este dato fue similar al reportado por Rodríguez-Miranda *et al.* (2011) en el que reportaron un valor para h° de 87.2 para la HMN.

En la Tabla 10 también se muestra la ΔE en la que se observó que ambas harinas presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$), en la HMN fue de 22.49, mientras que para la HC de 51.54.

Por otro lado es importante mencionar que actualmente no existen reportes sobre parámetros de color (L*, a*, b*, C*, h° y ΔE) en harinas de chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.).

4.3. PROCESO DE EXTRUSIÓN.

La Figura 12 muestra imágenes de la apariencia visual de los productos extrudidos que se obtuvieron a partir de los diferentes tratamientos, en las cuales se observaron diferencias visuales. La extrusión de las mezclas de HMN/HC extrudidas se procesó bajo las condiciones establecidas de acuerdo al diseño experimental. Los productos presentaron expansión y el transporte de la harina a través del barril fue constante y fluido. Los tratamientos que presentaron mayor dificultad durante el procesamiento fueron las mezclas de mayor concentración de harina de chapulín, esto debido a los

componentes de esta harina, con el alto contenido de proteínas, hacían más compleja su salida, por lo que la velocidad constante del producto se vio reducida.



Figura 12. Productos extrudidos obtenidos a partir de las mezclas de harinas de maíz nixtamalizado y chapulín.

4.4. EFECTO DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES SOBRE LAS VARIABLES DE RESPUESTA DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN.

4.4.1 EFECTO DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES (TEMPERATURA, CONTENIDO DE HUMEDAD, CONCENTRACIÓN DE HARINA DE CHAPULÍN) SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS.

La Tabla 11 muestra los coeficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para el IE, DA, Textura y pH. La temperatura en su término lineal presentó efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en IE, DA y Textura, los cuales se observaron en las Figuras 13 A, 14 A y 15 A respectivamente. La humedad en su término lineal solo presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en el IE esto se observó en la Figura 13 A, mientras que la concentración de harina de chapulín en su término lineal presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en DA presentado en la Figura 14 B y efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en el IE, la textura y el pH, lo cual se observó en las Figuras 13 B, 15 B y 16 A respectivamente.

La temperatura en su término lineal cuadrático presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en la textura y efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en IE y DA. El contenido de humedad en su término cuadrático solo presentó efecto significativo en IE. La concentración de harina de chapulín en su término cuadrático presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en IE y pH y efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en DA. Por otra parte las interacciones de temperatura-humedad presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en IE, de igual forma las interacciones temperatura-concentración de harina de chapulín presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en IE y Textura y efecto significativo ($p < 0.05$) en DA. Mientras que las interacciones humedad-concentración de chapulín únicamente presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) en IE.

En la Tabla 12 se observó que el máximo IE se obtuvo en el tratamiento 1, 3, y 13 en los cuales se adicionó una menor concentración de HC y el mínimo IE en los tratamientos 6 y 8, los cuales tenían un mayor contenido de HC.

En las Figuras 13 A y B respectivamente se observó que el IE tuvo tendencia a disminuir a mayores concentraciones de humedad y temperatura, así como a mayores concentraciones de harina de chapulín. Esta disminución se atribuyó al elevado contenido de proteínas. Así como lo reportaron Robin *et al.* (2011) en una amplia investigación donde demostraron que mezclas de materias primas con almidón y poca proteína aumenta el índice de expansión del producto extrudido. Otros autores corroboraron esto en otro estudio y concluyeron que con la inclusión materias primas con altos contenidos de proteínas puede reducir la expansión y la densidad de productos finales (Parada *et al.*, 2011; Aravind *et al.*, 2012). Así mismo la expansión disminuye a temperaturas muy elevadas y se atribuye el aumento en la dextrinización del almidón y el debilitamiento de la estructura (Rojas-Rodríguez, 2013).

La densidad aparente presentó una correlación significativa con el IE, indicando así que las mezclas con mayor IE presentaron menores valores de DA. A mayor contenido de proporción de harina de chapulín aumentó la DA, debido a que ésta es inversamente proporcional al IE, ya que al obtener un producto con un IE alto su estructura será más porosa por lo que la densidad del producto será menor y lo mismo sucede al inverso, un producto con bajo IE tendrá una estructura más compacta por lo que su densidad aparente será mayor. Esto lo podemos observar en las Figuras 14 A y B respectivamente. Algunos autores mencionaron que este comportamiento dependió del índice de expansión, debido a que es un factor importante a ser monitoreado porque afecta a la densidad, fragilidad, y la suavidad de los productos extrudidos. Además, el índice de expansión del material extrudido está estrechamente relacionado con el tamaño, el número y la distribución de aire que rodea las células del material cocido (Kannadhason y Muthukumarappan, 2010). Algunos autores han reportado que para valores de humedad entre 12 y 18%, junto con bandas de temperaturas mínimas, 60 a 63 °C, y máximas, 107-110 °C, se obtienen valores máximos para el índice de expansión. Onwulata *et al.* (2003) informaron que la expansión se incrementa con la elevación de la temperatura, debido a la menor viscosidad, lo que permite ampliar la masa fundida más rápido.

En la extrusión a baja temperatura, la expansión disminuye debido a que el almidón no se pierde por completo. El grado de expansión radial es proporcional a la temperatura a un valor determinado y luego disminuye a temperaturas elevadas. De esta manera tanto la temperatura de extrusión como el contenido de humedad durante el proceso de extrusión son parámetros muy importantes en la expansión de los extrudidos (Fernández-Gutiérrez, 2008).

Tabla 11. Coeficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para las características físico-químicas de los productos extrudidos obtenidos.

Coeficientes	Respuestas				
	IE	DA (Kg m ⁻³)	Textura (Dureza) (N)	pH	
Intercepto	6.012*	1.058*	31.143*	4.810	
Lineal	X ₁	-8.293*	-0.140*	-8.000*	0.102
	X ₂	15.633*	0.005	1.720	-0.071
	X ₃	-13.055*	0.219*	-6.843*	-0.611
	X ₁ ²	-0.176*	-0.093*	2.799*	-0.015
Cuadrático	X ₂ ²	10.831*	-0.010	0.911	0.001
	X ₃ ²	0.155*	-0.098*	0.840	0.247
	X ₁ X ₂	-8.047*	-0.007	-0.982	-0.130
Interacción	X ₁ X ₃	-0.147*	0.123*	-3.759*	0.045
	X ₂ X ₃	13.721*	0.001	-1.323	-0.123
R ²	0.900	0.900	0.902	0.910	

Los números en negrita indican los parámetros de las estimaciones significativas. (X₁: Temperatura (°C), X₂: contenido de humedad (g/100g), X₃: concentración de harina de chapulín (g/100g). IE=Índice de expansión, DA=Densidad aparente, Textura (Dureza) y pH.

Tabla 12. Propiedades fisicoquímicas del producto extrudido.

No. Tratamientos	IE	DA (Kg m⁻³)	Textura (Dureza) (N)	pH
1	1.43 ± 0.16	0.85 ± 0.25	37.89 ± 13.27	5.47 ± 0.05
2	0.18 ± 0.01	0.33 ± 0.06	34.08 ± 5.85	5.73 ± 0.00
3	1.44 ± 0.12	0.88 ± 0.15	48.49 ± 17.26	5.47 ± 0.01
4	0.18 ± 0.01	0.29 ± 0.04	41.08 ± 51.86	5.72 ± 0.03
5	1.23 ± 0.06	1.04 ± 0.11	35.14 ± 17.9	4.34 ± 0.02
6	0.09 ± 0.00	0.97 ± 0.11	16.63 ± 3.12	5.29 ± 0.01
7	1.21 ± 0.07	1.03 ± 0.12	40.78 ± 8.70	4.36 ± 0.01
8	0.09 ± 0.00	0.97 ± 0.11	18.02 ± 5.49	4.28 ± 0.01
9	1.35 ± 0.06	1.08 ± 0.14	58.29 ± 24.08	4.71 ± 0.00
10	0.11 ± 0.01	0.69 ± 0.08	24.55 ± 13.16	4.72 ± 0.01
11	1.17 ± 0.08	1.09 ± 0.12	36.42 ± 9.93	4.75 ± 0.00
12	1.10 ± 0.05	1.15 ± 0.11	35.74 ± 10.18	4.77 ± 0.01
13	1.75 ± 0.15	0.47 ± 0.09	48.51 ± 8.96	6.71 ± 0.06
14	1.01 ± 0.03	1.27 ± 0.11	23.25 ± 3.31	4.20 ± 0.01
15	1.20 ± 0.08	0.93 ± 0.18	29.27 ± 6.88	4.79 ± 0.08
16	1.06 ± 0.04	1.13 ± 0.14	28.00 ± 9.77	4.79 ± 0.06
17	1.11 ± 0.05	0.96 ± 0.12	39.42 ± 8.96	5.14 ± 0.01
18	1.10 ± 0.05	1.06 ± 0.09	32.42 ± 7.23	4.64 ± 0.04
19	1.09 ± 0.03	1.17 ± 0.08	34.25 ± 7.94	4.73 ± 0.00
20	1.04 ± 0.04	1.07 ± 0.12	26.87 ± 8.53	4.79 ± 0.06

En la Figura 15 A y B respectivamente, se visualizó que la dureza tuvo tendencia a disminuir a mayores concentraciones de humedad y harina de chapulín, esto se atribuyó de igual forma el elevado contenido de proteínas, tal como lo mencionan algunos autores al aumentar las proteínas la matriz del alimento se hace más compacta y por lo tanto más rígida y difícil de romper. La dureza del alimento es una propiedad importante, ya que cuando se rebasan ciertos límites de dureza y suavidad la tasa de ingestión se ve afectada (Maga y Liu, 1993; McShanek *et al.*, 1994). La fuerza de corte puede estar directamente relacionada con el grado de gelatinización y degradación del almidón (Pérez-Navarrete *et al.*, 2007). Por otro lado algunos autores mencionaron que la textura de las botanas extrudidas depende principalmente de la interacción de cizallamiento, el calor y la humedad presente en el extrusor. La humedad tiene una gran influencia en la calidad de los productos extrudidos al afectar a la estructura de la célula y por lo tanto influye en la fragilidad de los productos expandidos. La calidad de los productos extrudidos se determina por las transformaciones químicas y estructurales en los alimentos durante la cocción por extrusión. Muchas de las variables del procesamiento de extrusión se pueden controlar para obtener una textura aceptable en el producto final (Kannadhasan y Muthukumarappan 2010).

Lustosa *et al.* (2010) en la elaboración de una botana a partir de yuca adicionada con caseína, reportaron que con la humedad a valores constantes al 18%, observaron menos dureza a las condiciones extremas de temperatura y proteína.

De igual forma se observó en la Figura 16 A para el pH, que éste se ve afectado por las elevadas concentraciones de harina de chapulín.

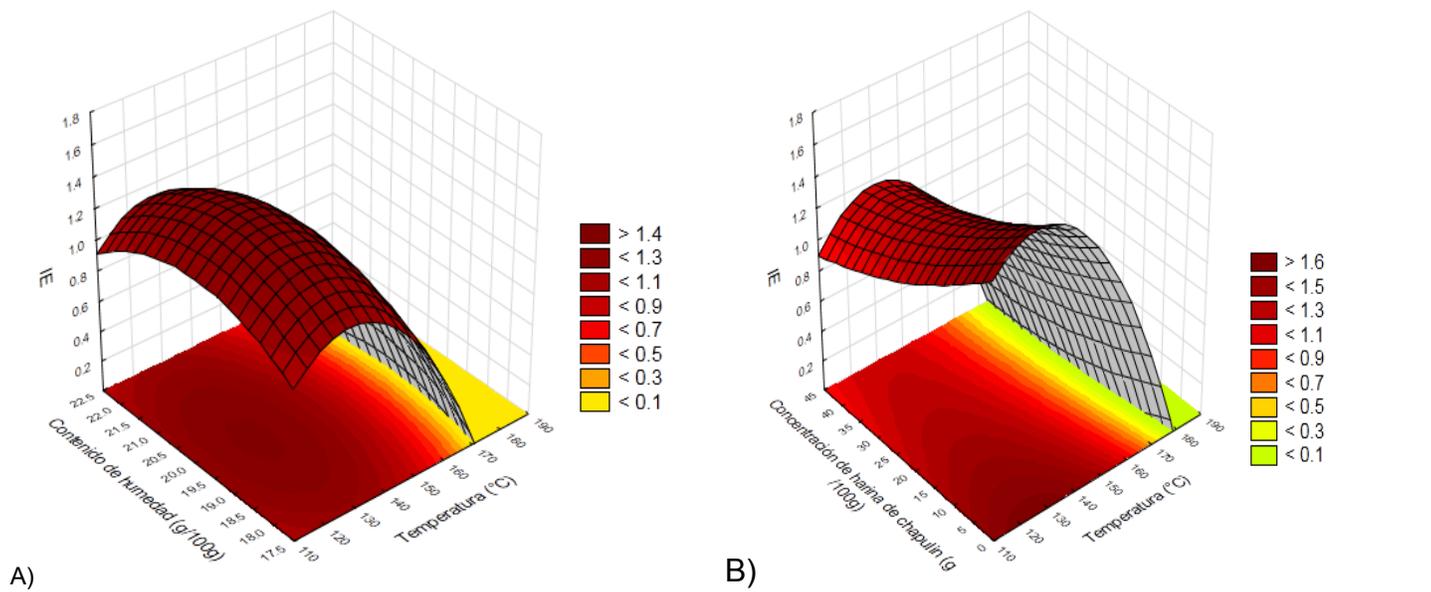


Figura 13. Gráficas de superficie de IE (índice de expansión) en función de: A) Contenido de humedad y temperaturas de extrusión, B) las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.

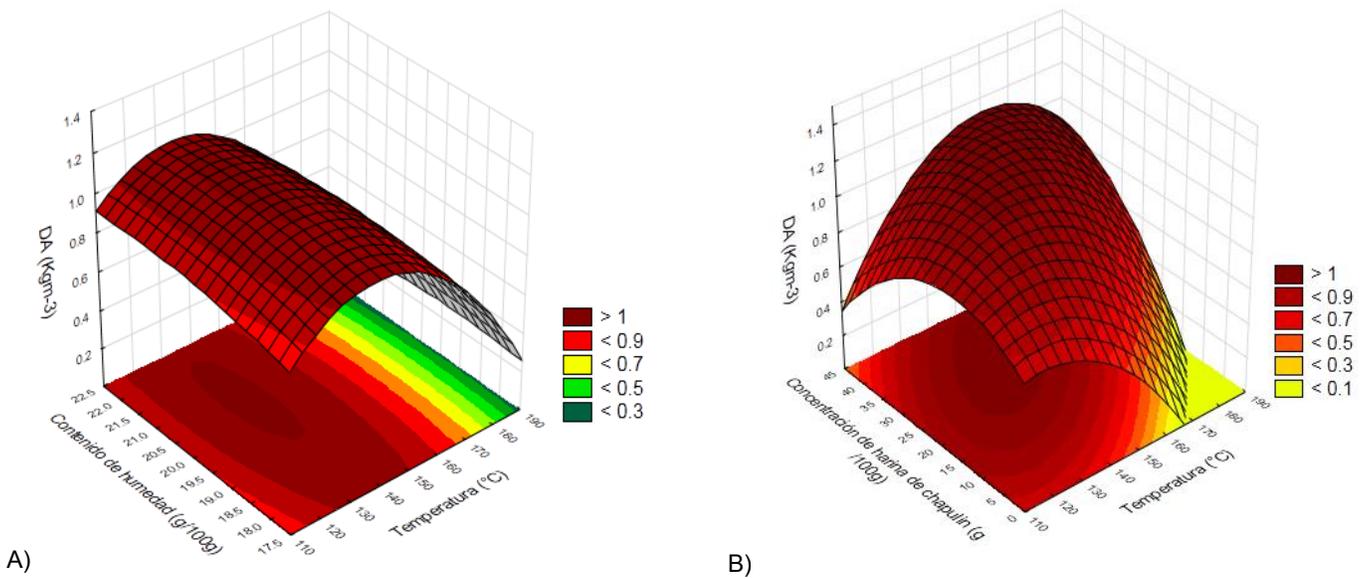


Figura 14. Gráficas de superficie de DA (densidad aparente) en función de: A) Contenido de humedad y temperaturas de extrusión, B) las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.

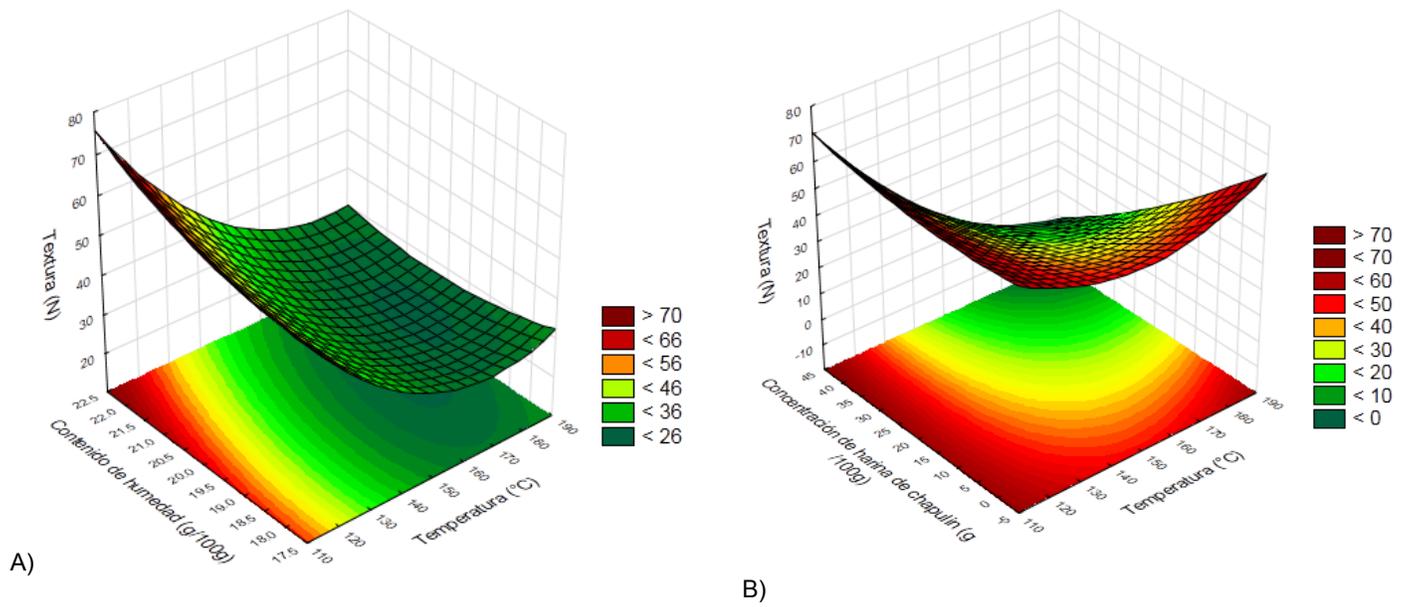


Figura 15. Gráficas de superficie de Textura (N) en función de: A) Contenido de humedad y temperaturas de extrusión, B) las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.

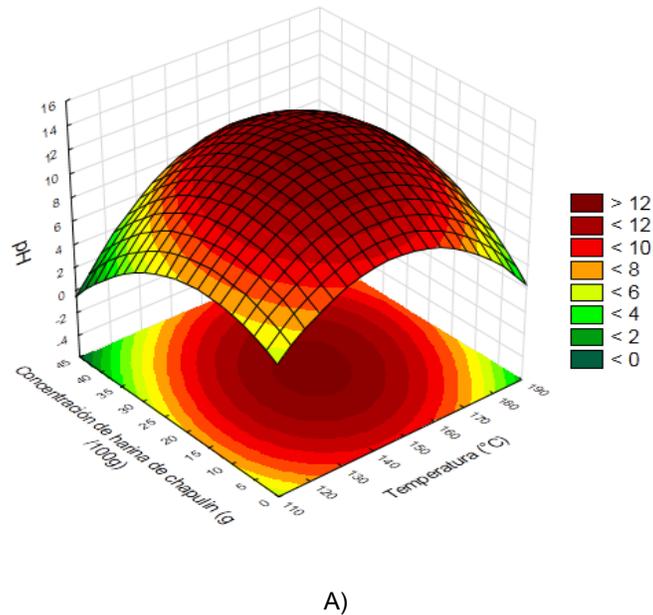


Figura 16. Gráficas de superficie de pH en función de: A) las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.

La Tabla 13 muestra los resultados de coeficiente de regresión de los extrudidos para los parámetros de color. La concentración de la harina de chapulín mostró efecto significativo ($p < 0.05$) en a^* , ΔE y WI, lo cual se observó en la Figura 17 B, F y G respectivamente y efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en L^* , b^* , C^* , h° y BI. De igual forma la concentración de harina de chapulín en su término cuadrático presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en L^* , h° y WI visualizado en la Figura 17 A, E y G respectivamente, así como efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en a^* , C^* y BI, observado en la Figura 17 B, D y H respectivamente.

La Tabla 14 muestra los parámetros de color del producto extrudido en el que se puede observar que para el parámetro L^* el máximo valor fue en los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 13 y el mínimo valor en los tratamientos 5, 6, 7, 8, y 14, presentando una mayor luminosidad los tratamientos que tienen una concentración menor de harina de chapulín en la harina de maíz nixtamalizado. Para el parámetro a^* el valor máximo se encuentra en el tratamiento 8 y el mínimo en el tratamiento 13. En lo que respecta a b^* su máximo está en el tratamiento 4 y el mínimo en el 14. En C^* el máximo se encuentra en el tratamiento 4 y su mínimo en los 6 y 14. El valor máximo en h° se encuentra en el tratamiento 13 y el menor en el 14. En el tratamiento 2 se encuentra la mayor ΔE y en el 13 la menor. Para el valor de WI el valor máximo está en el tratamiento 13 y el menor en el 14. Y para el valor de BI el mayor valor se encuentra en el tratamiento 8 y el menor en el 13.

En la Figura 17 B, F y G respectivamente, se observó que al aumentar concentración de harina de chapulín aumentaban esos parámetros (a^* , ΔE y WI, respectivamente). Esto ocurrió a la inversa en la Figura 17 A, C, D, E y H, respectivamente, ya que al aumentar la concentración de harina de chapulín se observó que estos parámetros disminuyeron. Todo esto se atribuyó a la mayor concentración de la harina de chapulín que es la que aporta la mayor coloración en los productos, así como a otras reacciones que pudieron haber ocurrido en el proceso de extrusión, como las reacciones de maillard, o a la desnaturalización de pigmentos. Pero esto todavía no es comprobado ni comparado con otros autores debido a que no existen estudios acerca de ello.

Tabla 13. Coeficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para los parámetros de color de los productos extrudidos obtenidos.

Coeficientes	Respuestas								
	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE	Wi	Bi	
Intercepto	57.817*	8.629*	14.453*	16.843*	59.199*	44.785*	54.578*	39.309*	
Lineal	X ₁	0.359	0.161	0.426*	0.450	0.334	1.894	0.135	0.850
	X ₂	0.029	0.254	0.127	0.248	-0.599	-1.946	-0.064	0.628
	X ₃	-6.244*	1.302*	-1.435*	-0.705*	-6.707*	3.486*	-5.514*	2.611*
	X ₁ ²	0.363	0.190	0.198	0.239	-0.341	0.504	0.231	0.283
Cuadrático	X ₂ ²	-0.160	0.174	0.199	0.231	-0.293	0.974	-0.245	0.664
	X ₃ ²	0.915*	-1.001*	-0.343	-0.600*	2.575*	-0.259	0.984*	-2.189*
Interacción	X ₁ X ₂	0.247	0.567	0.172	0.456	-1.590	-3.474	0.047	0.979
	X ₁ X ₃	-0.243	-0.512	-0.168	-0.391	1.555	-3.400	-0.037	-0.791
	X ₂ X ₃	-0.134	0.593	-0.019	0.278	-1.798	3.638	-0.204	0.874
R ²	0.970	0.800	0.880	0.800	0.865	0.800	0.960	0.850	

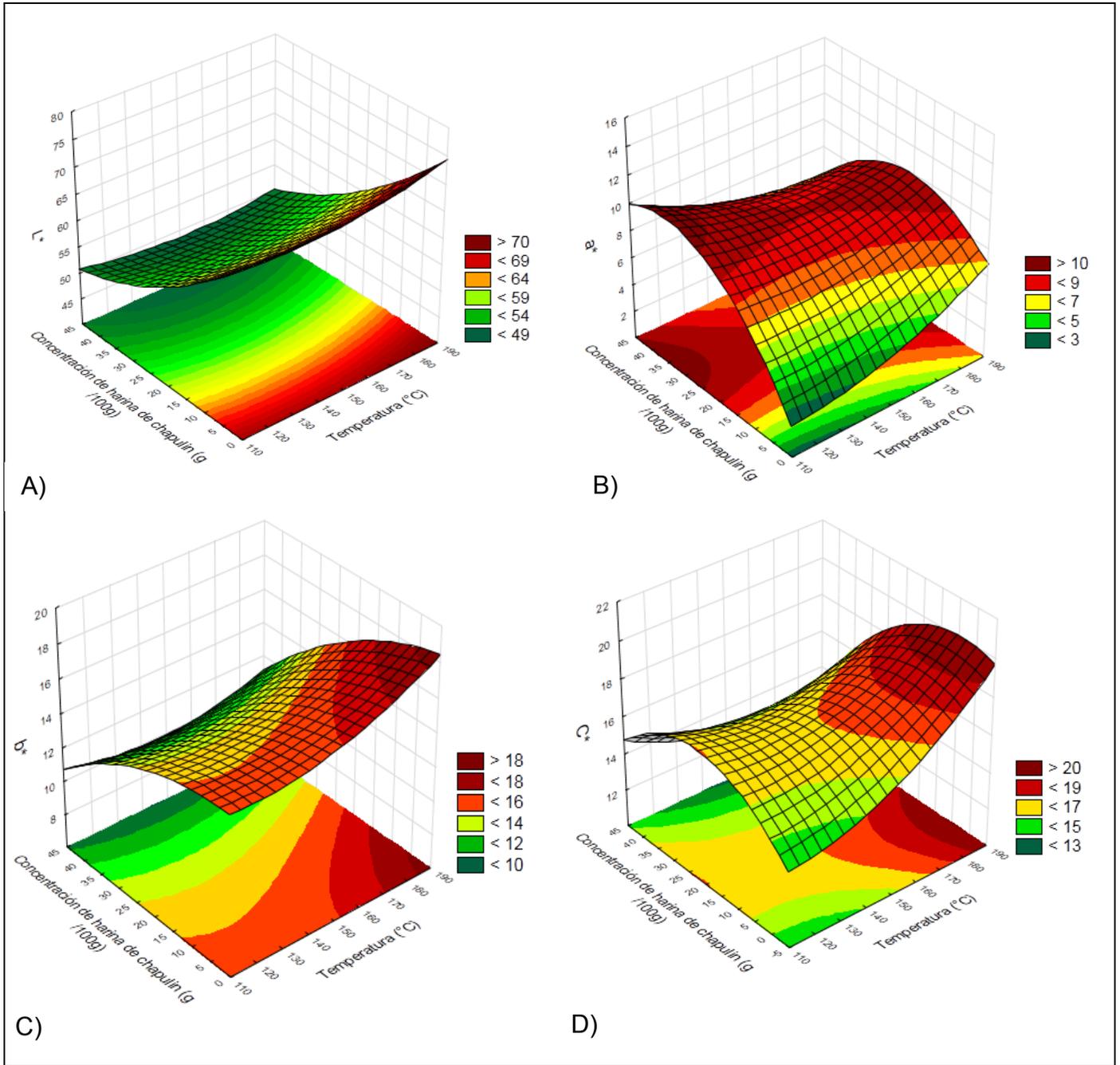
Los números en negrita indican los parámetros de las estimaciones significativas. (X₁: Temperatura (°C), X₂: contenido de humedad (g/100g), X₃: concentración de harina de chapulín (g/100g). Parámetros de color: L*, a*, b*, C*, h°, ΔE= diferencia total de color, Wi= índice de blancura y Bi= índice de saturación.

Tabla 14. Parámetros de color del producto extrudido.

No. Tratamientos	Variables dependientes							
	L*	a*	b*	C*	h°	ΔE	Wi	Bi
1	64.38 ± 0.59	7.14 ± 0.29	16.20 ± 0.50	17.70 ± 0.57	66.22 ± 0.26	39.27 ± 0.35	60.22 ± 0.35	36.66 ± 1.07
2	64.46 ± 0.88	8.09 ± 0.06	16.72 ± 0.64	18.57 ± 0.60	64.17 ± 0.70	67.08 ± 0.50	59.90 ± 0.50	38.77 ± 0.79
3	63.33 ± 0.18	6.75 ± 0.36	15.72 ± 0.40	17.11 ± 0.50	66.77 ± 0.68	39.95 ± 0.22	59.53 ± 0.21	35.90 ± 1.19
4	65.97 ± 0.70	7.71 ± 0.19	17.62 ± 0.23	19.23 ± 0.13	66.35 ± 0.79	38.63 ± 0.54	60.91 ± 0.55	39.17 ± 0.22
5	52.69 ± 0.18	9.49 ± 0.18	12.69 ± 0.12	15.85 ± 0.20	52.94 ± 0.29	49.35 ± 0.17	50.10 ± 0.17	40.28 ± 0.53
6	53.37 ± 0.11	6.14 ± 0.19	13.23 ± 0.11	14.58 ± 0.20	65.10 ± 0.31	48.33 ± 0.17	51.15 ± 0.17	36.47 ± 0.64
7	52.68 ± 0.73	9.22 ± 0.29	12.82 ± 0.27	15.79 ± 0.37	54.29 ± 0.48	49.34 ± 0.58	50.11 ± 0.59	40.26 ± 0.54
8	52.77 ± 0.50	10.39 ± 0.28	13.36 ± 0.32	16.93 ± 0.39	52.10 ± 0.58	49.66 ± 0.39	49.83 ± 0.39	43.12 ± 0.81
9	58.74 ± 0.46	8.25 ± 0.20	13.91 ± 0.34	16.17 ± 0.35	59.32 ± 0.60	43.78 ± 0.42	55.68 ± 0.42	36.88 ± 0.88
10	59.57 ± 0.13	9.72 ± 0.01	15.29 ± 0.07	18.12 ± 0.05	57.57 ± 0.12	43.82 ± 9.17	55.69 ± 0.10	41.16 ± 0.05
11	57.52 ± 0.54	8.86 ± 0.25	14.29 ± 0.32	16.82 ± 0.40	58.36 ± 0.24	45.16 ± 0.35	54.31 ± 0.35	39.41 ± 0.64
12	57.84 ± 0.59	9.01 ± 0.26	14.91 ± 1.07	17.42 ± 1.02	58.80 ± 1.39	45.09 ± 0.15	54.38 ± 0.16	40.78 ± 2.25
13	72.21 ± 0.20	1.98 ± 0.23	14.69 ± 0.46	14.82 ± 0.47	82.31 ± 0.87	30.98 ± 0.31	68.51 ± 0.30	24.28 ± 0.88
14	49.23 ± 0.07	9.25 ± 0.65	11.45 ± 0.73	14.72 ± 0.97	51.08 ± 0.17	52.30 ± 0.22	47.14 ± 0.21	39.77 ± 2.82
15	57.78 ± 0.73	8.88 ± 0.29	15.00 ± 0.27	17.43 ± 0.37	59.37 ± 0.48	45.15 ± 0.58	54.32 ± 0.59	40.86 ± 0.54

16	56.04 ± 0.76	9.13 ± 0.36	14.21 ± 0.61	16.89 ± 0.63	57.27 ± 1.05	46.55 ± 0.60	52.91 ± 0.60	40.72 ± 1.41
17	60.22 ± 0.29	7.61 ± 0.47	14.52 ± 0.63	16.39 ± 0.77	62.36 ± 2.32	42.50 ± 0.05	56.97 ± 0.05	36.42 ± 1.72
18	58.26 ± 0.74	8.47 ± 0.09	14.16 ± 0.21	16.50 ± 0.21	59.11 ± 0.34	44.36 ± 0.62	55.11 ± 0.62	38.07 ± 0.30
19	56.88 ± 0.77	8.79 ± 0.44	14.21 ± 0.31	16.70 ± 0.49	58.27 ± 0.76	45.72 ± 0.78	53.75 ± 0.78	39.62 ± 1.54
20	57.59 ± 1.04	8.95 ± 0.28	14.75 ± 0.68	17.25 ± 0.70	58.74 ± 0.75	45.26 ± 0.72	54.21 ± 0.73	40.52 ± 1.12

Parámetros de color: L*, a*, b*, C*, h°, ΔE= diferencia total de color, Wi= índice de blancura y Bi= índice de saturación.



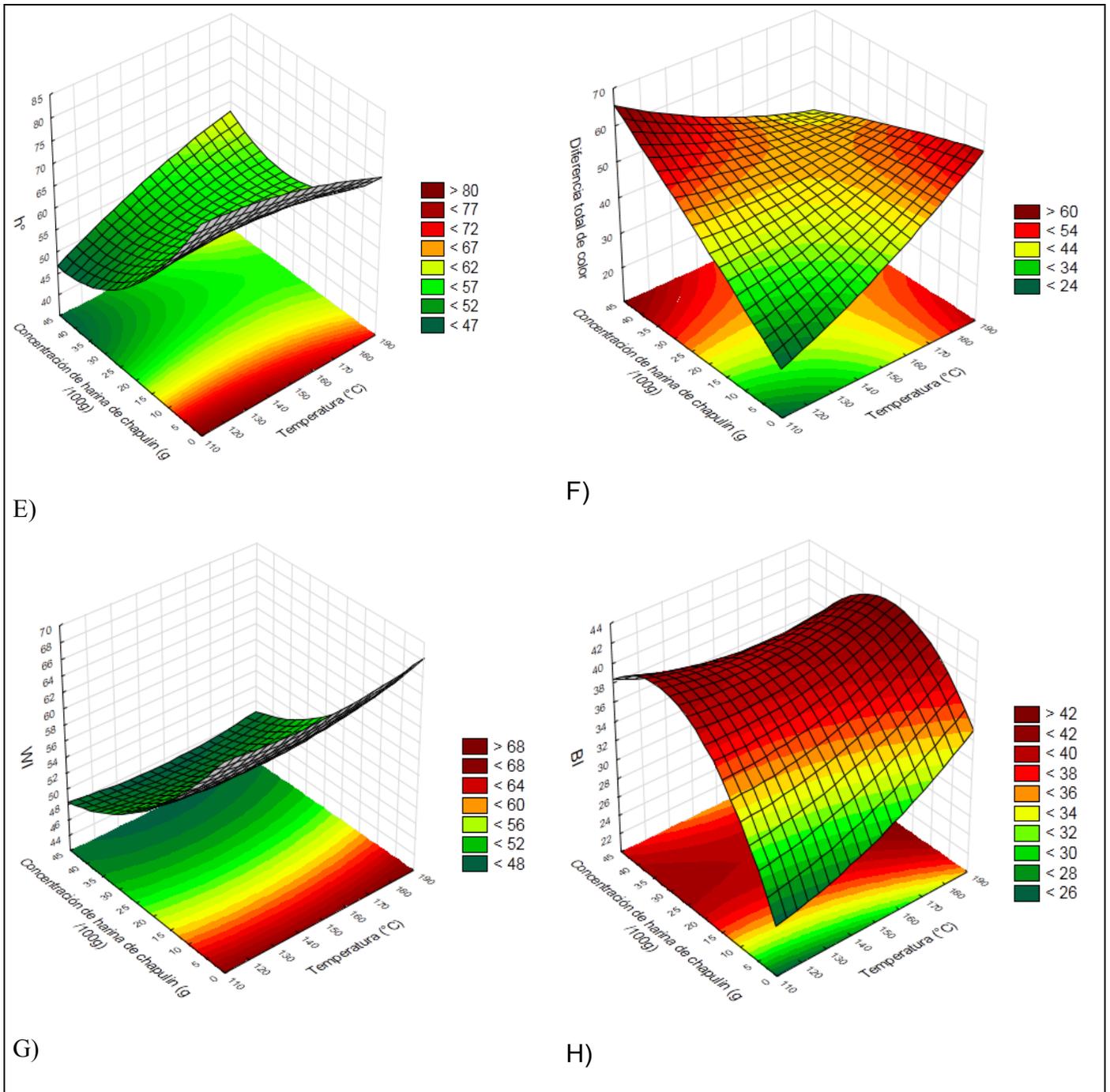


Figura 17. Gráficas de superficie de L^* (A), a^* (B), b^* (C), C^* (D), Δh (E), ΔE (F), WI (G) y BI(H) en función de: las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.

4.4.2. EFECTO DE LAS VARIABLES DEL PROCESO (TEMPERATURA, CONTENIDO DE HUMEDAD, CONCENTRACIÓN DE HARINA DE CHAPULÍN) SOBRE EL ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL.

La tabla 15 presenta los coeficientes de regresión para el análisis químico proximal, en la que se visualizó que el término lineal de temperatura presentó efecto significativo ($p < 0.05$) negativo únicamente en la humedad. De igual forma el contenido de humedad en su término lineal únicamente presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en humedad, observado en la Figura 18 A. La concentración de harina de chapulín en su término lineal presentó un efecto significativo ($p < 0.05$) en proteínas visualizado en la Figura 18 B. Todos los demás coeficientes no presentaron ningún efecto significativo ($p < 0.05$) en las variables de respuesta.

La tabla 16 presenta los resultados de la composición química proximal por cada uno de los tratamientos, en la cual se observó que la menor humedad se presentó en el tratamiento 10 con 5.91 g/100 g y la mayor humedad en el tratamiento 7 con 11.14 g/100 g. Esta diferencia de humedad se le podría atribuir a las diferentes temperaturas utilizadas en el proceso de extrusión siendo de 180 °C para el tratamiento 10 y de 132.16 °C para el tratamiento 7, siendo este el factor determinante en el contenido de humedad del producto final. El contenido de humedad de las harinas, en todos los casos los valores fue menor al máximo permitido para este tipo de productos de acuerdo a la NOM-147-SSA1-1996 que es del máximo 15% de humedad. En todos los tratamientos a excepción del 3, 7 y 15 el contenido de humedad de fue menor al 10%, lo cual fue favorable para evitar el crecimiento de hongos. Por otro lado el tratamiento 20 presentó mayor contenido de extracto etéreo (5.06 g/100g) y el tratamiento 4 el de menor contenido (0.57 g/100 g). Esto probablemente se debe a la diferencia de concentraciones de HC y HMN y a la pérdida de grasa en el proceso de extrusión por impregnación en las paredes del barril y del tornillo. En el contenido de proteínas el tratamiento 14 fue el que presentó mayor contenido (22.51 g/100 g) y el tratamiento 13 y 3 el menor contenido (5.33 y 7.77 g/100 g respectivamente), es importante mencionar que el tratamiento

13 tenía 0 g/100 g de concentración de harina de chapulín y debido a eso se le atribuye su menor contenido de proteínas, siguiéndole el tratamiento 3 el cual tenía 8.11 g/100 g de concentración de harina de chapulín, es decir la mínima concentración de acuerdo al diseño. Hubo una disminución en el contenido de proteína en los extrudidos comparados con las harinas de chapulín y maíz nixtamalizado sin extrudir, esto probablemente sea debido a que las altas temperaturas en el barril y la baja humedad que promueven las reacciones de Maillard durante la extrusión. Los azúcares reductores, incluyendo los que se forman durante el cizallamiento del almidón y la sacarosa, pueden reaccionar con la lisina, bajando de este modo el valor proteico (Guy, 2002). Por otro lado el tratamiento 8 fue el que obtuvo un mayor contenido de cenizas, con un 23.29 g/100 g y el menor contenido se obtuvo en el tratamiento 4, con un valor de 1.63 g/100 g. Esta diferencia se debe al calcio adquirido en el proceso de nixtamalización (Badui, 2006).

Como se esperó, en la Figura 18 A, se observó que la humedad se vio afectada conforme la humedad y temperatura aumentaron. En la Figura 18 B, se observó el comportamiento esperado, a mayor concentración de harina de chapulín la proteína aumentó, debido a que la harina de chapulín presentó un elevado contenido de proteína, esta tendencia se cumplió en todos los tratamientos.

Tabla 15. Coeficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para el análisis químico proximal.

Coeficientes	Respuestas			
	Humedad	Extracto etéreo	Proteína	Cenizas
Intercepto	8.392*	3.382*	14.907*	4.629*
Lineal X ₁	-0.926*	-0.531	0.304	2.460
X ₂	1.013*	-0.056	-0.886	0.926

	X_3	-0.086	0.383	3.832*	1.721
	X_1^2	-0.394	-0.566	-0.606	2.085
Cuadrático	X_2^2	-0.028	-0.044	-0.455	0.299
	X_3^2	0.458	0.055	0.232	0.371
	$X_1 X_2$	-0.078	-0.109	0.970	0.865
Interacción	$X_1 X_3$	-0.405	0.334	-0.170	2.608
	$X_2 X_3$	-0.042	0.116	0.770	2.218
	R^2	0.700	0.740	0.750	0.700

Los números en negrita indican los parámetros de las estimaciones significativas. (X_1 : Temperatura (°C), X_2 : contenido de humedad (%), X_3 : concentración de harina de chapulín (%)).

Tabla 16. Composición químico proximal (g/100 g) de los productos extrudidos obtenidos.

No. Tratamientos	Variables dependientes			
	Humedad	Extracto etéreo	Proteína	Cenizas
1	8.22 ± 0.10	3.52 ± 0.44	14.54 ± 0.33	4.06 ± 0.89
2	6.95 ± 0.10	1.22 ± 0.04	13.27 ± 0.15	10.07 ± 0.11
3	10.57 ± 0.16	3.02 ± 0.08	7.77 ± 0.47	9.74 ± 0.69
4	9.01 ± 0.16	0.57 ± 0.10	13.66 ± 0.39	1.63 ± 0.007

5	8.94 ± 0.13	3.55±0.11	17.56±0.39	6.42±0.02
6	6.07 ± 0.05	2.87±0.37	18.89±0.08	5.28±0.03
7	11.14 ± 2.20	3.80±0.12	17.15±0.33	3.39±0.21
8	7.94 ± 0.15	2.40±0.10	19.08±0.79	23.29±0.59
9	8.14±0.11	2.20±0.03	12.66±0.11	4.64±0.15
10	5.91±0.11	1.95±0.03	10.44±0.39	14.71±0.71
11	6.47±0.23	3.37±0.89	13.61±0.45	4.50±0.002
12	9.65±0.29	3.73±0.12	10.34±0.34	4.75±0.03
13	9.59±0.38	3.55±0.11	5.33±0.39	1.67±0.07
14	9.28±0.31	4.11±0.11	22.51±0.29	7.99±0.01
15	10.96±0.46	1.21±0.17	16.36±0.48	4.80±0.07
16	7.34±0.25	4.08±0.10	15.02±0.88	4.64±0.03
17	6.29±0.39	3.66±0.02	11.43±0.39	5.00±0.07
18	9.58±0.13	2.56±0.13	16.94±0.79	4.41±0.04
19	8.53±0.14	3.62±0.36	13.44±0.40	4.56±0.19
20	7.74±0.03	5.06±0.49	16.82±0.17	4.66±0.16

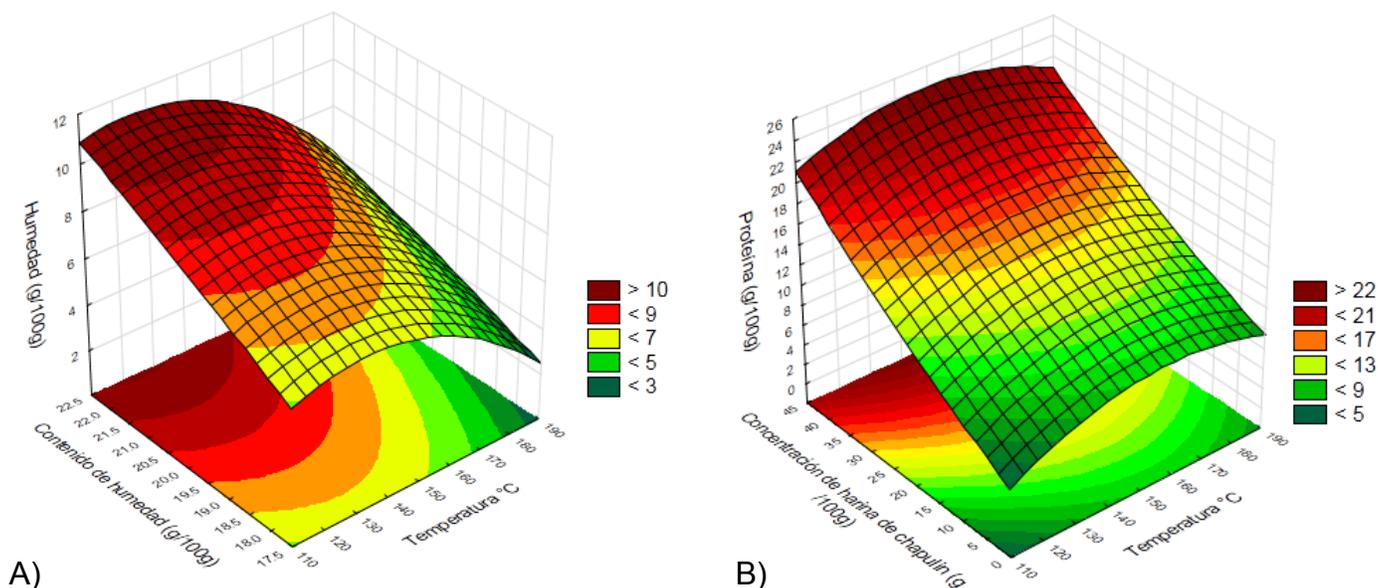


Figura 18. A) Gráfica de superficie de humedad en función del contenido de humedad y temperaturas de extrusión. B) Gráfica de superficie de proteína en función de las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.

4.4.3. EFECTO DE LAS VARIABLES DEL PROCESO (TEMPERATURA, CONTENIDO DE HUMEDAD, CONCENTRACIÓN DE HARINA DE CHAPULÍN) SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES.

En la tabla 17 se muestran los coeficientes de regresión para las propiedades funcionales de los productos extrudidos obtenidos. Se observó que la temperatura en sus términos lineal y cuadrático presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en IAAC. Por otra parte la concentración de harina de chapulín en su término lineal presentó efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en los valores de IAA e IAAC, lo cual se observó en la Figura 18 A y B respectivamente, y en su término cuadrático efecto significativo ($p < 0.05$) en IAAC. Las interacciones temperatura-concentración de harina de chapulín

presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) negativo en IAAc. Ninguna de las condiciones de extrusión presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) en ISA.

Tabla 17. Coeficientes de regresión de los modelos de superficie de respuesta para las propiedades funcionales de los productos extrudidos obtenidos.

Coeficientes		Respuestas		
		IAA	IAAc	ISA
	Intercepto	4.923*	2.372*	12.810*
Lineal	X ₁	-0.001	0.185*	0.317
	X ₂	0.030	0.064	-0.762
	X ₃	-0.699*	-0.095*	0.250
Cuadrático	X ₁ ²	-0.047	0.067*	-0.022
	X ₂ ²	-0.011	0.055	-0.762
	X ₃ ²	0.252	0.090*	-0.764
Interacción	X ₁ X ₂	0.069	-0.057	-0.136
	X ₁ X ₃	-0.175	-0.166*	0.916
	X ₂ X ₃	0.196	-0.048	-1.421
	R ²	0.800	0.900	0.870

Los números en negrita indican los parámetros de las estimaciones significativas. (X₁: Temperatura (°C), X₂: contenido de humedad (%), X₃: concentración de harina de chapulín (%). IAA=índice de absorción de agua, IAAc= índice de absorción de aceite e ISA= índice de solubilidad de agua.

La tabla 18 nos muestra los valores de las propiedades funcionales por cada uno de los tratamientos. Se observó que para el mayor valor para el IAA se encontró en el tratamiento 13, con un promedio de 6.845 g/g, seguido del tratamiento 2, con un promedio de 6.137 g/g. El IAA generalmente mide la cantidad de agua absorbida por los gránulos de almidón después del hinchamiento en exceso de agua y se puede utilizar como un índice de gelatinización (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

En la Figura 19 A, se observó que al aumentar la concentración de harina de chapulín el IAA disminuyó, hubo un mayor contenido de proteínas y por lo tanto una matriz del producto más compacta y esto ocasionó una menor absorción de agua en los productos. Autores mencionan que el IAA también se relaciona con el balance hidrofílico de las proteínas presentes en la mezcla, el cual cambia en función del grado de desnaturalización de las mismas, donde por efecto del proceso de extrusión se cambian los perfiles de solubilidad de estas (Singh *et al.*, 2007). Un IAA bajo, indica una disponibilidad de agua restringida para el gránulo de almidón, debido a una estructura más compacta (Lobato *et al.*, 2011.; Seth y Rajamanickam, 2012). La desnaturalización de proteínas, la gelatinización del almidón e hinchamiento de la fibra cruda que ocurren durante la extrusión podrían ser responsables del incremento de IAA de productos extrudidos (Mali *et al.*, 2010). De acuerdo con Meañó-Correa *et al.*, (2014), el contenido de humedad y altas temperaturas de humedad conducen a una mayor descomposición del almidón y por lo tanto un aumento de la formación de la matriz expansible, lo que resulta en una mayor capacidad de retención de agua, que a su vez podría dar lugar a un aumento del IAA. Tal como lo demuestran Kannadhasan y Muthukumarappan (2010), al aumentar la temperatura de la extrusora da como resultado un aumento significativo en los valores de IAA, esto utilizando mandioca, maíz y papa.

El aumento de la proporción de material (proporción de leguminosa), aumenta el contenido de proteína de extrudidos. De acuerdo a Lazou y Krokida (2010), el aumento de la proporción de material (proporción de leguminosa), aumenta el contenido de proteína de extrudidos. IAA depende de la disponibilidad de grupos hidrófilos que se unen a las moléculas de agua y en el gel de la capacidad de las macromoléculas. Aunque las proteínas de leguminosas tienen grupos hidrófilos, la desnaturalización de

las proteínas durante la cocción de extrusión conduce a la pérdida de la capacidad de hidratación de las proteínas. La capacidad de hidratación inferior se ve favorecida por la formación de enlaces proteína inter e intra-molecular con amilosa y amilopectina. Así, la adición de las proteínas en materiales extrudidos puede disminuir la degradación molecular del almidón

Para el IAAc el tratamiento 4 presentó mayor valor, con un promedio de 3.172 g/g mientras que el menor valor se reflejó en el tratamiento 1, con un promedio de 2.119 g/g, lo cual se observó en la Figura 19 B. Esta propiedad funcional es básicamente el resultado de atrapamiento físico de la grasa por las proteínas a través de las estructuras llamadas micelas, es por eso ese comportamiento en los resultados. Mali *et al.* (2010) explican que la incorporación de las proteínas en los productos extrudidos disminuye el IAAc, lo cual se pudo observar en los resultados obtenidos, que además son resultados similares a los obtenidos por Lazou y Krokida. (2010), en el que apoyan el mecanismo de atrapamiento de aceite ya que el IAAc en sus análisis (maíz y mezclas de maíz-lentejas extrudidos) fue más bajo en las muestras que contienen más proteína que el maíz.

El menor valor de ISA se encontró en el tratamiento 20, con un promedio de 5.915%, siendo el tratamiento 18 el que presentó un mayor valor de ISA, con un 21.032%.

En la Figura 19 B, se observó que al aumentar la concentración de harina de chapulín el ISA disminuyó. El ISA determina la cantidad de polisacárido soluble liberado de los gránulos de almidón después de la adición del exceso de agua y se usa a menudo como un indicador de la degradación de los componentes moleculares (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). De acuerdo a lo reportado en la literatura, el índice de solubilidad de agua (ISA), puede variar entre 16 a 46% en extrudidos con alto contenido de almidón como en el maíz, y de 11.8 a 35% en extrudidos de frijol, donde el contenido de almidón es bajo y el de proteína alto (Mali *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2006). Al igual que con el IAA, se ve afectado negativamente por el contenido de grasa y proteína presentes en la dieta a extrudir (Singh *et al.*, 2006; Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011; Bisharat *et al.*, 2013). En general, ISA aumenta a medida que aumenta la temperatura, debido a la despolimerización del almidón y de otras macromoléculas presentes en la

mezcla (Meaño-Correa *et al.*, 2014), dicho efecto también debe de aplicarse para el tamaño molecular de las proteínas.

En extrudidos de almidón de maíz ocurre una disminución significativa de ISA en 1.25% para los cambios en la alimentación contenido de humedad de 15 a 25%. Esto está de acuerdo con los hallazgos postulados por Chevanan *et al.* (2008) quien informó que el contenido de humedad de alimentación y de ISA fueron directamente proporcionales entre sí para productos extrudidos de almidón de maíz.

Tabla 18. Respuestas de las variables independientes a la condición de extrusión para las características funcionales.

No. Tratamientos	Variables dependientes		
	IAA (g/g)	IAAc (g/g)	ISA (%)
1	6.06 ± 0.36	2.11 ± 0.57	10.47 ± 3.31
2	6.13 ± 0.11	3.04 ± 0.09	11.21 ± 3.59
3	5.16 ± 0.65	2.53 ± 0.14	19.32 ± 4.45
4	5.83 ± 0.29	3.17 ± 0.10	9.71 ± 0.77
5	4.48 ± 1.08	2.31 ± 0.04	16.26 ± 9.46
6	4.17 ± 0.16	2.51 ± 0.09	10.87 ± 2.42
7	4.68 ± 0.26	2.47 ± 0.16	9.63 ± 1.58
8	4.33 ± 0.16	2.51 ± 0.26	13.49 ± 4.44
9	4.82 ± 0.88	2.34 ± 0.05	7.08 ± 0.14
10	4.77 ± 0.17	2.77 ± 0.04	15.83 ± 3.81
11	4.52 ± 0.14	2.47 ± 0.13	14.71 ± 2.29

12	5.27 ± 0.24	2.57 ± 0.06	6.54 ± 0.92
13	6.84 ± 0.42	2.69 ± 0.06	8.20 ± 2.30
14	4.44 ± 0.05	2.55 ± 0.09	10.51 ± 0.46
15	4.48 ± 0.24	2.56 ± 0.09	13.50 ± 2.34
16	5.13 ± 0.18	2.27 ± 0.10	11.01 ± 5.76
17	4.60 ± 0.39	2.33 ± 0.10	18.06 ± 3.99
18	4.19 ± 0.43	2.35 ± 0.08	21.03 ± 5.42
19	5.37 ± 0.50	2.31 ± 0.04	7.77 ± 0.92
20	5.73 ± 0.18	2.39 ± 0.12	5.91 ± 1.10

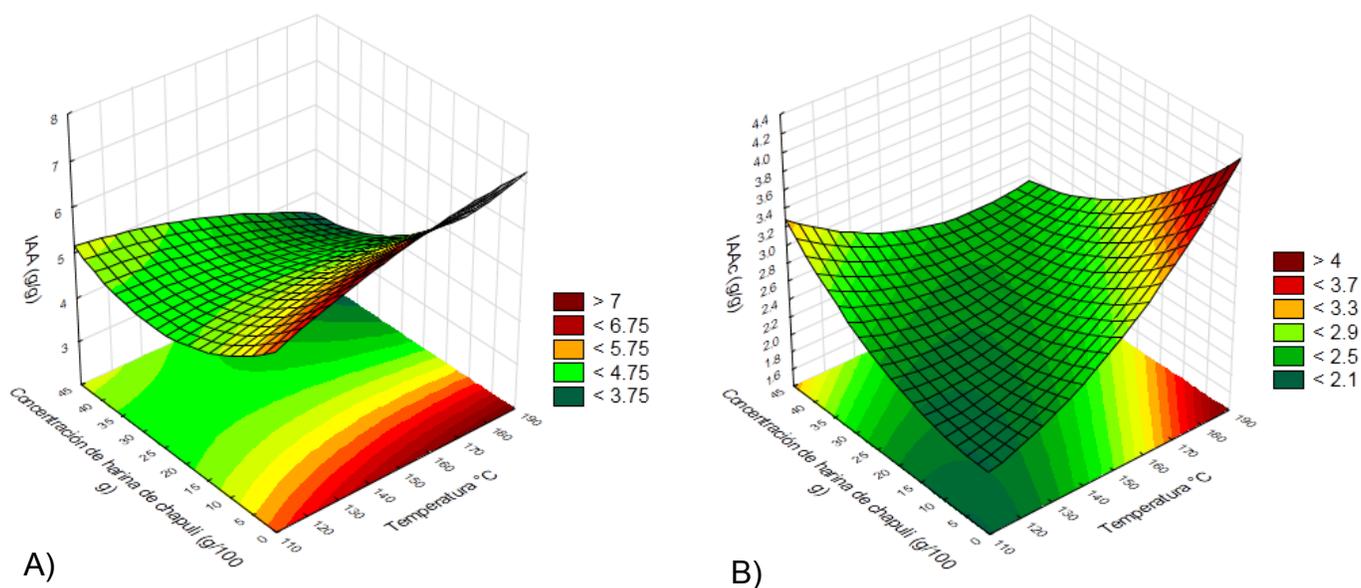


Figura 19. A) Gráficas de superficie de IAA (índice de absorción de agua) en función de las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión. B) Gráfica de superficie de IAAc (índice de absorción de aceite) en función de las diferentes concentraciones de harina de chapulín y temperaturas de extrusión.

4.5. EVALUACIÓN SENSORIAL.

La evaluación sensorial se realizó a 50 consumidores, mediante una escala hedónica de aceptación general, con una escala hedónica de siete puntos (1 = me disgusta extremadamente, 4 = ni me gusta ni me disgusta y 7 = me gusta extremadamente). Después de que cada panelista evaluó los productos extrudidos elaborados de HMN/HC, las categorías descriptivas se convirtieron en puntajes numéricos. Los puntajes se tabularon y analizaron utilizando análisis de varianza con el software Statistica (Versión 10.00). En la Tabla 19 se muestra el análisis de varianza de la prueba hedónica de los extrudidos y las condiciones a la que se obtuvieron. Los tratamientos con una media de puntuación aceptable, fueron los tratamientos T2, T4 y T10. El análisis de varianza indicó que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos T2 y T4, obteniendo el tratamiento T2 y T4 una media de puntuación de 5.58 y 5.55 respectivamente, y para el tratamiento 10 una media de 4.67. Los resultados de la evaluación sensorial presentados en la Tabla 19, mostraron que estos 3 tratamientos fueron aceptables. Además de que éstos contenían la menor proporción de harina de chapulín (8.11 g/100 g).

Tabla 19. Aceptación general de los tratamientos obtenidos

Tratamientos	Temperatura (°C)	Contenido de humedad (g/100 g)	Concentración de harina de chapulín (g/100 g)	Aceptación general
T2	167.84	18.81	8.11	5.58 ± 0.90 ^a
T4	167.84	21.19	8.11	5.55 ± 1.28 ^a
T10	180.00	20.00	20.00	4.67 ± 1.19 ^b

Los valores son medias ± desviaciones estándar (n = 50). Letras diferentes en una misma columna presentan diferencias significativas (p<5).

4.6. OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO.

La optimización numérica se realizó a través de la superposición de las diferentes superficies de respuesta (IE: índice de expansión, DA: densidad aparente, textura (dureza) y proteína para los extrudidos de HC/HMN. Por medio del Software Desing Expert versión 7.0.

En la Tabla 20 se muestran las 4 formulaciones óptimas para HC/HMN, Los criterios para determinar el área de superposición fueron basados en las diferentes condiciones del proceso de extrusión usando los valores más altos de IE obtenidos en los productos extrudidos procesados bajo condiciones de (1) X_1 : 132.162 °C, X_2 : 21.19 g/100 g y X_3 : 8.11 g/100 g y (2) X_1 :132.162 °C, X_2 : 18.81 g/100 g y X_3 : 8.11 g/100 g. El valor más alto de IAA (6.13) de 132.162°C, X_2 : 18.81 g/100 g y X_3 : 8.11 g/100 g, así como los valores más alto en proteínas (22.51 y 19.08) de X_1 :150°C, 20 g/100 g de X_2 : y X_3 : 40 g/100 y de X_1 :167.84 °C, 21.19 g/100 g de X_2 : y X_3 : 31.89 g/100 respectivamente.

Tabla 20. Productos extrudidos óptimos

Extrudidos	Temperatura (°C)	Contenido de humedad (g/100 g)	Concentración de chapulín (g/100 g)	IE	DA (Kg m ⁻³)	Textura (dureza) (N)	IAA (g/g)	Proteína (g/100 g)	Deseabilidad
1	162.07	18.81	8.11	0.79	0.50	35.88	6.07	11.89	0.60
2	162.26	18.81	8.11	0.78	0.50	35.88	6.07	11.88	0.60
3	161.88	18.81	8.11	0.79	0.51	35.88	6.07	11.91	0.60
4	162.53	18.81	8.11	0.77	0.49	35.88	6.07	11.86	0.60

Para la optimización se tomaron los valores más altos de IAA, debido a que la capacidad para absorber agua es considerada una propiedad funcional de las proteínas, fundamental en alimentos viscosos tales como sopas, salsas, masas y alimentos horneados, extrudidos y productos donde se requiere una buena interacción proteína-agua (Granito *et al.* (2004).

El dato de deseabilidad en la Tabla 20, es proporcionado por el Software Desing Expert versión 7.0. Donde se tomaron los valores más altos.

Los datos obtenidos de proteínas (11.88 g/100 g) de acuerdo al diseño estadístico fueron similares a los obtenidos por Reddy *et al.* (2014) en el que elaboraron una botana extrudida a base de maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus mungo* Roxb) y remolacha (*Beta vulgaris*), los cuales obtuvieron un contenido de proteínas de 10 g/100 g en proteínas. También fueron similares con lo reportado por Navarro-Cortez *et al.* (2016) quienes elaboraron una botana extrudida a base de harinas de semilla de calabaza (*Cucurbita pepo*) y maíz nixtamalizado (*Zea mays* L.) reportando un contenido de proteínas de 11.74 g/100 g. Por otro lado si se comparan los resultados obtenidos de proteína con productos comerciales convencionales (4 - 8 g/100 g), estos presentaron un menor contenido de proteínas

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

- ✓ Los chapulines presentaron un peso promedio de 0.30 g, con un largo de 25.91 mm, espesor 7.10 mm y grosor 8.07 mm.
- ✓ La harina de chapulín presentó un alto contenido de proteína 52.74%, mientras que en la harina de maíz nixtamalizado fue de 10.53%.
- ✓ La composición de origen de las harinas estudiadas determinó las diferencias en el pH. El pH de la harina de chapulín fue de 3.95 y para la harina de maíz nixtamalizado 7.04.
- ✓ La harina de chapulín presentó menor luminosidad ($L^* = 50.022$) que la HMN ($L^* = 81.78$), presentando la HC un color café y la HMN un color más amarillo.
- ✓ IE, DA y Textura (dureza) fueron afectados negativamente con el aumento de la temperatura y concentración de harina de chapulín.
- ✓ Los valores de pH, L^* , b^* , C^* , h° , BI, IAA e IAAC fueron afectados negativamente con el aumento de la concentración de harina de chapulín.
- ✓ IE disminuyó en las interacciones de temperatura-humedad.
- ✓ IE y Textura (dureza) fueron afectados en las interacciones temperatura y concentración de harina de chapulín.
- ✓ Los tratamientos que presentaron mejor aceptabilidad general fueron los que tuvieron una menor concentración de harina de chapulín.
- ✓ De acuerdo a las condiciones óptimas se obtuvieron 4 productos a $T = 162.07, 162.26, 161.88$ y 162.53 °C, $H = 18.81$ g/100 g y $CHC = 8.11$ g/100 g.
- ✓ Se demostró que se puede obtener una botana extrudida aceptable por el consumidor y alta en contenido proteico a partir de mezclas de HMN y HC mediante la incorporación de hasta un 8.11 g/100 g de HC, sin afectar sus propiedades fisicoquímicas

RECOMENDACIONES

6. RECOMENDACIONES

- ✓ Debido a que los productos extrudidos tipo botana deben tener un IE elevado y una densidad baja, es recomendable no utilizar proporciones mayores del 40% de HC, ya que por el alto contenido de proteína que esta harina contiene, disminuye el IE y por lo tanto aumenta su densidad aparente.
- ✓ Almacenar los productos extrudidos a temperaturas no mayores de 4 °C.
- ✓ Sellar los productos extrudidos en bolsas al vacío para aumentar su vida de anaquel y realizar la evaluación sensorial a productos recientemente elaborados, para poder evaluar mejor los atributos sensoriales.

REFERENCIAS

7. REFERENCIAS.

- Acosta, R. (2012). Reseña el cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en cuba. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 113-120.
- Aguayo, O., .M.K., Valverde, L. A. J., Romero, S. D. E. & Gómez, F. D. (2009). Elaboración de una golosina a base de tamarindo, chapulines y sémola de trigo con valor nutrimental mejorado. Disponible en línea. <http://www.pandillascientificasdemexico.org/trabajos/docs/AA-PUE-S-09.pdf>
- Aguilar-Palazuelos, E. (2007). Obtención y caracterización de materiales biodegradables utilizando las tecnologías de extrusión termoplástica y moldeo por inyección. Tesis de doctorado. Unidad de Querétaro. Pp. 4.
- Alvarado J. D. & Aguilera J. M. (2001). Métodos para medir propiedades físicas en industrias se alimentos. Ed. Acribia, S. A. España. Pp 109-123.
- Álvarez, A. (2010). Maíz (*Zea mays L.*). Consultado en marzo del 2016 en http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=24&Itemid=25.
- Alvidrez-Morales, A., González-Martínez, B. E. & Jiménez-Salas, Z. (2002). Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *RESPyN*, 3(3).
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. Jr. (1969). Gelatinization of corn grits by roll-and extrudates-cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4 -12.
- AOAC (2012). Association of Official Analytical Chemists, Official Methods of Analysis, 18 th edn (edited by W. Horwitz & G.W. Latimer) Gathersburg, MD, USA: AOAC International.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 17 th end, edited by W. Horwitz. Association of Official Analytical Chemists. Arlington.
- Aravind, N., Sissons, M. & Fellows, C. M. (2012). Effect of soluble fibre (guar gum and carboxymethylcellulose) addition on technological, sensory and

- structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 131(3), 893-900.
- Badui D.S. (2006). Química de los alimentos. Cuarta edición. Ed. Pearson Educación México. Pp 226-230.
 - Báez Chávez T., Castrejon Campos A., de Jesús García N., Estrada Hernández D. & Meléndez Brizuela L. (2012). Botanas: investigación de mercados. Universidad de Valle de México. Disponible en línea http://www.tlalpan.uvmnet.edu/oiid/download/Botanas_04_NG_AE_PICEA_E.pdf
 - Bedolla, S. & Rooney L. W. (1984). Characteristics of U.S and Mexican instant maize flours tortilla and snack preparation. *Cereal Food World*, 29, 732-735.
 - Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25(2), 258-261.
 - Bisharat, G. I., Oikonomopoulou, V. P., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K. & Maroulis, Z. B. (2013). Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53, 1-14.
 - Brennan, M. A., 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(5), 893-902.
 - Bressani, R. B., Muchni, J., Boucher, F., Riveros, H. B., Muchni, J., Kleysen, B., & Rieger, E. E. (1993). La nixtamalización del maíz. *Agroindustria rural: recursos técnicos y alimentación (No. IICA-SAR/SC No. 95-1)*. IICA, San José (Costa Rica). Programa de Comercio e Integración.
 - Brouillard, R. (1982). Chemical structure of anthocyanins. In: Anthocyanins as food colors. P. Markakis (ed). *Academic Press*. New York. Pp: 1-38.
 - Bustillos-Rodríguez, J. C., Rios-Velasco, C., Berlanga-Reyes, D. I., Acosta-Muñiz, C. H., Ruiz-Cisneros, M. F., & Salas-Marina, M. Á. (2014). Reporte

preliminar de identificación molecular de *Beauveria* spp. y *Metarhizium* spp. patogénicos al chapulín *Sphenarium purpurascens* Ch.

- Calvo, C., & Dúran, L. (1997). Propiedades Físicas II .Óptica y color. Capítulo 7. Edit. Jose Miguel Aguilera. Pp. 277-278.
- Canals, R., Peralta, J. & Zubiri, E. (2009). Herbario UPNA mas el Departamento de producción Agraria, Universidad Politécnica de Navarra. En <http://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/inicio.htm> (Consultado en marzo 2016).
- Castellanos - Vargas, I. & Cano-Santana, Z. (2009). Historia natural y ecología de *Sphenarium purpurascens* Ch. (Orthoptera: Pyrgomorphidae). Lot, A. & Cano-Santana, Z (Comp.). *Biodiversidad del Ecosistema del Pedregal de San Ángel. Universidad Nacional Autónoma de México*, 337-346.
- Castro, Laura. (2016). Animales. En <https://www.animales.website/saltamontes/> (Consultado en enero 2017).
- Cerritos, R., & Cano-Santana, Z. (2008). Harvesting grasshoppers *Sphenarium purpurascens* Ch. in Mexico for human consumption: A comparison with insecticidal control for managing pest outbreaks. *Crop Protection*, 27(3), 473-480.
- Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., & Winger, R. (2009). Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT - Food Science and Technology*, 42(3), 781-787.
- Chávez, O. H. O. & Díaz, S. F. (2015). Consumo de comida rápida y obesidad, el poder de la buena alimentación en la salud. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 4(7), 176-199.
- Chevanan, N., Rosentrater, K.A. & Muthukumarappan, K. (2008). Effect of DDGS, moisture content and screw speed on physical properties of extrudates. *Cereal Chemistry*. 85, 32–139.

- Costell, E. (2003). El análisis sensorial en el control y aseguramiento de la calidad de los alimentos: una posibilidad real. *Disponible en URL: http://digital.csic.es/bitstream/10261/5729/1/IATA_AGROCSIC_Analisis.pdf (16/02/2017).*
- Cuatzo Lozano M. I., López García F., Briones Bermúdez J. E., Gallardo Navarro Y. T. (2010). Elaboración de una botana alta en proteína a partir de harina soya-maíz. Universidad Autónoma de Nuevo León-Facultad de ciencias Biológicas. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de alimentos, en Universidad de Guanajuato, Gto.
- Ding, Q., 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.
- Eades, D.C., Otte, M.M. Cigliano & H. Braun (2011). Orthoptera Species File Online. Version 5.0/5.0 Disponible en línea <http://orthoptera.speciesfile.org/HomePage/Orthoptera/HomePage.aspx>.
- ECOCROP-FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) (2007) *Zea mays*. Disponible en línea <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=2175>.
- Ekanayake, S., Jansz, E.R. & Nair, B.M. (1999). Proximate composition, mineral and amino acid content of mature *Canavalia gladiata* seeds. *Food Chemistry*, 66, 115–119.
- El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., El-Bedawey, A. A., & Gafar, A. F. (2001). Nutritional potential and functional properties of sweet and bitter lupin seed protein isolates. *Food Chemistry*, 74(4), 455-462.
- Fernández - Gutiérrez, J. A. (2008). Estudio de la interacción de los biopolímeros caseína y almidón por el proceso de extrusión. (Tesis Doctoral). En el Instituto Politécnico Nacional, México. Pp, 43.
- GAMBOA, R. M. P. (1997). Efecto de la adición de *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera-Tenebrionidae) a una dieta de iniciación sobre el crecimiento de lechones, Tesis de licenciatura de la Facultad. Ciencias (Biología), UNAM, México D.F. Pp. 62.

- Gan, H. E., Karim, R., Muhammad, S. K. S., Bakar, J. A., Hashim, D. M. & Rahman, R. A. (2007). Optimization of the basic formulation of a traditional baked cassava cake using response surface methodology. *LWT-Food Science and Technology*, 40(4), 611-618.
- García, A. A., Huato, M. Á. D., Lara, M. H., Sáenz-de-Cabezón, F. J., Pérez-Moreno, I., Marco-Mancebón, V. & López-Olguín, J. F. (2011). Insect occurrence and losses due to phytophagous species in the amaranth *Amaranthus hypocondriacus* L. crop in Puebla, Mexico. *African Journal of Agricultural Research*, 6(27), 5924-5929.
- García, A. A., Huato, M. Á. D., Lara, M. H., Sáenz-de-Cabezón, F. J., Pérez-Moreno, I., Marco-Mancebón, V., & López-Olguín, J. F. (2011). Insect occurrence and losses due to phytophagous species in the *Amaranthus hypocondriacus* L. crop in Puebla, México. *African Journal of Agricultural Research*, 6(27), 5924-5929.
- Granito, M. (2004). Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de "Vigna Sinensis". *Interciencia*, 29(9), 521-526.
- Gómez-López, P. (2013). Obtención de productos directamente expandidos por extrusión y botanas de 3a. generación a base de chía y almidón de maíz resistente AR4. Tesis de maestría. CINVESTAV-IPN-Qro. Xalapa, Veracruz. Pp. 4.
- Gujska, E. & Khan, K. (1990). Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science*, 55: 466-469.
- Gupta, R. K., Kumar, P., Sharma, A., & Patil, R. T. (2011). Color kinetics of aonla shreds with amalgamated blanching during drying. *International Journal of Food Properties*, 14(6), 1232-1240.
- Guy R. 2002. Extrusión de alimentos, Tecnología y aplicaciones. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España), Pp 29-79.
- Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 38-46.

- Harper, J. M., & Jansen, G. R. (1981). Nutritious Foods Produced by Low Cost Technology. Summary Report of Cooperative Activities Between Colorado State University and the Once of International Cooperation and Development, USDA, 1974 (80). Pp. 1-72. Ft. Collins, Colorado: Colorado State University
- Hosney, R. C. (1991). Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Ed. Acribia. España. Pp 321.
- Huerta, A. J., Espinoza, F., Téllez-Jurado, A., & Maqueda, A. P. (2014). Control Biológico del Chapulín en México. *BioTecnología*, 18, 28-49.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) (2010). Alternativas de transformación e industrialización-cadena de valor agregado. Ficha técnica núm. 54. Ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pp. 9 <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/folletos/FolletoMaizConValorAgregado.pdf> (Consultado en marzo del 2015).
- Jiménez, A. H. D., Morales, G. E., Santos, M. S., Schettino, B. B. & Melo R. V. (2010). Elaboración de una fritura de chapulín con amaranto y harina de trigo como alternativa alimenticia para la población. Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Xochimilco, UAM-X. División Ciencias Biológicas y de la Salud. Calz. Del hueso 1100, México, D.F. C.P 04960. México. Congreso Internacional QFB.
- Jing, Y., & Chi, Y. (2013). Effects of twin-screw extrusion on soluble dietary fibre and physicochemical properties of soybean residue. *Food Chemistry*, 138(2-3), 884-889.
- Kannadhasan, S., & Muthukumarappan, K. (2010). Effect of starch sources on properties of extrudates containing DDGS. *International Journal of Food Science & Technology*, 13, 1012-1034.
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food Research International*, 43(2), 609-616.
- Lewis, M. J. (1993). Propiedades Físicas de los Alimentos y de los Sistemas de Procesado. Ed. Acribia S.A. Pp. 100-150.

- Likimani, T. L. (1988). α -Amlase activity and destruction of *Bacillus globigii* during extrusion cooking of conr/soy blends. Tesis de doctorado. Colorado State Univ., Fort Collins, CO.
- Lizárraga - Ramírez, M.G., Aguilar - Palazuelos, E., Zazueta - Morales, J.J., Delgado - Nieblas, C.I., Ordorica - Falomir, C.A., Jacobo - Valenzuela, N, Camacho - Hernández, I. L., Limón - Valenzuela, V. (2013). Características Fisicoquímicas y Microestructurales de Botanas Directamente Expandidas por Extrusión Adicionadas de Calabaza (*Cucurbita moschata* D). VIII Congreso del noreste IV Nacional en Ciencias Alimentarias y Biotecnología. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.
- Lobato, L. P., Anibal, D., Lazaretti, M. M. & Grossmann, M.V.E. (2011). Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour. *LWT- Food Science and Technology*, 44, 933-939.
- Lustosa, B.H.B., Leonel, M., Mischan. (2010). Los parámetros de MM de extrusión en la producción de aperitivos harina de yuca enriquecidos con caseína. *Ciencias Agrarias. Londrina*. 31, 109-126.
- Maga, J. A., Liu, M. B., & Rey, T. (1993). Taro (*Colocasia esculenta*) extrusion. *Carbohydrate polymers*, 21(2-3), 177-178.
- Mali, S., Debiagi, F., Grossmann, M.V. & Yamashita, F. (2010). Starch, sugarcane bagasse fibre, and polyvinyl alcohol effects on extruded foam properties: A mixture design approach. *Industrial Crops and Products*. 32, 353-359.
- Markakis, P. (1982). Stability of anthocyanins in foods. In: Anthocyanins as food colors. P. Markakis (ed) *Academic Press*. New York. Pp. 163-178.
- Martelhi. F.G. (1983), Twin screw extruders: A basic understanding. Van Nostrand Reinhold: New York.
- Martínez, S. N. (1984). Evaluación de la calidad proteínica de tres insectos comestibles de México: *Liometopum apiculatum* (Hymenoptera-Formicidae), *Apis mellifera* (Hymenoptera- Apidae) y *Sphenarium* spp. (Orthoptera-

- Acrididae) por métodos biológicos. Tesis Profesional. Ese. Nac. Est. Prof. "Zaragoza" (Biología) UNAM, México. Pp. 94.
- Masas, O., & Flour, N. C. (2002). Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36(3), 320.
 - McShane, K. (1994). Superlinearly convergent $O(nL)$ -iteration interior-point algorithms for linear programming and the monotone linear complementarity problem. *SIAM Journal on Optimization*, 4(2), 247-261.
 - Meaño - Correa, N., Ciarfella - Pérez, A.T., Dorta - Villegas, A.M. (2014). Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera* L.) para predecir sus posibles usos tecnológicos. *Saber*. 26, 182-187.
 - Melo, V., García, M., Sandoval, H., Jiménez, H. D., & Calvo, C. (2011). Quality proteins from edible indigenous insect food of Latin America and Asia. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 23 (3), 283-289.
 - Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., & Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, 43(2), 650-658.
 - Mercado, P. E. Berenice.; Gaytán M. G. (2011). Tecnología alternativa (extrusión) para la producción de harinas de maíz nixtamalizadas. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila.
 - Mertz, E. T., Hassen, M. M., Cairns-Whittern, C., Kirleis, A. W., Tu, L., & Axtell, J. D. (1984). Pepsin digestibility of proteins in sorghum and other major cereals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 81, 1-2.
 - Michaelsen, K. F., Hoppe, C., Roos, N., Kaestel, P., Stougaard, M., Lauritzen, L. & Friis, H. (2009). Choice of foods and ingredients for moderately malnourished children 6 months to 5 years of age. *Food and nutrition bulletin*, 30 (9), 343–404.

- Milán, C. J., Gutiérrez. D. R., Cuevaz, R. E.O., Garzón, T. J. A. & Reyes. M.C. (2004). Nixtamalized flour from quality protein maize (*Zea mays* L). Optimization of alkaline processing. *Plants Foods for Human Nutrition*. Verano, 59(1), 35-44.
- Morales, B. T., Estrada, B. C., Carrillo, G. V. & Moreno, Y. S. (2008). Calidad de grano, tortillas y botanas de dos variedades de maíz de la raza comiteco. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 3(1), 19-14.
- Nava Balvanera V. (2012). Proyecto de inversión de botanas saludables. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Querétaro-Facultad de Contaduría y Administración.
- Navam, S. H., Tajudini, A. L., Srinivas, J. R., Sivarooban, T., & Kristofor, R. B. (2014). Physio-chemical and sensory properties of protein-fortified extruded breakfast cereal/snack formulated to combat protein malnutrition in developing countries. *Journal of Food Processing and Technology*, 5(8), 1-9.
- Navarro-Cortez, R.O., Hernández-Santos, B., Gómez-Aldapa, C.A., Castro-Rosas, J., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C.E., Juárez-Barrientos J.M., Antonio-Cisneros, C.M., & Rodríguez-Miranda, J. (2016). Development of extruded ready-to-eat snacks using pumpkin seed (*Cucurbita pepo*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 15(2), 409-422.
- Neumann, C. G., Bwibo, N. O., Murphy, S. P., Sigman, M., Whaley, S., Allen, L. H., Demment, M. W. (2003). Animal source foods improve dietary quality, micronutrient status, growth and cognitive function in kenyan school children: Background, study design and baseline findings. *Journal of Nutrition*, 133(11), 3941-3949.
- Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-216-SSA1-2002. Productos y servicios. Botanas. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación.
- Norma Oficial Mexicana. NMX-F-046-S-1980. Harina de maíz nixtamalizado norma mexicana. Dirección general de normas.

- Norma Oficial Mexicana. NOM-147-ssa1-1996, bienes y servicios. cereales y sus productos. harinas de cereales, sémolas o semolinas. alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. productos de panificación. disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- Omwamba, M., & Mahungu, S. M. (2014). Development of a Protein-Rich Ready-to-Eat Extruded Snack from a Composite Blend of Rice, Sorghum and Soybean Flour. *Food and Nutrition Sciences*, 1309-1317.
- Onwulata, C. I., Konstance, R. P., Phillips, J. G. & Tomasula, P. M. (2003). Temperature profiling: solution to problems of co-extrusion with whey proteins. *Journal of Food Processing and Preservation*, 27, 337 - 350.
- Ortiz-Timoteo, J., Sánchez-Sánchez, O. M., & Ramos-Prado, J. M. (2014). Actividades productivas y manejo de la milpa en tres comunidades campesinas del municipio de Jesús Carranza, Veracruz, México. *Polibotánica*, 38, 173-191.
- Parada, J., Aguilera, J. M. & Brennan, C. (2011). Effect of guar gum content on some physical and nutritional properties of extruded products. *Journal of Food Engineering*, 103, 324-332.
- Pérez-Navarrete, C., Betancur-Ancona, D., Casotto, M., Carmona, A., & Tovar, J. (2007). Effect of extrusion on protein and starch bioavailability in corn and lima bean flour blends. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 57(3), 278-286.
- Porta, A. V. (1993). El proceso de extrusión en cereales y habas de soja I. efecto de la extrusión sobre la utilización de nutrientes. *Avances en Nutrición y Alimentación Animal: IX Curso de Especialización FEDNA*. pp. 109-115. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal.
- Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2011). Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4357-4360.
- Quijano C. J. A. (2015). El chapulín, *Brachystola* spp., *Melanoplus differentialis*, *Sphenarium purpurascens* Ch. Ficha técnica en SAGARPA-SENASICA

(Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria), Disponible en línea www.senasica.gob.mx.

- Ramos-Elorduy, J. & J. M. Pino M. (1981). Digestibilidad "*in vitro*" de algunos insectos comestibles de México. *Folia Entomológica Mexicana*, 49, 141-154.
- Ramos-Elorduy, J., Carbajal Valdés, L. A., & Pino Moreno, J. M. (2012). Socio-economic and cultural aspects associated with handling grasshopper germplasm in traditional markets of Cuautla, Morelos, Mexico. *Journal of Human Ecology*, 40(1), 85-94.
- Ramos-Elorduy, J., González, E. A., Hernández, A. R., & Pino, J. M. (2002). Use of *Tenebrio molitor* (*Coleoptera: Tenebrionidae*) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *Journal of Economic Entomology*, 95(1), 214-220.
- Ramos-Elorduy, J., H. Bourges R, N. Martínez & J. M. Pino M. (1986). Bioensayos REP y UNP en una rata Wistar para estimar la calidad proteínica de tres insectos comestibles de México. *Tecnología de Alimentos México*, 20 (4), 24.
- Reddy, M. K., Kuna, A., Devi, N. L., Krishnaiah, N., Kaur, C., & Nagamalleswari, Y. (2014). Development of extruded Ready-To-Eat (RTE) snacks using corn, black gram, roots and tuber flour blends. *Journal of food Science and Technology*, 51(9), 1929-1937.
- Robin, F., Théoduloz, C., Gianfrancesco, A., Pineau, N., Schuchmann, H.P. & Palzer, S. (2011). Starch transformation in bran-enriched extruded wheat flour. *Carbohydrate Polymers*, 85, 65-74.
- Rodríguez Miranda J. (2008). Obtención y caracterización de una botana extrudida elaborada de harinas de malanga y maíz nixtamalizado. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico de Tuxtepec, Oaxaca.
- Rodríguez, I. (2002). Introducción a la evaluación sensorial de alimentos. Material Docente confeccionado para el Diplomado de Chocolatería. Impreso en IIIA Centro de documentación e información científico técnica. (Cuba). Pp, 2-17.

- Rodríguez-Miranda, J., Hernández-Santos, B., Herman-Lara, E., Vivar-Vera, M. A., Carmona-García, R., Gómez-Aldapa, C. A., & Martínez-Sánchez, C. E. (2012). Physicochemical and functional properties of whole and defatted meals from Mexican (*Cucurbita pepo*) pumpkin seeds. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(11), 2297-2303.
- Rodríguez-Miranda, J., Ruiz-López, I. I., Herman-Lara, E., Martínez-Sánchez, C. E., Delgado-Licon, E., & Vivar-Vera, M. A. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 44(3), 673-680.
- Rojas-rodríguez, I. (2013). Obtención de almidón con tamaño de partícula reducido mediante pulverizado mezclado con alta energía (Tesis de doctorado. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Rostro Alanís, M. D. J. (2014). Obtención y caracterización química de arabinosilooligosacáridos a partir de pericarpio de maíz nixtamalizado y determinación de la actividad prebiótica y actividad antioxidante. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Nuevo León. Pp. 1-158.
- Rostro, B. R., Salazar, B. Q., Ramos-Elorduy, J., Pino, J. M., Moreno, S. C., Pérez, Á. G., & García, V. D. B. (2012). Análisis químico y nutricional de tres insectos comestibles de interés comercial en la zona arqueológica del municipio de San Juan Teotihuacán y en Otumba, en el estado de México. *Interciencia*, 37(12), 914-920.
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular nutrition & food research*, 57(5), 802-823.
- Sacaquirín, S., Valdez Martínez, F. E., Guayacondo, V., & Verónica, J. (2012). Valoración de bajo peso, sobrepeso y obesidad en los niños y niñas del Instituto Psicopedagógico "Agustín Cueva Tamariz" de la parroquia Huayna Capac (Cuenca) 2010 (Tesis doctoral). Pp. 166.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) (2014). Avances de la producción agroalimentaria 2011-2012. Disponible en línea www.sagarpa.gob.mx.

- Sahai, D.; Surjewan, I., Mua, J.P., Buendía, M.O., Rowe, M., & Jackson, D.S., (2000). Dry matter loss during nixtamalization of a white corn hybrid: impact of processing parameters. *Cereal Chemistry*. 77 (2), 254-258.
- Salinas-Moreno Y., Martínez-Bustos F., Soto-Hernández M., Ortega-Paczka R., Arellano-Vázquez J.L. (2003). Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados. *Agrociencia*. 37, 617-628.
- Sánchez G. J.J. (2011). Diversidad del Maíz y el Teocintle. Informe preparado para el proyecto: “Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México”. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Manuscrito.
- Sánchez Ortega, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*, 7(2).
- Sánchez, F., Coyomani, R., De La Rosa, M. & Lazcano, H. (2009). Frituras A Base De Harina De Chapulín (*Sphenarium purpurascens* Ch.). Benemérita Universidad Autónoma De Puebla, Facultad De Ciencias Químicas.
- Saricoban, C., & Yilmaz, M. T. (2010). Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. *World Applied Sciences Journal*, 9(1), 14-22.
- SENASICA (2012). Ficha Técnica del Chapulín *Brachystola* spp *Melanoplus differentialis* *Sphenarium purpurascens* Ch. Recuperado en www.senasica.gob.mx (consultado en marzo del 2015).
- Seth, D., & Rajamanickam, G. (2012). Development of extruded snacks using soy, sorghum, millet and rice blend – A response surface methodology approach. *International Journal of Food Science Technology*, 47, 1526-1531.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2010). Cierre de la producción agrícola por estado. Maíz. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en línea <http://www.siap.gob.mx>.
- SIAP-SAGARPA (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura y Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y

- Alimentación) (2014). Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en línea <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Sierra, M. (2014). Variación morfológica de maíces nativos (*Zea mays* L.) en el estado de Veracruz, México. Disponible en línea http://www.colpos.mx/wb_pdf/Agroproductividad/2014/AGROPRODUCTIVIDAD%20I_2014.pdf.
 - Silva, E. M. M. D., Ascheri, J. L. R., Carvalho, C. W. P. D., Takeiti, C. Y., & Berrios, J. D. J. (2014). Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. *LWT - Food Science and Technology*, 58(2), 620-626
 - Singh, H., Singh, J. & McCarthy, O.J. (2006). Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (*Maori potato*) starches. *Carbohydrate. Polymers*, 64, 569-581.
 - Singh, J., Dartois, A. & Kaur, L. (2010). Digestibilidad del almidón en los alimentos matriz. Una revisión *Trends in Food Science and Technology*, 21(2), 168-180.
 - Singh, S., Wakeling, L. & Gamlath, S. (2007). Retention of essential amino acids during extrusion of protein and reducing sugars. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 55, 8779-8786.
 - Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2009). The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114(1), 226-232.
 - Tejada, L. (1992). The thermaldecomposition of carbohydrates. *Applied Science Publishers LTD*. London.
 - Torres R. Elsa (2009). En el mundo de los snaks. Disponible en línea <http://www.industriaalimenticia.com/articles/83159-en-el-mundo-de-los-snacks>.
 - USDA (United States Department of Agriculture). (2013). Grain: World Markets and Trade. *Foreign Agricultural Service*. United States Department of

- Agriculture. Circular Series FG 11-13. Disponible en línea <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>.
- USDA-NRCS (United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation services) (2012). Disponible en línea <http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=ZEMA>.
 - Véles, M. J. J. (2004). Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis de Maestría. CICATA (Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada), Querétaro.
 - Wang, W., Klopfenstein, C. F. & Ponte, J. (1993). Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. *Cereal Chemistry*. 70(3), 707-711.
 - Yu, L., Ramaswamy, H. S. & Boye, J. (2013). Protein rich extruded products prepared from soy protein isolate-corn flour blends. *LWT - Food Science and Technology*, 50(1), 279-289.
 - Zepeda-Cavazos, I. G., Siller-Aguillón, I. A., Elton Solís-Esquivel, V. A. & León, N. (2012). Línea de crecimiento de *Musca doméstica* y su uso para la estimación del intervalo post-mortem. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México. Pp. 913.