





BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE PUEBLA

**Facultad de Ingeniería Química**

**Colegio de Ingeniería en Alimentos**

*Análisis de las condiciones de proceso para la elaboración  
de botana a base de harina de plátano y amaranto, y su  
efecto en la digestibilidad*

Tesis presentada para obtener el título de:

**Ingeniera en Alimentos**

PRESENTA:

**Yuridia Martínez Meza**

Directora de tesis:

**Dra. Perla Osorio Díaz**

Asesora interna:

**Dra. María Elena Ramos Cassellis**

Puebla, Pue.

Junio 2015



**BUAP**

Oficio No. FIQ/AC/931/2014  
Asunto: Registro de Tema de Tesis

**C. YURIDIA MARTÍNEZ MEZA  
PASANTE  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN ALIMENTOS  
PRESENTE:**

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos cuyo título es el siguiente:

**“ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE BOTANA A BASE DE HARINA DE PLÁTANO Y AMARANTO, Y SU EFECTO EN LA DIGESTIBILIDAD”**

Con el siguiente contenido:

**INTRODUCCIÓN**

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>ANTECEDENTES</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>

**CONCLUSIONES  
BIBLIOGRAFÍA**

Directora de Tesis: Dra. María Elena Ramos Cassellis  
Co-Directora de Tesis: Dra. Perla Osorio Díaz

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO.**

Atentamente  
“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”  
H. Puebla de Z., 11 de septiembre del 2014

*S. Vázquez*  
**M.I.C. MA. GPE. TITA VAZQUEZ E. DE LOS MONTE**  
**SECRETARIA ACADÉMICA**



C.e.p. Directora de Tesis: Dra. María Elena Ramos Cassellis  
Co-Directora de Tesis: Dra. Perla Osorio Díaz

Facultad  
de Ingeniería  
Química

Av. San Claudio s/n, Col. San  
Manuel, Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00  
Ext. 7250 y 7251



**Benemérita  
Universidad Autónoma de Puebla**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**LIC. Ma. Cristina Laura Gómez Aguirre.**  
**Directora de la Administración Escolar**  
**De la BUAP.**  
**Presente**

**ASUNTO:**  
**AUTORIZACIÓN**  
**IMPRESIÓN DE TESIS**

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería en Alimentos

**YURIDIA MARTÍNEZ MEZA**

Quién presenta como tema de tesis:

Análisis de las condiciones de proceso para la elaboración de botana a base de harina de plátano y amaranto, y su efecto en la digestibilidad

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE

**“Pensar Bien, para Vivir Mejor”**

H. Puebla de Z., a 23 de junio del 2015

Director de Tesis  
Dra. María Elena Ramos Cassellis

**El presente trabajo se realizó en el laboratorio de Control de Calidad del Departamento de Desarrollo Tecnológico del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional, bajo la dirección de la Dra. Perla Osorio Díaz. La investigación fue realizada con el financiamiento económico del proyecto de la Secretaría de Investigación y Posgrado SIP-20140530 “Elaboración y evaluación de una botana con alto contenido de carbohidratos indigestibles”.**

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios, por permitirme lograr una meta más en mi vida, pero sobre todo porque me permitió conocer a gente maravillosa y tuve la oportunidad de aprender y crecer más como persona y en mi desarrollo profesional.**

**A la Dra. Perla Osorio Díaz, por apoyarme en todo el transcurso de esta gran experiencia y ser parte de mi formación personal y profesional. Gracias por su orientación, apoyo, confianza y amistad.**

**A la Dra. María Elena Ramos Cassellis por su tiempo prestado y su motivación a emprender esta experiencia inolvidable, a las doctoras integrantes de mi jurado: Dra. María Lorena Luna Guevara y la Dra. Paola Hernández Carranza por sus observaciones y tiempo dedicado.**

**A mis nuevos amigos; don Ale, Glen, Lore, Ceci, Pao, Quique, Adrián, Alfredo, a los policías don Oscar y David, doy gracias por su bella amistad y apoyo.**

**A Arminda Hernández y familia, por su apoyo incondicional y abrirme las puertas de su hogar y corazones.**

## DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo primeramente a Dios por sus bendiciones en mi vida, ya que gracias a él tengo una familia maravillosa que me apoya en todo momento, me da las fuerzas de seguir adelante, luchando por mis sueños e ideales.

A mis padres, a quienes amo inmensamente y son las personas más maravillosas en mi vida, éste logro y todos los que están por venir se los dedico a ellos. Ya que me han mostrado el valor de seguir adelante, eh contado con su amor y apoyo incondicional.

Es poco lo que las letras es esta hoja pueden expresar por mí, han sido mis padres quienes me han formado y todo lo que eh realizado se los debo a ellos, su gran fortaleza, valentía, inteligencia, amor, valor y demás adjetivos que los describen me han servido a mí y estoy segura que también a mis hermanos quienes también forman parte de esta aventura.

Con todo mi amor y dedicación a esas personas invaluable e irremplazables, MIS PADRES: ANA MARIA Y JORGE.

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XII
RESUMEN .....	XIII
INTRODUCCIÓN .....	1
I. Planteamiento del problema .....	3
II. Justificación .....	4
III. Objetivos .....	5
i. Objetivo general.....	5
ii. Objetivos particulares.....	5
IV. Hipótesis .....	6
Capítulo 1 ANTECEDENTES.....	7
1.1. Generalidades de las botanas .....	7
1.1.1. Método de elaboración de botanas. Método de extrusión .....	8
1.1.2. Descripción general del equipo .....	9
1.2. Alimentos funcionales .....	14
1.3. Plátano.....	16
1.3.1. Importancia.....	16
1.3.2. Harina de plátano .....	17
1.3.3. Almidón .....	18
1.3.4. Gelatinización del gránulo .....	22
1.4. Amaranto .....	24
1.4.1. Importancia.....	24
1.4.2. Harina de amaranto.....	26
1.4.3. Propiedades de los carbohidratos del amaranto .....	28
1.4.4. Proteína.....	28
Capítulo 2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
2.1 Materia Prima.....	30
2.2 Obtención de las harinas .....	30

2.3	Diseño experimental .....	31
2.4	Elaboración de las botanas.....	34
2.5	Análisis químico proximal.....	36
2.5.1.	Humedad.....	36
2.5.2.	Cenizas .....	36
2.5.3.	Lípidos.....	37
2.5.4.	Proteínas .....	37
2.6	Pruebas físicas y de calidad para productos freídos.....	38
2.6.1.	Determinación del grado de expansión .....	38
2.6.2.	Determinación del grado de absorción de aceite.....	38
2.6.3.	Evaluación de la textura .....	39
2.6.4.	Evaluación de color .....	39
2.7	Prueba de digestibilidad.....	41
2.7.1.	Cuantificación de almidón total (AT).....	41
2.7.2.	Cuantificación del almidón resistente (AR).....	42
2.7.3.	Cuantificación de almidón disponible .....	43
2.7.4.	Cuantificación de fibra dietética total (FDT).....	43
2.7.5.	Tasa de hidrólisis del almidón in vitro.....	44
2.8	Evaluación sensorial .....	45
Capítulo 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		46
3.1.	Composición química proximal de las harinas .....	46
3.2.	Elaboración de las botanas.....	48
3.3.	Análisis químico proximal de la botana extrudida y frita.....	49
3.4.	Caracterización física y de calidad de las diferentes muestras.....	53
3.5.	Análisis de la digestibilidad .....	60
3.6.	Análisis sensorial .....	66
Capítulo 4 CONCLUSIONES .....		73
BIBLIOGRAFÍA .....		75
ANEXOS .....		80

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ejemplos prácticos de alimentos funcionales. Fuente: Assmann y col. (2014).....	14
<b>Tabla 2.</b> Cambios en la composición del plátano durante la maduración. Fuente: Badui-Dergal (2006).....	18
<b>Tabla 3.</b> Tipos de almidón resistente. Fuente: Fuentes-Zaragoza y col., (2010)..	22
<b>Tabla 4.</b> Clasificación botánica del Amaranto. Fuente: Arendt y Zannini (2013)...	24
<b>Tabla 5.</b> Comparación de la composición proximal de granos de amaranto y algunos cereales (% del peso en base seca).....	27
<b>Tabla 6.</b> Aproximación de la composición del grano de Amaranto para varias especies (% del peso en base seca).....	27
<b>Tabla 7.</b> Diseño factorial general de dos factores completamente al azar.....	31
<b>Tabla 8.</b> Codificación de los tratamientos .....	32
<b>Tabla 9.</b> Caracterización química de las harinas de plátano y amaranto (en base seca) .....	47
<b>Tabla 10.</b> Caracterización química de las botanas extrudidas y fritas .....	51
<b>Tabla 11.</b> Caracterización física de las botanas extrudidas y fritas .....	55
<b>Tabla 12.</b> Color de las botanas extrudidas y fritas .....	57
<b>Tabla 13.</b> $\Delta E$ de las botanas extrudidas y fritas.....	58
<b>Tabla 14.</b> Contenido de Almidón Total (AT), Almidón Disponible (AD), Almidón Resistente (AR) y Fibra Dietética Total (FDT) de las botanas extrudidas y fritas.	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Dirección del doble tornillo .....	10
<b>Figura 2.</b> Representación esquemática de un extrusor de tornillo sencillo. Fuente: (Beltrán- Rico y Marcilla- Gomis, 2012). .....	12
<b>Figura 3.</b> Posibles interacciones de la materia prima, variables de proceso y del extrusor para formar el producto. Fuente: Brennan y col. (2013). .....	13
<b>Figura 4.</b> (a) enrollamiento helicoidal de la amilosa; (b) estructura química de la amilopectina. Fuente: Badui-Dergal (2006). .....	20
<b>Figura 5.</b> Ilustración de la semilla de Amaranto en sección transversal y longitudinal. Fuente: Arendt y Zannini (2013). .....	26
<b>Figura 6.</b> Estrategia experimental. ....	33
<b>Figura 7.</b> Diagrama del proceso de extrusión. ....	35
<b>Figura 8.</b> Espacio $L^* C^* h$ . Fuente: Valero-Muñoz (2013) .....	40
<b>Figura 9.</b> Ficha de escala hedónica facial mixta de cinco puntos para evaluar la aceptabilidad del producto. Fuente: Da Cunha y col. (2013) .....	45
<b>Figura 10.</b> Imágenes de las botanas extrudidas y fritas .....	59
<b>Figura 11.</b> Hidrólisis del almidón presente en los productos elaborados a partir de una mezcla con 50% HP y 50% HA .....	64
<b>Figura 12.</b> Hidrólisis del almidón presente en los productos elaborados a partir de una mezcla con 75% HP y 25% HA .....	65
<b>Figura 13.</b> Aplicación de la evaluación sensorial a los alumnos de la escuela primaria “Emiliano Zapata” .....	67
<b>Figura 14.</b> Distribución de edad de los niños encuestados .....	68
<b>Figura 15.</b> Aceptación de la muestra M50P50A-2 con y sin chile. ....	71
<b>Figura 16.</b> Aceptación de la muestra M75P25A-2 con y sin chile. ....	71
<b>Figura 17.</b> Aceptación de la muestra comercial con y sin chile .....	72
<b>Figura 18.</b> Calificación promedio de las botanas. ....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS

AACC	American Association of Cereal Chemist
AD	Almidón Disponible
ADL	Almidón de Digestión Lenta
ADR	Almidón de Digestión Rápida
AEPA	Asociación Nacional de Fabricantes de Papas Fritas y Productos Aperitivos.
AGCC	Ácidos Grasos de Cadena Corta
ANDEVA	Análisis de varianza
AR	Almidón Resistente
AT	Almidón Total
CANACINTRA	Cámara Nacional de la Industria de Transformación
CV	Coeficiente de Variación
EC	Enfermedad Celiaca
ECNT	Enfermedades Crónicas no Transmisibles
ENSANUT	Encuesta Nacional de Salud y Nutrición
FDT	Fibra Dietética Total
<i>g</i>	Gravedad
<i>g.l.</i>	Grados de libertad
<i>g/L</i>	Gramo/Litro
GOD-POD	Glucosa oxidasa-peroxidasa
HA	Harina de Amaranto
HCl	Ácido Clorhídrico
HP	Harina de Plátano
INIFAP	Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias
M	Molaridad
mg/L	Miligramo/Litro
ml	Mililitro
mm	Milimetro
µm	Micrómetro
N	Normalidad
NaOH	Hidróxido de Sodio
rpm	Revoluciones por minuto
UNICEF	Fondo Internacional de Emergencia de las Naciones Unidas para la Infancia
U/ml	Unidades/mililitro

## RESUMEN

En la actualidad el padecimiento de enfermedades crónicas no transmisibles como la obesidad, enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, etc., y los estilos de vida nocivos para la salud, ha aumentado la preocupación por una alimentación más saludable. Ya que es por medio de los alimentos que se regulan varias funciones del cuerpo. La incidencia en las enfermedades relacionadas con la alimentación ha generado una tendencia al desarrollo de alimentos funcionales con un mayor valor nutricional que aquellos alimentos que hoy en día forman parte de una dieta desequilibrada, los cuales son denominados “alimentos de engorde”. La extrusión es un proceso que ha sido ampliamente utilizado para el desarrollo de muchos alimentos funcionales, ya que con la selección adecuada de las variables de proceso tales como: materia prima (formulación adecuada), temperatura, humedad, velocidad de tornillo, entre otras, tienen una influencia en la composición final del extrudido. El objetivo del presente trabajo fue analizar las condiciones de extrusión tales como: formulación, humedad y temperaturas de proceso, en la producción de una botana por extrusión, elaborada con base en una mezcla de harina de plátano y harina de amaranto, con el fin de evaluar la calidad y digestibilidad de sus carbohidratos. Los resultados mostraron que en condiciones de proceso como una baja humedad y temperaturas elevadas de extrusión, tienen un efecto benéfico en el extrudido, ya que favorece la gelatinización del almidón, por lo cual el extrudido obtuvo una estructura más porosa y uniforme. Además de que se favorece la formación de nuevos complejos, posiblemente por la interacción de almidón-proteína, almidón-lípido, dando como resultado un aumento en la FDT (6.37 a 7.59%) y por ende una disminución en el porcentaje de hidrólisis del almidón disponible. Los resultados de la evaluación sensorial mostraron que las botanas con las mejores cualidades nutricionales y características de calidad, elaboradas por extrusión, son mejor aceptadas por los consumidores, cuando éstas poseen un sabor característico.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2012 reporta que, uno de cada 10 niños mexicanos padece desnutrición proteica, lo cual implica una dieta suficiente en energía, pero pobre en proteínas. La escasez de esos nutrimentos puede influenciar en el desarrollo de otros padecimientos como la anemia en los niños. Simultáneamente, los últimos datos de la encuesta sobre obesidad señalan que el 34.4% de los niños en edad escolar (ambos sexos, de 5 a 11 años) padecen sobrepeso u obesidad, así como el 35% de los adolescentes de entre 12 y 19 años. Y en el caso de los adultos, las mujeres ocupan el mayor porcentaje en la prevalencia combinada de sobrepeso u obesidad de 73% y 69.4% para los hombres.

El aumento en los índices de desnutrición y obesidad refleja que no son problemas aislados. Estudios recientes lo confirman: a mayor prevalencia de desnutrición, mayor riesgo de desarrollar sobrepeso (García-Schinkel, 2013).

Actualmente, México ocupa el primer lugar a nivel mundial en obesidad infantil, y el segundo en obesidad en adultos, precedido sólo por los Estados Unidos. Problema que está presente no sólo en la infancia y la adolescencia, sino también en población en edad preescolar (UNICEF, 2012).

El exceso de peso corporal (sobrepeso y obesidad) es reconocido actualmente como uno de los retos más importantes de Salud Pública en el mundo. Dada su magnitud, la rapidez de su incremento y el efecto negativo que ejerce sobre la salud de la población que la padece. Aumenta significativamente el riesgo de padecer enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) (Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria, 2010).

La principal causa a la que se apunta son los malos hábitos en la alimentación, que acaban desembocando en una prevalencia del sobrepeso de un 70% en la edad adulta (UNICEF, 2012).

Estos hábitos de consumo siguen siendo los mismos a través de los años. Los actuales consumidores siguen gustando del comer snacks en cualquier situación y a cualquier hora del día, viendo una película, sentados, caminando, en reuniones o simplemente en el trabajo, siendo esta una de las principales tendencias mundiales. Aunado a esto cuando la economía de un país se encuentra en crisis, son estos productos los que resuelven con mayor satisfacción y economía el apetito (Torres, 2009).

En el Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria (2010) se establece que el papel de la industria alimentaria debe fortalecer estrategias como la de continuar con el proceso de innovación y desarrollo de nuevos productos, así como explorar las posibilidades de reformulaciones de líneas de productos existentes, para ofrecer más y mejores opciones a los consumidores.

Sin embargo, los esfuerzos de la industria alimentaria de complementar los atributos nutricionales de varios productos, han sido rechazados debido a mal gusto y no han sido aceptados para formar parte en el patrón de una dieta habitual. Entre las técnicas de industrialización disponibles para alcanzar estos objetivos, la extrusión se ha utilizado ampliamente debido a su simplicidad y bajo costo (Chávez-Jáuregui y col., 2003).

Este trabajo tiene como objetivo utilizar la extrusión (analizando las variables de proceso y la materia prima utilizada) para la elaboración de una botana que no sólo cumpla con las características organolépticas de una comercial, sino que además proporcione un mejor valor nutricional en comparación con las tradicionales, las cuales son distribuidas en la gran red de comercio y consumidas en gran escala.

## I. Planteamiento del problema

En México durante las últimas décadas el problema del exceso en el consumo de calorías por la ingesta de alimentos ajenos a una dieta saludable, ha desencadenado una serie de preocupaciones respecto a la salud de los consumidores, por ello se han tratado de elaborar planes en favor del mejoramiento en los hábitos de alimentación y a mejorar el estado nutricional de la población afectada.

El consumo de alimentos ajenos a una dieta correcta y balanceada (productos industrializados con una alta densidad energética), han aumentado su demanda con el paso del tiempo, debido a un estilo de vida cada vez más agitada, a sus propiedades sensoriales y de textura, la mercadotecnia de las empresas que los producen; todo menos por el valor nutrimental que el producto ofrece.

Es común que entre estos alimentos, los más consumidos sean las botanas, las cuales poseen características organolépticas únicas como: color, forma, tamaño, aroma, textura y sabor, que son bien aceptadas por los consumidores. El incremento en la compra de estos productos ha sido inversamente proporcional a la mejora del producto nutricionalmente hablando.

De acuerdo con la Cámara Nacional de la Industria de la Transformación (CANACINTRA), en México el consumo de botanas es de cuatro kilogramos por mexicano en promedio al año, lo que indica un crecimiento sustancial del 70% en 10 años, dado que en el año 2000 el consumo llegó a 2.3 kilogramos. De acuerdo con un estudio sobre botanas realizado por Canacintra y Nielsen, en Noviembre del 2011, 97% de los hogares mexicanos consumen botanas, de los cuales 51.3% las compra más de 4.2 veces por semana.

En general, estamos ante un problema de nutrición inadecuada, ya que las botanas no son parte de una dieta habitual, sin embargo es uno de los alimentos de consumo diario en los niños, ya que son ellos principalmente quienes son más susceptibles a su consumo.

## II. Justificación

Es un hecho que a nivel mundial la incidencia de las enfermedades relacionadas con la alimentación ha generado una tendencia al consumo de alimentos que proporcionen o ayuden a un mejor estado de salud; debido a que por medio de la dieta se modulan varias funciones en el cuerpo y sobre todo se previene el desarrollo de enfermedades. Por tanto, existe un creciente interés en el desarrollo de alimentos funcionales, como alimentos con alto contenido de fibra dietética, debido a que han alcanzado razonable éxito que coadyuvan a modificar la ideología del público consumidor para prevenir los problemas de exceso de peso y la obesidad.

La mayoría de las botanas se elaboran a partir de harina de maíz, u otras fuentes como trigo, arroz, avena y papa. Sin embargo, estos productos generalmente tienen alto contenido de almidón, pero bajo valor nutricional en términos de proteínas, minerales, fibra, y son de fácil digestión. Esto ha desarrollado nuevas investigaciones en busca de materias primas que podrían funcionar como alternativa para mejorar o reemplazar ingredientes tradicionales con opciones que ofrezcan botanas más nutritivas. En este sentido, fuentes ricas en proteína y fibra dietética.

Por esta razón se decidió desarrollar una botana, ya que se han convertido en parte normal de la alimentación de la mayoría de la población, y los niños son los principales consumidores debido al fácil acceso que tienen de las mismas; por tanto, el objetivo es que además de cumplir con las características físicas y de calidad típicas de una botana homóloga (color, sabor, textura, entre otras), brinde un mayor beneficio nutrimental; considerando la digestibilidad de los carbohidratos. Usando como materias primas harina de plátano (HP) y harina de amaranto (HA).

### III. Objetivos

#### i. Objetivo general

Desarrollar una botana por extrusión, a partir de mezclas de harina de plátano y amaranto para evaluar el efecto de las variables de proceso en su calidad y digestibilidad de sus carbohidratos.

#### ii. Objetivos particulares

- Realizar un diseño experimental, analizando las variables del proceso de extrusión: concentración de las harinas y temperatura del extrusor.
- Evaluar el efecto de las variables de proceso en las características de calidad por medio de pruebas como: textura, absorción de aceite y grado de expansión del producto.
- Analizar la digestibilidad de los carbohidratos del producto, a través del contenido de fibra dietética, almidón total, almidón resistente, almidón disponible y tasa de hidrólisis.
- Realizar la evaluación sensorial de las botanas por medio de una prueba hedónica para determinar el grado de aceptación de la misma.

#### IV. Hipótesis

La mezcla de harina de plátano y amaranto por sus componentes: almidón, fibra y proteína, sometida a condiciones de baja humedad y altas temperaturas en el extrusor, tendrá un efecto positivo en la calidad nutricional (a través de la disminución de digestibilidad, alto contenido de fibra dietética), absorción de aceite, expansión y dureza. Y por ende una aceptabilidad en la comunidad infantil.

# Capítulo 1 ANTECEDENTES

## 1.1. Generalidades de las botanas

Las botanas tienen su origen por primera vez en el año de 1853 en forma de laminillas finas de papa elaborada por el chef George Crum en Nueva York. Posteriormente se inventaron a principios de los años 30 los “snack”, palabra inglesa que se puede traducir por bocadillo, comida rápida, aperitivo o botanas que es el termino más utilizado entre el consumidor mexicano. Las botanas fueron elaboradas mediante una amplia variedad de métodos, donde destaca el proceso llamado “extrusión”, en el cual el maíz molido muy fino (solo o combinado con harina de papa, trigo, centeno, arroz, etc.) es prensado a través de una pequeña abertura afilada y recibe calor que provoca que se expanda en ligeras piezas que pueden adquirir diversas formas (AEPA, 2014). Una clasificación apropiada por Sáenz, (2001) es que las botanas se pueden clasificar como botanas dulces (frutas deshidratadas, galletas, barras de cereales y extrudidos con sabor a frutas, etc.) y botanas saladas (botanas extrudidas con aditivos o saborizantes, papas fritas, galletas saladas, etc.). Sin embargo, se puede considerar que con base en la AEPA (2014) existe una clasificación más precisa, la cual se puede categorizar en 5 grupos; 1) Frutos secos, pelados, tostados, salados o recubiertos, 2) Frutas deshidratadas, 3) Papas fritas, tortillas fritas, 4) productos inflados (palomitas de maíz), 5) Botanas extrudidas (AEPA, 2014).

En México la NOM-187-SSA1/SCFI-2002 define como botana a los productos de pasta de harinas, de cereales, leguminosas, tubérculos o féculas; así como de granos, frutas, frutos, semillas o leguminosas con o sin cáscara o cutícula, tubérculos; productos nixtamalizados y piel de cerdo, que pueden estar fritos, horneados, explotados, cubiertos, extrudidos o tostados; adicionados o no con sal y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos.

El consumo de estos productos está determinado a cualquier hora o situación, sin restricciones de grupos demográficos, culturales, socioeconómicos o etarios. Los

jóvenes los consumen de dos a tres veces al día; la motivación se da por las características sensoriales, accesibilidad, el pasar el hambre o el disipar el nerviosismo (Estévez, 2001).

#### 1.1.1. Método de elaboración de botanas. Método de extrusión

En 1797, Joseph Bramah patentó el primer proceso de extrusión para la fabricación de tubería de plomo y para los últimos 250 años la tecnología de extrusión se ha utilizado en la fabricación de plásticos, metales y materiales sintéticos moldeados. Es relativamente poco (desde la década de 1970) que ha habido un uso considerable de la tecnología de extrusión en la industria alimentaria. El interés en el uso de extrusores en la industria alimentaria se deriva del hecho de que son capaces de mezclar diversos ingredientes en nuevas estructuras de los alimentos y por lo cual puede ser útil en el desarrollo de alimentos funcionales. La calidad de los productos finales puede variar en función de algunas variables de los parámetros de extrusión, como la composición de materias primas, la humedad de alimentación, temperatura del cilindro, la velocidad del tornillo, el tipo de extrusionado y el tornillo de configuración (Brennan y col., 2013).

La extrusión consiste en el moldeado o conformación de una sustancia blanda, o plástica, mediante aplicación de calor y fuerza de fricción mecánicas, hasta hacerla pasar por un orificio, cuya forma especial proporciona al producto final una textura y características determinadas (Bello-Gutierrez, 2000).

La cocción por extrusión se suele aplicar en gran medida a la transformación de materiales con elevado contenido de proteínas o en almidón: harinas, sémolas, salvado, soja, surimi, caseínas, etc. De este modo han aparecido en el mercado de la alimentación nuevos productos: snacks aperitivos, cereales para el desayuno, galletas, arroz inflado, papillas infantiles, análogos o simulados de alimentos convencionales, mezclas ricas en fibra a base de cereales y almendras, bolas de cereales (Bello-Gutierrez, 2000).

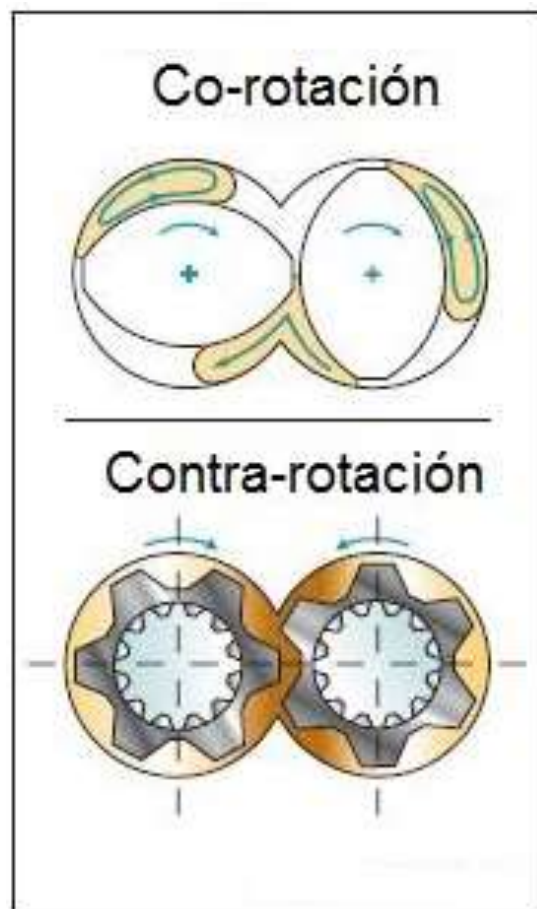
La característica más importante de un proceso de extrusión es su naturaleza continua. Se opera en un estado de equilibrio dinámico estacionario, donde las variables de entrada están equilibradas con las de salida. En consecuencia, con objeto de obtener las características requeridas de un extrusionado, se deben fijar las entradas multivariantes en los niveles correctos para dar las condiciones físicas dependientes y los cambios químicos de proceso dentro del cilindro del equipo. Estas variables dependientes del sistema determinan las variables del extrusionado, que se reflejan en las variables del producto. La cocción por extrusión ha ganado popularidad debido a un número de razones (Guy, 2000):

- Versatilidad: una amplia gama de productos, muchos de los cuales no se pueden producir fácilmente mediante otros procesos, es posible mediante el cambio de ingredientes, de las condiciones de operación del extrusor y de los troqueles.
- Coste: la extrusión tiene costes de operación más bajos y más productividad que otros de cocción y formateado.
- Calidad del producto: La cocción por extrusión implica altas temperaturas aplicadas en un tiempo corto, reteniendo muchos componentes sensibles de un alimento.
- Productividad: los extrusores pueden operar continuamente con un alto rendimiento.
- Favorable ambientalmente: como proceso a humedad baja, la cocción por extrusión no produce efluentes de procesamiento significativos, reduciendo los costes de tratamiento de agua y los niveles de contaminación medioambiental.

#### 1.1.2. Descripción general del equipo

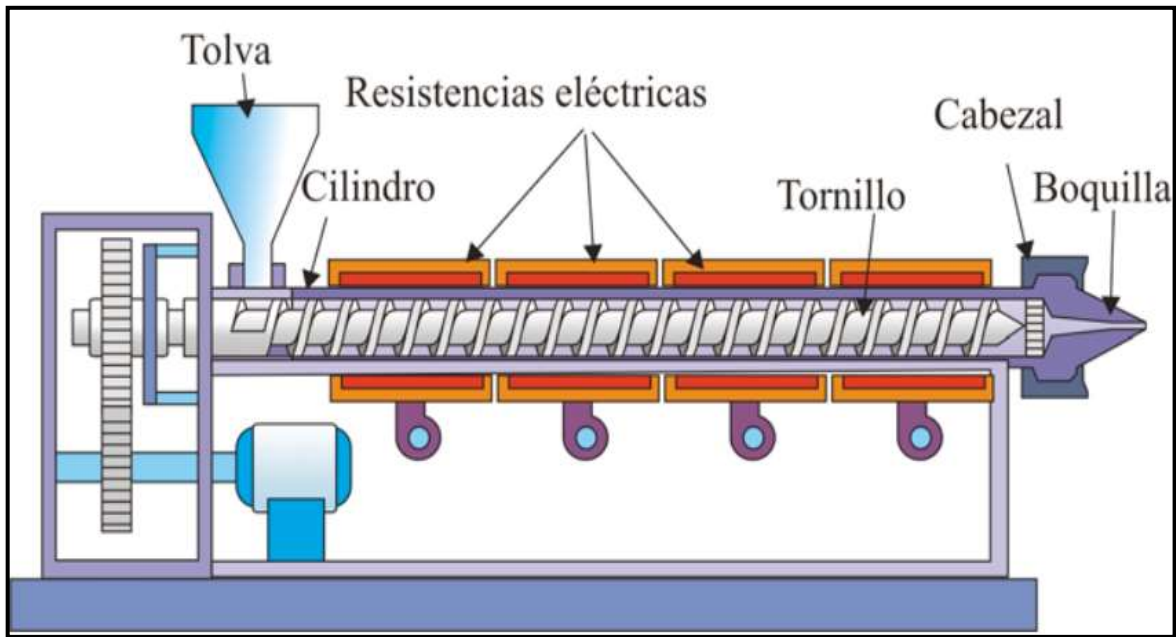
Aunque simplemente se puede considerar la extrusión como un proceso de cocción continua. Existen tres principales tipos de tornillos: de un solo tornillo, de doble tornillo en contra-rotación y de doble tornillo en co-rotación. En la posición de contra-rotación el tornillo del extrusor gira en la dirección opuesta, mientras que en la posición de co-rotación el tornillo gira en la misma dirección Figura1. Sea

cual sea el tipo de tornillo que se utilice, gira constantemente en el barril durante la extrusión, impulsando así el material alimentado hacia adelante creando una presión continua y cizalla. Al final del tornillo, el producto es forzado (a alta presión y temperatura) a través de un orificio de restricción comúnmente llamado la matriz. Para la cocción continua, del tipo de un solo tornillo es más comúnmente utilizado, ya que es fácil de usar y cuesta menos (Brennan y col., 2013).



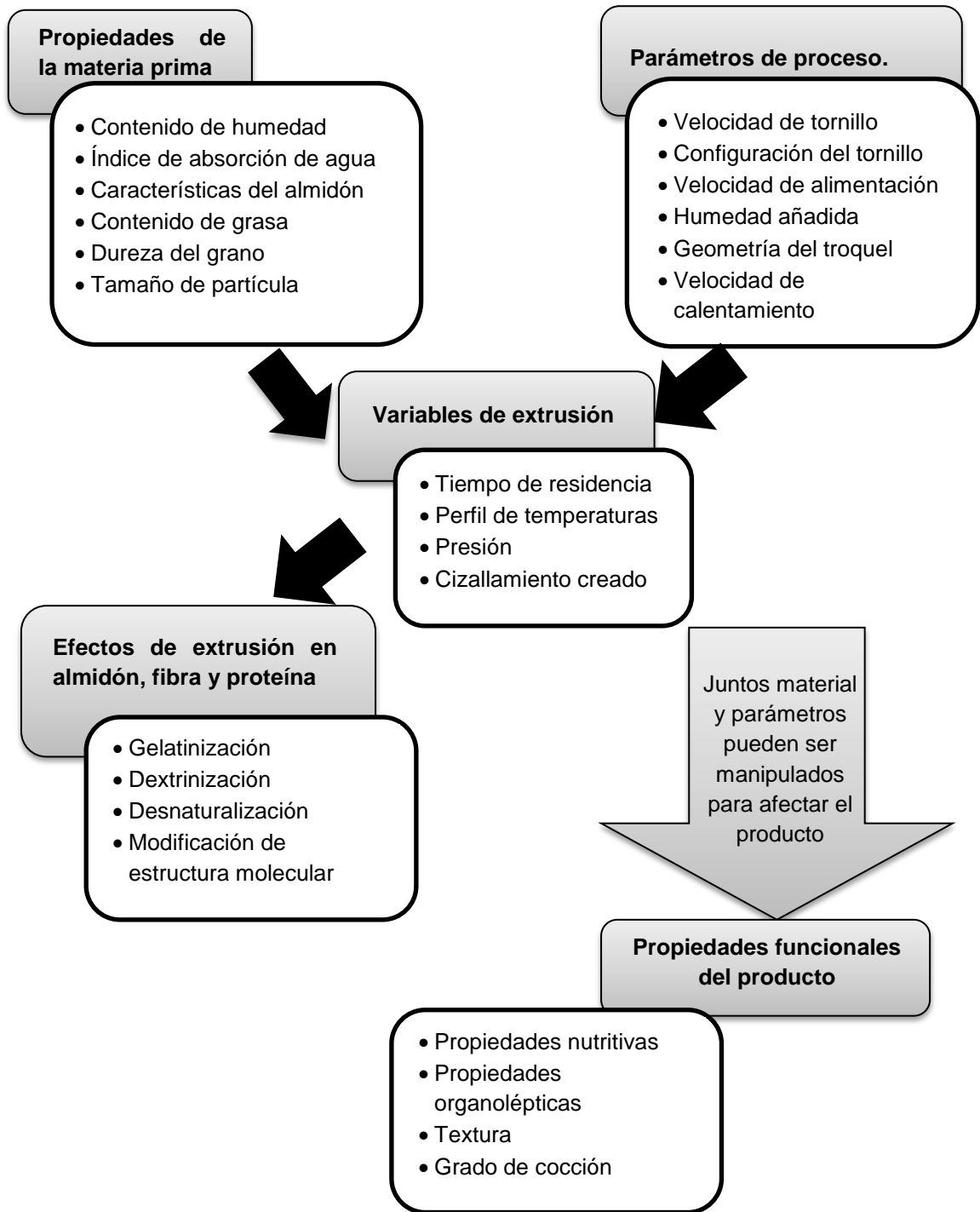
**Figura 1.** Dirección del doble tornillo. Fuente: Particle Sciences, (2012).

Independientemente si el equipo es de uno o dos tornillos el principio es el mismo (Figura 2). El extrusor de un solo tornillo se puede dividir en tres zonas: zona de alimentación, zona de amasado y la zona final de cocción. La zona de alimentación en general, tiene canales profundos que reciben la alimentación. El material pre acondicionado o seco entra a esta zona y es transportado a la zona de amasado. En esta zona se aplica la compresión, cizalladura leve y energía térmica al material de alimentación, es entonces cuando el material de alimentación empieza a perder parte de su definición granular. Al final de esta zona, el material es una masa visco-amorfa por arriba de los 100°C. El deslizamiento reducido en la pared del cilindro evita que el material alimenticio gire con el tornillo, denominado "flujo de arrastre". Un canal de tornillo continuo sirve como un camino para "flujo inducido por la presión", porque la presión detrás de la boquilla es mucho mayor que en la entrada del extrusor. Como el material de alimentación se mueve a través de la zona de amasado, la masa que fluye se va formando y siendo más cohesiva, que normalmente alcanza su máxima compactación. El material exhibe una textura gomosa similar a una masa muy caliente. En esta etapa, el material entra en la zona de cocción final de la extrusora. La función de esta zona es comprimir y bombear el material dándole forma dependiendo del diseño del producto. La temperatura y la presión varían rápidamente en esta región debido a la configuración del tornillo del extrusor (Guy, 2000).



**Figura 2.** Representación esquemática de un extrusor de tornillo sencillo. Fuente: Beltrán-Rico y Marcilla-Gomis, (2012).

La Figura 3 ilustra algunos de los diferentes factores que tienen una influencia en el proceso de cocción por extrusión. De manera que, extrusión es un proceso que combina la mezcla, forma y favorece el texturizado y la cocción de la materia prima culminando así en un producto alimenticio (Brennan y col., 2013).



**Figura 3.** Posibles interacciones de la materia prima, variables de proceso y del extrusor para formar el producto. Fuente: Brennan y col., (2013).

## 1.2. Alimentos funcionales

Los alimentos funcionales se definen como alimentos que, además de proporcionar nutrientes, ofrecen potenciales beneficios para la salud que pueden mejorar el bienestar de los individuos. Ellos "afectan a una o más funciones objetivo en el cuerpo, más allá de sus efectos nutricionales, ya sea para mejorar la salud y / o reducir el riesgo de la enfermedad", se consumen como parte de un patrón de alimentación normal y no como una píldora, una cápsula, ni ninguna forma de suplemento dietético. Algunos ejemplos de alimentos funcionales se muestran en el Tabla 1. (Assmann y col., 2014).

**Tabla 1.** Ejemplos prácticos de alimentos funcionales. Fuente: Assmann y col. (2014).

Definición	Ejemplos
Un alimento natural, fruto o grano que puede o no puede ser modificado	Aceites vegetales enriquecidos con vitamina E, enriquecida con vitamina A, la ingeniería genética, el arroz "de oro"
Un alimento al que se ha añadido un componente	Una extensión con fitoesteroles
Una comida de la que un componente se ha eliminado o reducido	Un yogurt bajo en grasa
Un alimento en el que uno o varios componentes, han sido modificados, sustituidos o mejorado para mejorar sus propiedades para la salud	Una bebida de jugo con contenido antioxidante mejorada, un yogur con prebióticos o probióticos añadidos

Ya que el papel de los alimentos funcionales se fundamenta en la presencia de ingredientes funcionales (compuestos bioactivos), la posibilidad de desarrollar tales alimentos pasa por emplear estrategias capaces de condicionar la presencia de determinados compuestos, bien incrementando la proporción de aquellos que exhiben efectos beneficiosos, o bien limitando el contenido de aquellos otros con implicaciones negativas para la salud (Jiménez-Colmenero, 2013).

Por consiguiente, un alimento funcional puede ser un alimento natural o transformado en los que mediante procedimientos tecnológicos o biotecnológicos se han producido alguna de las siguientes modificaciones (Jiménez-Colmenero, 2013):

- a. Eliminación/reducción de algún componente con efectos fisiológicos negativos.
- b. Aumento de la concentración de algún componente naturalmente presente (nutriente o no) hasta unos niveles que produzcan efectos beneficiosos.
- c. Incorporación de un componente potencialmente beneficioso (macro o micronutriente) que no se encuentra naturalmente presente en el alimento.
- d. Sustitución de algún componente con efectos fisiológicos negativos por otro con efectos fisiológicos beneficiosos.
- e. Modificación de la naturaleza o biodisponibilidad de uno o más componentes encaminados a producir efectos benéficos.
- f. Combinaciones de estas posibilidades.

Entre las estrategias tecnológicas de desarrollo de alimentos funcionales se encuentran las basadas en cambios en los sistemas de transformación. La forma más versátil de modificar la composición de los alimentos surge de la enorme posibilidad de introducir cambios en los ingredientes utilizados en su elaboración y en consecuencia sobre la presencia de diversos compuestos bioactivos de carácter endógeno y exógeno. La reformulación de alimentos permite, además de la utilización de ingredientes tradicionales, el empleo de otros diseñados específicamente para ser dotados de unos atributos (naturaleza o composición) convenientes para conferirles de propiedades saludables (Jiménez-Colmenero, 2013).

Enfermedades relacionadas con la alimentación, como la obesidad, el cáncer, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares, han incrementado la elaboración

de los alimentos funcionales ya que desempeñan un papel importante al reducir o prevenir el riesgo de enfermedades (Özen y col., 2014).

La epidemia de obesidad que se observa en la mayoría de los países del mundo es un asunto de preocupación para la industria alimentaria, que es frecuentemente acusado de ser, al menos en parte responsable de este problema. La principal crítica está dirigida a los productores de alimentos la cual se refiere a la comercialización de alimentos 'engorde' que promueven la sobrealimentación. Para contrarrestar este fenómeno, el sector agroalimentario ha movilizó una gran cantidad de recursos para diseñar alimentos funcionales que podrían contribuir a la prevención de la obesidad así como la gestión del exceso de peso corporal (Tremblay y Arguin, 2013).

### 1.3. Plátano

#### 1.3.1. Importancia

El plátano es un término general utilizado para referir a un gran número de especies del género *Musa* de la familia *Musáceae*. Son frutas generalmente alargadas con un alto contenido en almidón. Hay dos variedades principales *M. Cavendish* (plátanos comestibles cuando están crudos) y *M. paradisiaca* (plátanos machos o para cocer). Es el cuarto cultivo más importante del mundo después del arroz, trigo y maíz. Además de ser considerado un producto básico y de exportación (Zhang y col., 2005). Este fruto crece en regiones tropicales y subtropicales. En México se consume de manera regular en estado maduro, aunque esto depende de la variedad, en el sureste del país la variedad denominada "macho" es la más común consumiéndose de manera verde o inmaduro y en platillos típicos de esos lugares (Bello-Pérez y col., 2001).

Se ha reportado que la composición química del fruto en estado inmaduro contiene 70-74% de humedad, 1% de proteína, 0.3-0.5% de lípidos, 20-30% de carbohidratos totales (similar al contenido en maíz y papa, actualmente utilizados

para la obtención de almidón), fibra 3-5% y el 1% de cenizas (Muller y Tobin, 1988).

El plátano verde es un alimento de gran valor recomendado para varias condiciones patológicas, incluyendo estreñimiento y diarrea, debido a su capacidad para Normalizar las funciones del colon. Puesto que tiene la capacidad para estimular la proliferación de la bacteria acidophilus la cual es beneficiosa en seres humanos, se recomienda su ingesta en casos de colitis, colitis ulcerativa, úlcera gástrica, uremia, nefritis, gota, enfermedad cardiovascular, y enfermedad celíaca. Cuando se está en la etapa verde, el plátano se considera como un alimento funcional del tipo prebiótico. El factor más importante para considerar al plátano verde como alimento prebiótico, es su contenido de almidón resistente, caracterizado por la porción del gránulo o sus productos de degradación que no son digeridos o absorbidos en el intestino delgado y se fermenta en el intestino grueso (Bezerra y col., 2013).

### 1.3.2. Harina de plátano

La harina de plátano verde ha mostrado potencial nutricional y nutraceutico debido a que representa una fuente alternativa de carbohidratos indigestibles y antioxidantes. Existen estudios que sugieren que el consumo de plátano verde produce un efecto benéfico en la salud, asociado con sus compuestos indigestibles como el AR. Recientemente, diversos autores han reportado que la adición de almidón o harina de plátano verde en diversos alimentos como pasta, pan y galletas, presentan mayor contenido de AR y una menor velocidad de digestión (Islas-Hernández y col., 2010).

El componente mayoritario de la HP es el almidón, con un contenido entre 73-84% del peso seco de la pulpa. Harina de diferentes variedades de plátano, contienen entre 3.9-5.58% de humedad, entre 2.5-6.8% de proteína, aproximadamente 0.33-2.70% de lípidos, entre 2.6-4.7% de cenizas y entre 6.28-15.54% de fibra dietética

total (FDT), aproximadamente 56.3% de almidón disponible y un contenido aproximado de 17.3% de almidón resistente (Juarez-García y col., 2006).

### 1.3.3. Almidón

Se encuentra en los cereales, los tubérculos y en algunas frutas como polisacárido de reserva energética. Su concentración varía según el estado de madurez de la fuente; el caso del plátano es una señal muy clara en este sentido: en estado verde o inmaduro, el almidón constituye la mayor fracción de los hidratos de carbono, ya que los azúcares son muy escasos; a medida que la fruta madura, el polisacárido se hidroliza por la acción de las amilasas, y mediante otros sistemas enzimáticos se sintetizan la sacarosa y la fructosa que se encuentran cuando llega a la plena maduración, como se muestra en el Tabla 2 (Badui-Dergal, 2006).

**Tabla 2.** Cambios en la composición del plátano durante la maduración. Fuente: Badui-Dergal (2006).

Color	Características	Almidón	Azúcares
1	Verde	21.5-19.5	0.1-2.0
2	Verde con huellas de amarillo	19.5-16.5	2.0-5.0
3	Más verde que amarillo	18.0-14.5	3.5-7.0
4	Más amarillo que verde	15.0-9.0	6.0-12.0
5	Sólo puntas verdes	10.5-2.5	10.0-8.0
6	Todo amarillo	4.0-1.0	16.5-19.5
7	Pequeñas áreas de color café	2.5-1.0	17.5-19.0
8	Grandes áreas de color café	1.5-1.0	18.5-19.0

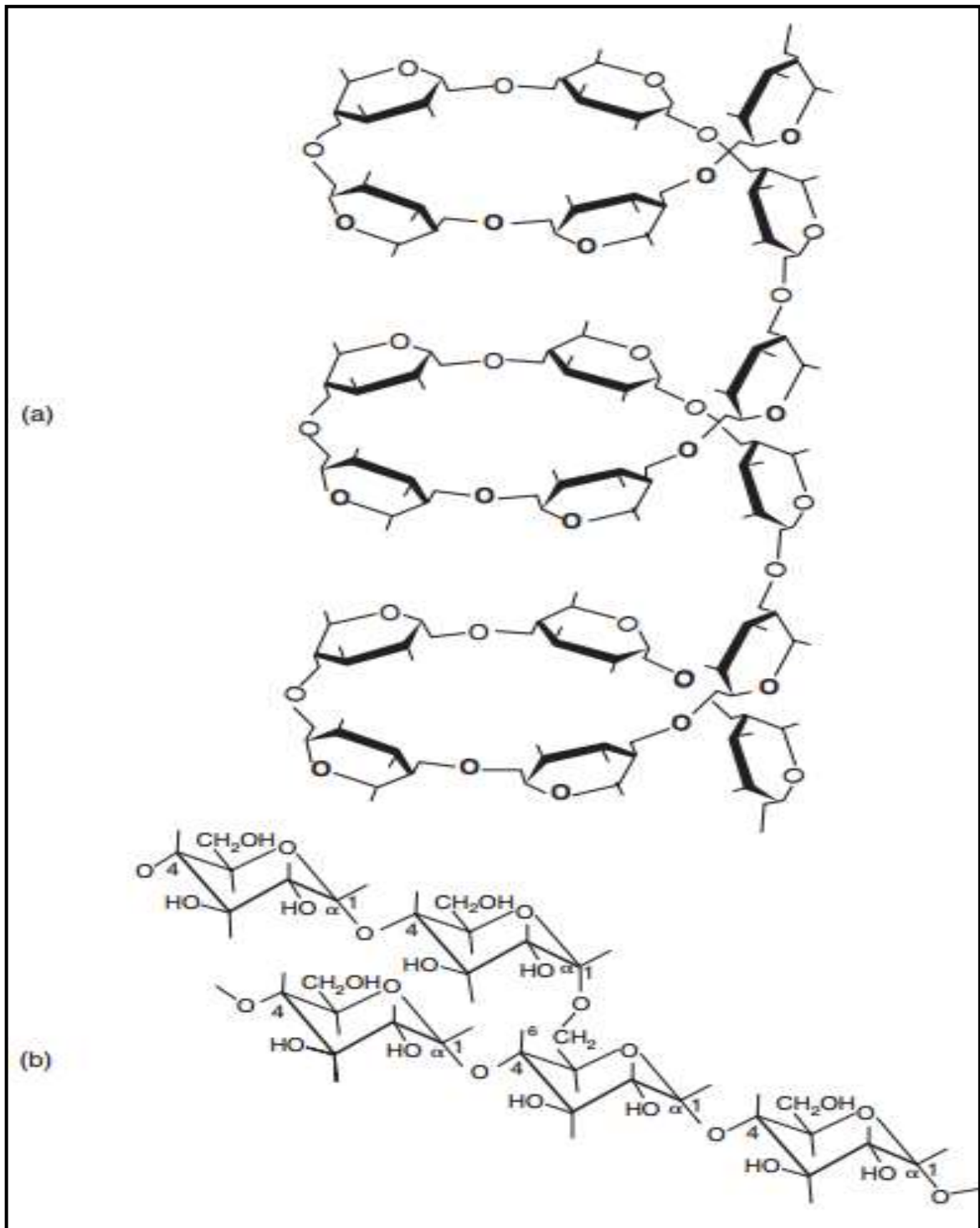
Desde el punto de vista químico, el almidón es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; el primero es producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -(1,4), que

establece largas cadenas lineales con 200-2 500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una  $\alpha$ -D- (1,4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la  $\alpha$ -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal (Figura 4), en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa (Badui-Dergal, 2006).

Por su parte, la amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa (Figura 4). Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones, aunque se han reportado pesos de entre 300,000 y 500,000 (Badui-Dergal, 2006).

Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. En ciertos casos, cuando una de estas fracciones está en exceso, puede traer consigo algunos inconvenientes; esto se observa en el arroz cocido, cuya calidad mejora cuando se reduce el contenido de amilosa, pues resulta menos pegajoso (Badui-Dergal, 2006).

Este polisacárido está organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química y estructura son características de cada especie botánica. El tamaño de los gránulos de almidón varía de 0.5 a 100  $\mu$ m. Se pueden encontrar gránulos de gran tamaño en el almidón de papa (15 a 100  $\mu$ m) y gránulos tan pequeños como los del almidón de amaranto (0.8 a 2.5  $\mu$ m) (Badui-Dergal, 2006).



**Figura 4.** (a) enrollamiento helicoidal de la amilosa; (b) estructura química de la amilopectina. Fuente: Badui-Dergal (2006).

El almidón ha sido clasificado en almidón rápidamente digestible (ADR), lentamente digestible (ADL) y almidón resistente (AR), para diferenciar sus propiedades de digestión en los alimentos. El ADR es digerido rápidamente y absorbido en el duodeno y en la región proximal del intestino delgado, produciendo una elevación muy rápida de glucosa en sangre, y usualmente un período subsecuente de hipoglucemia. El ADL puede prolongar la saciedad, por lo que es benéfico en alimentos consumidos por atletas, ya que este tipo de almidón puede proveer una cantidad de glucosa sostenida por un periodo de tiempo prolongado. El ADL mejora el control global de glucosa en sangre en pacientes con diabetes mellitus y atenúa el colesterol total en pacientes hiperlipidémicos. El AR no es digerido en el tracto intestinal delgado, y es fermentado por la microflora del colon, produciendo ácidos grasos de cadena corta (AGCC), los cuales suministran energía adicional al organismo, así como una alta cantidad de butirato el cual es benéfico para el estado “saludable” del colon. El ADL, como una fracción intermedia entre el ADR y el AR, es digerido lentamente a lo largo del intestino delgado, produciendo una liberación sostenida de glucosa con una glucémica inicial baja y posteriormente una lenta y prolongada liberación de glucosa (Islas-Hernández y col., 2010), por lo cual que es importante los tipos de almidón resistente (AR), así como sus características (Tabla 3).

**Tabla 3.** Tipos de almidón resistente. Fuente: Fuentes-Zaragoza y col., (2010).

Tipos de almidón	Característica
Almidón Resistente tipo 1	Físicamente inaccesible a la digestión por atrapamiento en una matriz no digerible.
Almidón Resistente tipo 2	Gránulos de almidón no gelatinizados con cristalinidad tipo B, lentamente hidrolizado por $\alpha$ -amilasa.
Almidón Resistente tipo 3	Almidón retrogradado formado cuando los alimentos que contienen almidón son cocinados y enfriados.
Almidón Resistente tipo 4	Almidón modificado químicamente que retrasa el ataque de la $\alpha$ -amilasa.

#### 1.3.4. Gelatinización del gránulo

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero pueden embeber agua de manera reversible; es decir, pueden hincharse ligeramente con el agua y volver luego al tamaño original al secarse. Sin embargo, cuando se calientan en agua, los gránulos de almidón sufren el proceso denominado gelatinización. La gelatinización es la disrupción de la ordenación de las moléculas en los gránulos. Evidencias de la pérdida de orden son: el hinchamiento irreversible del gránulo, la pérdida de la birrefringencia y la pérdida de la cristalinidad. La gelatinización total se produce normalmente dentro del intervalo más o menos amplio de temperatura, siendo los gránulos más grandes los que primero gelatinizan. La temperatura inicial aparente de gelatinización y el intervalo dentro del cual tiene lugar, depende del método de medida y de la relación almidón-agua, del tipo de gránulo, así como de las heterogeneidades en la población de gránulos (BeMiller y Whistler, 2010).

Las etapas de gelatinización del almidón son las siguientes (Vaclavik, 2002).

- La temperatura de gelatinización se alcanza dependiendo del tipo de almidón, aproximadamente a 60-71 °C.

- La energía cinética de las moléculas de agua caliente rompen los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón. A medida que se forman puentes de hidrógeno, el agua es capaz de penetrar más profundamente en el gránulo de almidón y tiene lugar el hinchamiento.
- Se produce la difusión de algunas cadenas de amilosa a medida que salen de los gránulos de almidón.
- Se pierde la birrefringencia y la estructura cristalina ordenada del gránulo de almidón nativo. Es claramente más traslucido porque el índice de refracción del gránulo expandido está próximo al del agua.
- El hinchamiento del gránulo aumenta a medida que aumenta la temperatura. Los gránulos de almidón más grandes son los primeros en hincharse.
- Los gránulos de almidón hinchados ocupan más espacio y la mezcla espesa a medida que los gránulos se agrandan liberando amilosa y posiblemente amilopectina.
- La pasta de almidón continúa volviéndose más espesa, más viscosa y resistente al flujo a medida que gelatiniza.
- Cocinando el almidón gelatinizado durante 5 minutos o más desarrolla flavor. Un exceso de agitación hace menos espesa la mezcla de almidón cocido a medida que los gránulos de almidón hinchados implosionan, se rompen y pierden algo del líquido que retienen en el interior los gránulos agrandados.

## 1.4. Amaranto

### 1.4.1. Importancia

El género *Amaranthus* pertenece a la familia *Amaranthaceae* Taba 4, e incluye más de 60 especies, de las cuales tres, *Amaranthus hypochondriacus*, *A. cruentus* y *A. caudatus*, son las especies esenciales de grano (Kaur y col., 2010).

**Tabla 4.** Clasificación botánica del Amaranto. Fuente: Arendt y Zannini (2013).

Clasificación	Amaranto
Clase	Dicotiledónea
Subclase	<i>Caryophyllidae</i>
Orden	<i>Caryophyllales</i>
Familia	<i>Amaranthaceae</i>
Género	<i>Amaranthus</i>
Especie	Al menos 60 especies, las más destacadas: <i>A. Caudatus</i> <i>A. Cruentus</i> <i>A. Hypochondriacus</i>

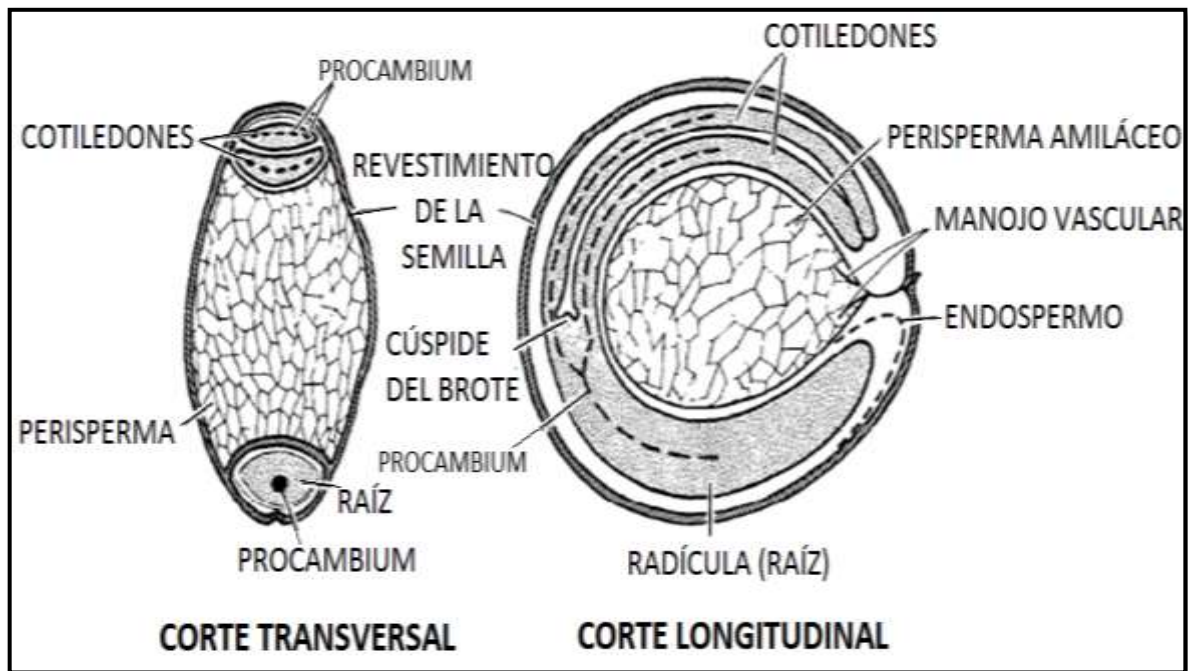
En la época de los Aztecas uno de los cultivos más importantes fue el amaranto (*A. hypochondriacus*), debido a su alto valor nutricional; produciendo de 15 000 a 20 000 toneladas por año. Pero este cultivo fue desplazado y muchas veces prohibido por los españoles hasta casi desaparecerlo ya que lo relacionaban con ritos paganos religiosos. Para la década de los 60's se cultivaba en pequeñas áreas agrícolas, en los años 80's este cultivo ha sido revalorado por la sociedad, por ser uno de los cereales más ricos en proteínas y minerales esenciales para el hombre, entre ellos la lisina, además que se adapta fácilmente a diferentes condiciones agroecológicas. En México los estados que se dedican a la siembra

de este cultivo son: Distrito Federal, Estado de México, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro y Tlaxcala produciendo 3 863.2 toneladas (Pérez-Torres y col., 2011).

Puebla es considerado uno de los principales estados en la producción de amaranto con 2 510.8 toneladas, sembrando más de 50% del total nacional. Hay cuatro regiones productoras de semilla: el Popocatepetl colindando con el estado de Morelos incluye los municipios de Acteopan, Atzizihuacán, Huaquechula y Tochimilco; en el Ixtazihualt los municipios de San Felipe Teotlalcingo (San Juan Tetla), San Martín Texmelucan y San Salvador El Verde; en la Mixteca Poblana los municipios de San Juan Ixcaquixtla, San Martín Atexcal y Tepexi de Rodríguez y por último en el municipio de Tehuacán (Pérez-Torres y col., 2011).

El amaranto es un cultivo muy versátil que se cultiva en una amplia gama de condiciones agroclimáticas; resiste la sequía, el calor y las plagas, y se adapta fácilmente a nuevos entornos, incluyendo algunos que son inhóspitas para los cultivos de cereales convencionales. Es uno de los pocos cultivos de usos múltiples, que pueden suministrar los granos y sabrosas hojas de alta calidad nutricional como alimentos y piensos, y, además, una planta ornamental, debido a una atractiva coloración inflorescencia (Kaur y col., 2010).

El embrión de la semilla es *campylotropous*, es decir, circular, con sus extremos casi tocándose y adjuntando el perisperma. Esto se puede apreciar en la Figura 5. Por consiguiente, el embrión es más bien grande y representa alrededor del 25% del peso de grano. La cubierta de la semilla es completamente lisa y fina. En contraste con los otros dos pseudocereales, quínoa y trigo sarraceno, no es necesario retirar la cubierta de la semilla de amaranto. De tal manera que la semilla se puede utilizar directamente en la mayoría de los casos (Arendt y Zannini, 2013).



**Figura 5.** Ilustración de la semilla de Amaranto en sección transversal y longitudinal. Fuente: Arendt y Zannini (2013).

#### 1.4.2. Harina de amaranto

Un uso tradicional de amaranto incluye la mezcla de granos reventados con miel, azúcar moreno o melaza para producir un producto de tipo de caramelo (Kaur y col., 2010). Además, el amaranto tiene un gran potencial en la producción de productos sin gluten ricos en nutrientes, como el pan, la pasta y productos de confitería (Alvarez-Jubete y col., 2010).

El grano de amaranto en general se caracteriza por sus altos niveles de proteínas nutricionalmente favorables, lípidos de alta calidad, y contenido de almidón más bajos que los principales cereales (maíz, arroz y trigo). Una comparación de la composición química media de tres especies de amaranto (*A. hypochondriacus*, *A. cruentus* y *A. caudatus*), el maíz, el arroz y el trigo se muestra en el Tabla 5., y la comparación entre las diferentes especies del amaranto, se muestran en el Tabla 6 (Arendt y Zannini, 2013).

**Tabla 5.** Comparación de la composición proximal de granos de amaranto y algunos cereales (% del peso en base seca).

Composición	Amaranto <sup>a</sup>	Trigo	Maíz	Arroz
Carbohidratos	59.2	66.9	67.7	75.4
Proteína	16.6 <sup>b</sup>	14 <sup>c</sup>	10.3 <sup>d</sup>	8.5 <sup>d</sup>
Grasa	7.5	2.1	4.5	2.1
Fibra	4.1	2.6	2.3	0.9
Ceniza	3.3	1.9	1.4	1.4
Humedad	9.6	12.5	13.8	11.7

<sup>a</sup> Valor medio de harina de las especies de *Amaranthus* (*A. cruentus*, *A. caudatus*, *A. hypochondriacus* and *A. hybridus*).

<sup>b</sup> N×5.85. <sup>c</sup> N×5.7. <sup>d</sup> N×6.25.

Fuente: Arendt y Zannini (2013).

**Tabla 6.** Aproximación de la composición del grano de Amaranto para varias especies (% del peso en base seca).

Composición	<i>A. caudatus</i>	<i>A. cruentus</i>	<i>A. hybridus</i>	<i>A. hypochondriacus</i>
Carbohidratos	59.6-62.8	60.7-62.6	58.6	57.0
Proteína <sup>a</sup>	17.6-18.4	13.2-18.2	14.0	17.9
Grasa	6.9-8.1	6.3-8.1	6.7	7.7
Fibra	3.2-5.8	3.6-4.4	6.6	2.2
Ceniza	3.1-4.4	2.8-3.9	3.6	4.1
Humedad	9.5-11.6	6.2-8.8	10.5	11.1

<sup>a</sup> N×5.85.

Fuente: Arendt y Zannini (2013).

#### 1.4.3. Propiedades de los carbohidratos del amaranto

El contenido de almidón comprende del 48 al 69% (base seca) del grano de amaranto, dependiendo de la especie y se encuentra en el perisperma. Los gránulos de almidón son solo de 1 a 3  $\mu\text{m}$  de diámetro y son de forma esférica o poligonal (Pérez-Caracas y col., 2006).

Una comparación de almidón de amaranto con almidón de cereales revela dos grandes diferencias entre este pseudo-cereales y los granos de cereales. En primer lugar, el almidón comprende el componente principal de carbohidratos de amaranto, pero por lo general se encuentra en cantidades inferiores a los de los cereales (ver Tabla 5). En segundo lugar, almidón de amaranto no se encuentra en el endospermo, pero sí en el perisperma (Arendt y Zannini, 2013).

En comparación con el almidón de maíz, el almidón de amaranto muestra excelente punto de congelación-descongelación y estabilidad a la retrogradación, una mayor temperatura de gelatinización y de viscosidad, menor solubilidad y una mayor absorción de agua en valores de actividad de agua más alta, así como poder de hinchamiento superior y de susceptibilidad a enzimas. El almidón de amaranto tiene un papel importante en aplicaciones de alimentos como espesante en sopas, como un sustituto de la grasa, en salsas y en el desayuno cereales, magdalenas, galletas, bocadillos, pastas y alimentos para la salud. Otros usos comerciales actuales y potenciales de almidón de amaranto son en cosméticos, películas biodegradables, revestimientos de papel y almidón de lavandería (Arendt y Zannini, 2013).

#### 1.4.4. Proteína

Sus granos tienen mayor contenido de proteína (12-18%) que la mayoría de los otros granos de cereales, con un contenido significativamente más alto de aminoácidos como la lisina, y los niveles aceptables de triptófano y metionina, que se encuentran en bajas concentraciones en los cereales y granos de leguminosas de uso común. Además de la proteína, los granos son una buena fuente de fibra

dietética y minerales, tales como magnesio, fósforo, cobre, y especialmente manganeso. El aceite de amaranto de grano contiene cantidad significativa (8%) de escualeno, que tiene muchos efectos beneficiosos directos e indirectos importantes sobre la salud, y tiene el potencial de reemplazar otras fuentes de escualeno, por ejemplo, ballena o aceite de hígado de tiburón. El escualeno, se ha encontrado para actuar como un agente contra el cáncer y tiene efectos hipocolesterolémicos (Kaur y col., 2010).

## Capítulo 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Materia Prima

Se utilizó plátano macho (*Musa paradisiaca* L.) en estado inmaduro (con etapa de maduración 1) y semilla seca de amaranto para la obtención de las harinas. El plátano en estado inmaduro se adquirió en la central de abastos de la ciudad de Cuautla, Morelos., y el amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) fue donado por el INIFAP (Instituto Nacional de Investigadores Forestales, Agrícolas y Pecuarias). Adicionalmente se utilizó harina comercial Maseca, maíz nixtamalizado, para realizar una comparación en cuanto descripción del producto, utilizando pruebas fisicoquímicas y de textura.

El desarrollo de la parte experimental se llevó a cabo en el Departamento de Desarrollo Tecnológico en el laboratorio de control de calidad del CeProBi-IPN en Yautepec de Zaragoza, Morelos.

### 2.2 Obtención de las harinas

Para obtener la harina de plátano verde, éste se sometió a un lavado, pelado y la pulpa se cortó en rodajas de 0.5 cm de grueso, se sumergieron en una solución de ácido cítrico (3 g/L) para evitar la oxidación, posteriormente las rodajas de plátano fueron colocadas en charolas para poder ser sometidas a un secado a 45°C por 48 horas, en un horno con flujo de aire (Biotécnica del Bajío, Celaya, Guanajuato, México), una vez deshidratada las rodajas de plátano éstas fueron molidas, en un molino comercial (Mapisa Internacional S.A. de C.V., México, D.F.) y tamizadas en una malla del número 40 (0.420 mm), para ser posteriormente almacenadas en un recipiente plástico a temperatura ambiente.

En el caso de la harina de amaranto, la semilla seca se molió y tamizó en una malla del número 40 (0.420 mm) para ser posteriormente almacenada en un recipiente plástico a temperatura ambiente.

La harina comercial de maíz Nixtamalizado se adquirió en el supermercado Bodega Aurrera, ubicado en la comunidad de Yautepec de Zaragoza, Morelos.

### 2.3 Diseño experimental

Para el trabajo experimental se utilizó un diseño factorial general de dos factores completamente al azar con réplica (donde n es el número de repeticiones), para estudiar los efectos principales de las condiciones de extrusión (factores, A y B) considerando un nivel diferente de cada factor (niveles, a=2 y b=3).

Se consideraron dos factores, las mezclas formuladas (A) y las temperaturas del extrusor (B), los cuales influyen en las propiedades químicas (humedad, digestibilidad, contenido de fibra) y físicas (densidad aparente, grado de expansión, dureza, % de absorción de aceite) del producto final.

Cada factor (A y B), tienen diferentes niveles (a=2 y b=3), como se muestra en el Tabla 7.

**Tabla 7.** Diseño factorial general de dos factores completamente al azar

Factor	Niveles		
A: Mezclas	50% HP-50% HA		75% HP- 25% HA
B: Temperaturas del extrusor (zonas de alimentación: amasado: cocción)	65:100:110 °C	65:110:120 °C	65:120:130 °C

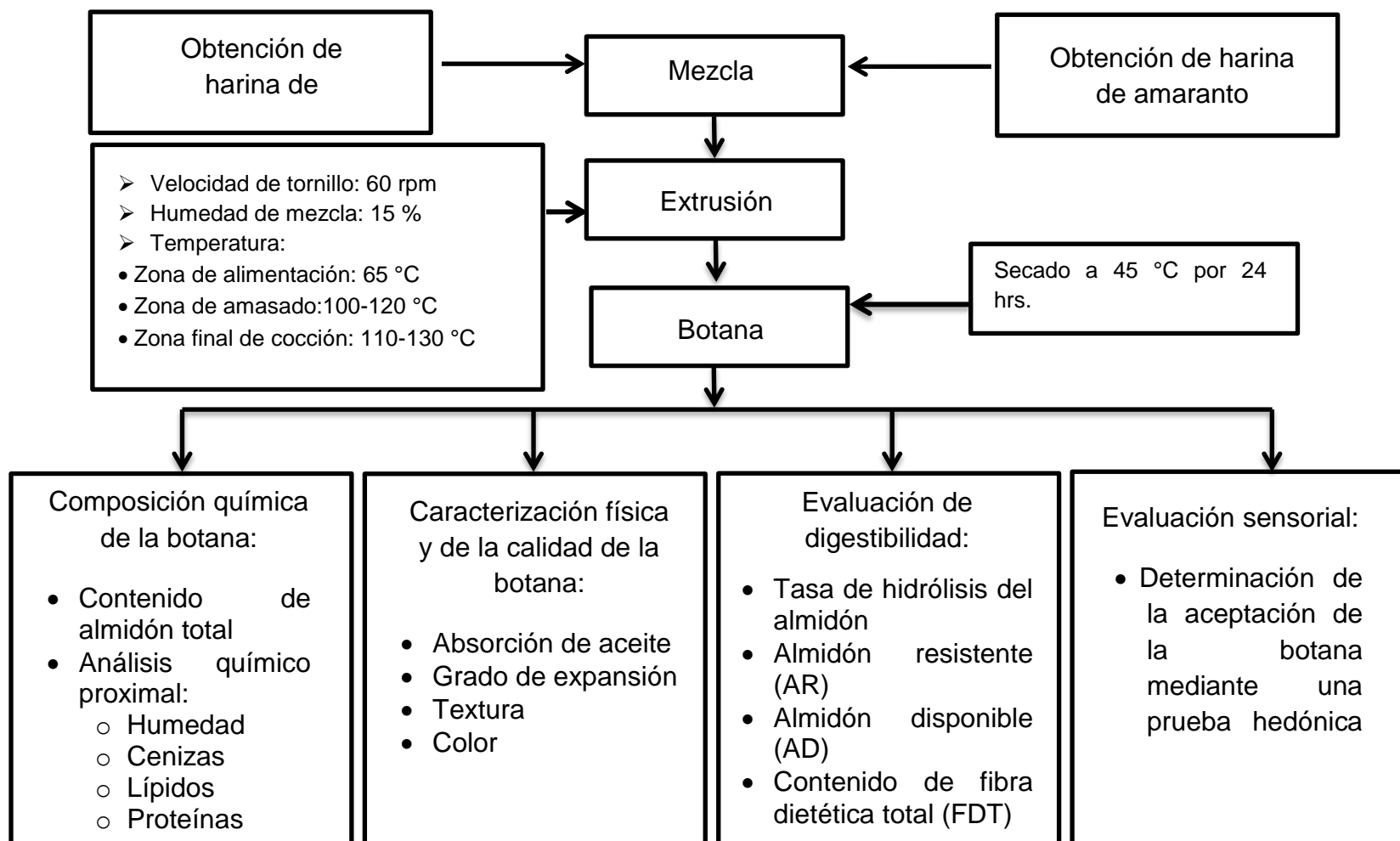
Dónde: HP refiere a la Harina de plátano y HA Harina de amaranto.

El análisis estadístico se realizó mediante el análisis de varianza y la diferencia de medias se determinó con la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ), para lo que se utilizó el software de análisis estadístico SigmaPlot 11.

En el Tabla 8 se muestra la codificación utilizada en el presente trabajo para los diferentes tratamientos.

**Tabla 8.** Codificación de los tratamientos

Código	Mezclas (%)		Temperaturas en el extrusor (°C)		
	Harina de plátano	Harina de amaranto	Zona de alimentación	Zona de amasado	Zona cocción
M50P50A-1	50	50	65	100	110
M50P50A-2	50	50	65	110	120
M50P50A-3	50	50	65	120	130
M75P25A-1	75	25	65	100	110
M75P25A-2	75	25	65	110	120
M75P25A-3	75	25	65	120	130
Maíz N-1	Harina de maíz nixtamalizado		65	100	110
Maíz N-2	Harina de maíz nixtamalizado		65	110	120
Maíz N-3	Harina de maíz nixtamalizado		65	120	130



**Figura 6.** Estrategia experimental

## 2.4 Elaboración de las botanas

Para la elaboración de las botanas se prepararon 2 mezclas de harinas: 75%HP-25%HA, 50%HP-50%HA, y un control de 100% harina comercial de maíz Nixtamalizado, esto con el objeto de analizar qué tan cerca o lejos está en parecerse las mezclas formuladas al control, el cual es de una harina que actualmente se utiliza para la elaboración de botanas que se encuentran en el mercado.

En la preparación de cada una de las mezclas, éstas se mezclaron en una mezcladora Kitchen Aid (Modelo KPRA, St. Joseph, MI. USA) durante 5 min a velocidad 2 para obtener una mezcla homogénea, antes de someter la mezcla al proceso de extrusión su humedad se ajustó al 15 %, el dado que se utilizó en el equipo de extrusión fue de abertura circular de 5 mm de diámetro, y el equipo utilizado fue un extrusor de laboratorio (Beutelspacher SB, México, D. F.) de tornillo simple (Figura 7). La temperatura de la zona de alimentación del extrusor permaneció constante a 65 °C, la segunda zona (zona de amasado) se ajustó entre los valores de 100-120 °C y la zona final de cocción de 110-130 °C. La velocidad de tornillo se operó a 60 rpm.

Los extrudidos que se obtuvieron fueron cortados en 5 cm longitudinalmente para su posterior análisis, se sometieron a un secado por 24 horas a 45 °C en un secador de charolas. Posteriormente fueron freídos por inmersión a una temperatura aproximada a los 175 °C.

En la Figura 7 se observa el diagrama del proceso de extrusión, en el primer recuadro se presenta los controles de temperatura de las tres zonas del extrusor: zona de alimentación, zona de amasado y zona final de cocción, de igual manera se encuentra el control para la velocidad de tornillo, que para el desarrollo de este trabajo se estableció una velocidad fija de 60 rpm.

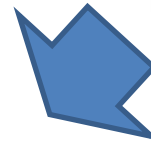
Posteriormente se observa el dado de abertura circular de 5 mm, el cual dio la forma final del producto.



Ajuste de temperatura en el extrusor en las zonas de:  
 Alimentación: 65°C  
 Amasado: 100-120 °C  
 Zona final de cocción: 110-130 °C



Dado de abertura circular de 5 mm de diámetro



Obtención del extrudido

Figura 7. Diagrama del proceso de extrusión

## 2.5 Análisis químico proximal

La composición química nos proporciona información detallada de la concentración de los nutrientes presentes en el alimento. Para conocer la composición química del producto final, extrudidos fritos, se determinó el contenido de humedad, lípidos, proteínas y cenizas de acuerdo con los métodos oficiales de la AACC (2000). A las harinas de plátano y amaranto únicamente se les determinó el contenido de humedad, cenizas, lípidos y proteínas. La cuantificación de carbohidratos se realizó por diferencia.

### 2.5.1. Humedad

La determinación de humedad se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación de agua. Para la determinación de humedad, se pesó aproximadamente 1 g de las muestras en charolas de aluminio (puestas previamente a peso constante) dejando en una estufa a 100°C por 4 h, para posteriormente determinar la humedad por diferencia de peso con la siguiente ecuación (método 44-16, AACC, 2000).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra (g)} - [\text{Peso final (g)} - \text{Peso charola (g)}]}{\text{Peso muestra (g)}} \times 100$$

### 2.5.2. Cenizas

Este método se basa en la descomposición de la materia orgánica mediante calcinación, quedando únicamente la materia inorgánica de la muestra. La determinación de cenizas se realizó por medio del método oficial 08-01 de la AACC (2000). Se pesó 1 g de muestra en un crisol (previamente puesto a peso constante), la muestra se carbonizó sobre la flama de un mechero para posteriormente ser incinerada a 550°C durante 5 h. Cuando las cenizas estuvieron blancas, se enfriaron en un desecador. Finalmente se pesaron y se calculó el porcentaje de cenizas de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{Peso del crisol mas las cenizas (g)} - \text{Peso del crisol (g)}}{\text{Peso inicial de la muestra en base seca (g)}} \times 100$$

### 2.5.3. Lípidos

El método consiste en una extracción semicontinua de lípidos con un disolvente orgánico (éter de petróleo), el cual se calienta, se volatiliza y condensa goteando sobre la muestra, debidamente pesada, la cual queda sumergida en el disolvente. Posteriormente éste es sifonado al matraz (puesto a peso constante previamente) de calentamiento para empezar de nuevo el proceso. El contenido de lípidos se cuantificó por diferencia de peso en el matraz. Se llevó a cabo por el método oficial 30-25 de la AACC (2000). En el cual se pesaron 3 g de la muestra en cartuchos de celulosa, se colocaron en el aparato de extracción soxhlet, adicionando 100 ml de éter de petróleo a los vasos del equipo, y se llevó a cabo la extracción por 4 h. Finalmente, los vasos se secaron en una estufa a 60°C por 1 hora, hasta que no presentara residuos del solvente utilizado y se pesaron para determinar el porcentaje de extractos etéreos con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \frac{\text{Peso final de vaso (g)} - \text{Peso inicial del vaso (g)}}{\text{Peso de la muestra en base seca (g)}} \times 100$$

### 2.5.4. Proteínas

Este método se basa en la digestión de las proteínas por acción del ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. Durante la digestión se convierte el nitrógeno orgánico total en sulfato de amonio. La muestra digerida se neutraliza con una base y se destila posteriormente. El destilado se recoge en una solución de ácido bórico. Los aniones de borato formados se titulan con ácido clorhídrico (HCl) estandarizado para determinar el contenido de la muestra. Se utilizó el método oficial 46-13 de la AACC (2000). Se pesó 1 g de muestra y se colocó en un tubo kjeldahl, al cual se le agregó 1 g de sulfato de cobre, 10 g de sulfato de potasio anhidro y 15 ml de ácido sulfúrico concentrado. La muestra se colocó en un digestor y se calentó gradualmente hasta 400°C, hasta que el contenido presentó un color verde. Se dejó enfriar el tubo a temperatura ambiente. Posteriormente se le adicionaron 15 ml de agua para lavar los residuos que pudieran quedar en las

paredes del tubo adicionando 50 ml de hidróxido de sodio al 32%. Por otro lado, en un matraz se añadió 50 ml de ácido bórico al 4% y 10 gotas del indicador Wesslow. Se realizó la destilación hasta obtener un volumen de 100 ml de la muestra en el matraz. La muestra obtenida se tituló con ácido clorhídrico 0.1 N. Se calculó el porcentaje de proteína con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Proteina} = \frac{\text{ml gastados del titulador} \times N \times 14}{\text{Peso de la muestra en base seca (g)}} \times F \times 100$$

Dónde:

F: es el factor de conversión a proteínas, 6.25

N: normalidad

14: Peso atómico del nitrógeno

## 2.6 Pruebas físicas y de calidad para productos freídos

### 2.6.1. Determinación del grado de expansión

El grado de expansión de los productos finales se determinó midiendo aleatoriamente el diámetro de 10 muestras y dividiendo la media aritmética de los valores entre el diámetro del dado utilizado en el extrusor (5 mm) (Martínez y col., 2012).

### 2.6.2. Determinación del grado de absorción de aceite

Para el análisis del grado de absorción de aceite, se realizó un balance de materia para obtener una relación del aceite absorbido por el producto después de freírlo. Determinándose la cantidad de agua perdida durante el proceso de freído por medio de una determinación de humedad (Arias-García y col., 2007).

$$\text{Aceite absorbido} = \text{Peso de la fritura (base seca)} - \text{peso del extrudido (base seca)}$$

### 2.6.3. Evaluación de la textura

Para la evaluación de textura se utilizó el texturómetro TA-TX2i (Texture Technology Corp., Scarsdale, NY, US) el cual fue equipado con el accesorio 5-Blade Cell Kramer. El posterior análisis de datos se realizó utilizando el programa Texture Expert Exceed, para obtener la fuerza máxima requerida para romper las muestras extrudidas, reportando dicha fuerza como dureza en N (Newton). Como dato de referencia, también se realizó la prueba a dos botanas comerciales aceptadas en el mercado por los consumidores, que tienen similitud en cuanto a forma y textura a los productos obtenidos en este trabajo.

### 2.6.4. Evaluación de color

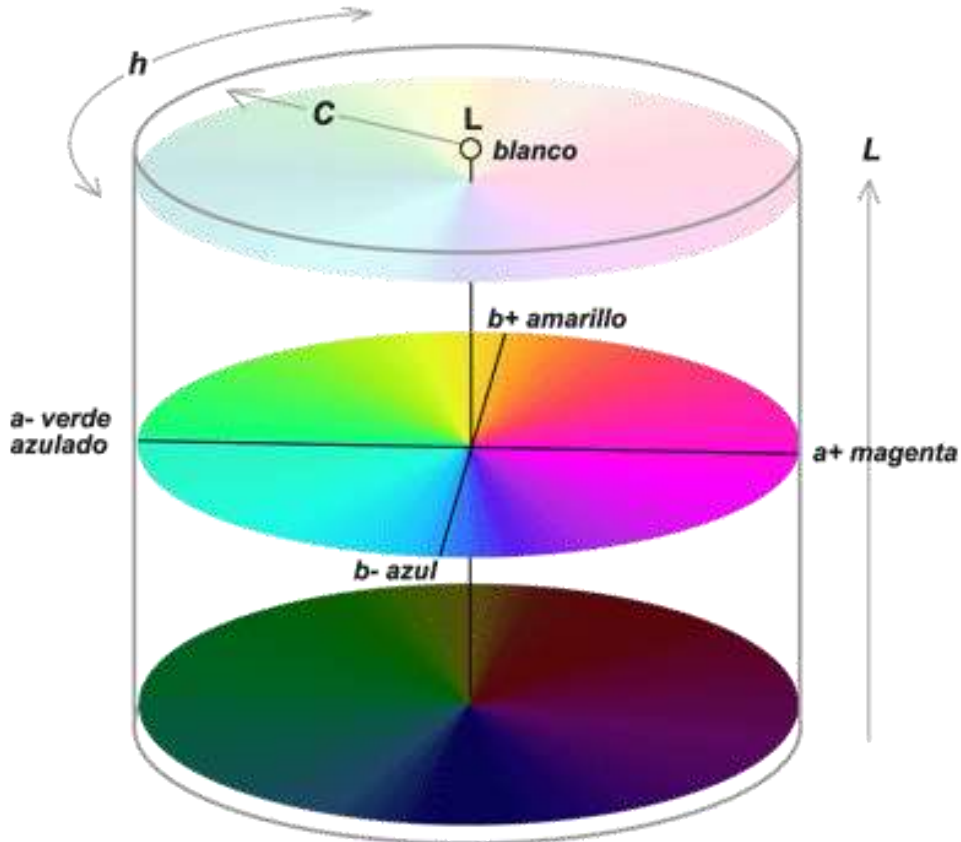
Para la evaluación de color se utilizó un colorímetro CR-10 (Konica Minolta Sensing Americans, INC), el cual describe un modelo cromático CIEL\*a\*b\*, usado para describir todos los colores que puede percibir el ojo humano. Los tres parámetros L\*, a\* y b\* del modelo (Valero-Muñoz, 2013):

- L\*: Lightness, claridad, expresada como porcentaje (desde el 0, que indica negro, hasta el 100, que indica blanco).
- a\*: posición de color, que va desde el magenta al verde (valores negativos indican verde mientras que los valores positivos indican magenta. Con valores que van desde el -120 al +120).
- b\*: posición de color entre el amarillo y azul (valores negativos indican azul y valores positivos indican amarillo, con valores que van desde -120 al +120).

Con dichos parámetros se determinó la cromaticidad C\* y el ángulo de tono métrico h, donde C\* indica saturación (croma) 0 en el centro y 100 en el perímetro, h indica el tono dominante (hue) 0 en el rojo, hasta 359° en sentido contrario a las agujas del reloj. El espacio de color L\* C\* h utiliza el mismo diagrama (Figura 8) que el espacio de color L\* a\* b\* pero emplea coordenadas cilíndricas y se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$h = \tan^{-1} \left( \frac{b^*}{a^*} \right)$$



**Figura 8.**

*Espacio L\* C\* h. Fuente: Valero-Muñoz (2013)*

Posteriormente, se calculó un  $\Delta E$ , de acuerdo la fórmula (Ilo y col., 1999):

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_2 - L^*_1)^2 + (a^*_2 - a^*_1)^2 + (b^*_2 - b^*_1)^2}$$

Para apreciar las diferencias existente respecto a la temperatura, comparando la muestra M50P50A-1 Vs M50P50A-2 y la M50P50A-1 Vs M50P50A-3, y del mismo modo para la mezcla con 75% HP-25%HA y la harina control.

## 2.7 Prueba de digestibilidad

### 2.7.1. Cuantificación de almidón total (AT)

El almidón total se calculó mediante el método 76.13 de la AACC (2000). Se pesó 100 mg de muestra en base seca a la que se le adicionaron 0.2 ml de etanol (80 % v/v) mezclando hasta homogenizar, con ayuda de un agitador magnético. Seguidamente se adicionó 2 ml de KOH 2 M y se agitó vigorosamente durante 20 min en baño con hielo, posteriormente se adicionó 8 ml de regulador de acetato de sodio 1.2 M y se agregó 0.1 ml de alfa-amilasa termoestable y 0.1 ml de amiloglucosidasa (AMG), se mezcló e incubó por 30 min en un baño de agua a 50 °C con agitación constante; una vez transcurrido el tiempo los tubos se centrifugaron.

Después de la centrifugación el contenido de los tubos se transfirió a un matraz volumétrico de 100 ml y se aforó, de esta dilución se tomó una alícuota de 10 ml y se centrifugó a 1, 500 g durante 10 min. Para la determinación de la glucosa liberada, se tomó una alícuota de 50 µL del contenido de los tubos y a esta se le adicionaron 1.5 ml del reactivo glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD-POD) y se incubó en un baño de agua caliente a 50 °C por 20 min. Posteriormente el contenido de glucosa liberada se midió en un espectrofotómetro a 510 nm.

El contenido de almidón de la muestra se calculó con la siguiente ecuación:

$$\%AT = \Delta_A \times \frac{F}{W} \times FV \times 0.9$$

$\Delta_A$  = Absorbancia

F = conversión de absorbancia a µg  $\frac{100 (\mu\text{g de glucosa})}{\text{Abs para } 100 \mu\text{g de glucosa}}$

W = peso en mg de la muestra analizada

FV = volumen final

### 2.7.2. Cuantificación del almidón resistente (AR)

El almidón resistente se calculó por el método oficial 32-40 de la AACC, 2000. Se pesó 100 mg de muestra directamente en tubos con tapón de rosca 16x125 mm, se adicionó 4 ml de  $\alpha$ -amilasa pancreática (10 mg/ml) con amiloglucosidasa (3 U/ml) a cada tubo para eliminar el almidón digerible, los tubos se taparon, se mezclaron en un vortex y se colocaron horizontalmente en un baño con agitación (Microprocesador Shaker bath de Lab-Line), se incubaron a 37 °C con movimiento continuo a 200 rpm para que las enzimas actuaran por exactamente 16 h. Posteriormente, los tubos se retiraron del baño, y se destaparon para tratar el contenido adicionando 4 ml de etanol (99%), se agitaron con un vortex y se centrifugaron en una centrífuga de alta velocidad refrigerada a 1500 g por 10 min (tubos sin tapa). El sobrenadante obtenido se decantó y resuspendió con 2 ml de etanol (50%) con ayuda de un vortex, se adicionó 6 ml de etanol (50 %), se mezcló y centrifugó nuevamente por 10 min. El sobrenadante se decantó y se repitió la resuspensión para ser centrifugado una vez más.

Los tubos con el sobrenadante se invirtieron sobre papel para eliminar el exceso de líquido. Se les adicionó 2 ml de KOH 2M a cada tubo y se resuspendió el precipitado (así se logra dispersar el almidón resistente), se mezcló durante 20 min en baño con agua helada con agitación magnética continua. Se adicionó 8 ml de regulador de acetato de sodio 1.2 M (pH 3.8) a cada tubo con agitación magnética continua. Inmediatamente se adicionó 100  $\mu$ l de AMG (300 U/ml), se mezcló y posteriormente los tubos se incubaron en un baño de agua a 50 °C por 30 min con agitación intermitente en un vortex. Los tubos se centrifugaron a 1500 g por 10 min. Finalmente se añadió 1.5 ml de reactivo de GOPOD y se incubaron a 50°C durante 20 min, las absorbancias se leyeron en un espectrofotómetro a 510 nm.

El contenido de almidón de la muestra se calculó con la siguiente ecuación:

$$\%AR = \Delta_A \times \frac{F}{W} \times 9.27$$

$\Delta_A$  = Absorbancia

F = conversión de absorbancia a  $\mu\text{g}$   $\frac{100 (\mu\text{g de glucosa})}{\text{Abs para } 100 \mu\text{g de glucosa}}$

W = peso en mg de la muestra analizada

### 2.7.3. Cuantificación de almidón disponible

El contenido de almidón disponible se calculó por diferencia entre el almidón total (AT) y el almidón resistente (AR) determinados por el método oficial AACCC (2009).

### 2.7.4. Cuantificación de fibra dietética total (FDT)

El contenido de fibra dietética total (FDT) se determinó de acuerdo con el método 985.29 de la AOAC. Se utilizó 1 g por muestra desgrasada, la cual se colocó en un vaso de precipitado de 400 ml, se agregó 50 ml de regulador de fosfatos pH 6.0 y 0.1 ml de alfa amilasa termoestable. Posteriormente se incubaron por 15 minutos a 95 °C con agitación en intervalos de 5 minutos. Se dejaron enfriar las muestra a temperatura ambiente y se ajustó el pH a 7.5 adicionando 10 ml de NaOH 0.275 N. Consecutivamente se adicionó 0.1 ml de una solución de proteasa (50 mg/ml de regulador de fosfatos) y se incubó durante 30 min a 60 °C con agitación constante. Una vez concluido lo anterior, las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se ajustó el pH a 4.5 adicionando 10 ml de HCl 0.0325 M. Se agregó 0.1 ml de amiloglucosidasa y se incubó por 30 min a 60 °C con agitación constante. Posteriormente, después de la hidrólisis se adicionaron 4 volúmenes de etanol al 95 % para precipitar la fibra dietética soluble y se dejó en reposo a temperatura ambiente durante 12 h. La solución resultante se filtró (40-60  $\mu\text{m}$ ) con 0.5 g de celite. El celite se distribuyó de manera uniforme en el filtro con etanol al 78 % haciendo succión con una bomba de vacío. Las muestras se lavaron con 60 ml de etanol al 78 %, 40 ml de etanol al 95 % y 40 ml de acetona. Las muestras lavadas se secaron y posteriormente se les determinó el contenido de proteína y cenizas. Para calcular el contenido de fibra dietética se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de FDT} = \frac{\text{Residuo del crisol (g)} - \text{Proteína(g)} - \text{Cenizas(g)}}{\text{Peso de la muestra en base seca (g)}} \times 100$$

$$\text{Residuo} = \text{Peso inicial de la muestra} - \text{Peso final de la muestra}$$

#### 2.7.5. Tasa de hidrólisis del almidón in vitro

La tasa de hidrólisis del almidón in vitro se determinó por el método de Holm y col., (1985). Este método in vitro permite determinar la tasa de digestión del almidón en alimentos tal y como se ingieren mediante la hidrólisis controlada con  $\alpha$ -amilasa pancreática. La hidrólisis se monitoreó mediante la toma de alícuotas a distintos tiempos de incubación, las cuales se hacen reaccionar con DNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico), los resultados se reportan como equivalentes de maltosa determinados espectrofotométricamente.

Se pesó 500 mg de almidón o su equivalente en un matraz Erlenmeyer de 100 ml y se añadió 50 ml de regulador de fosfato (pH 6.9). Se colocó en un baño de agua a 37 °C con agitación constante. Se dejó estabilizar la temperatura. En los primeros 5 min, y antes de adicionar la enzima, se tomaron alícuotas de 0.2 ml de cada muestra para marcar como tiempo cero. A intervalos exactos de 1 min, se añadió 1 ml de la solución de enzima de  $\alpha$ -amilasa pancreática a cada frasco. A los 15, 30, 45, 60, 75 y 90 min exactos, respetando los intervalos de un minuto entre muestras, se tomaron alícuotas de 0.2 ml y se añadieron en tubos de ensayo que contenían 0.8 ml de agua destilada y 1 ml de DNS. Los tubos se calentaron en un baño de agua en ebullición durante 10 min. Con un frasco dosificador, se les añadió 15 ml de agua destilada y se mezclaron bien. Se leyó la absorbancia a 530 nm con un espectrofotómetro en paralelo con una curva estándar de maltosa. Para obtener el % de hidrólisis se utilizó la siguiente fórmula:

- % Hidrólisis a tiempo 0

$$\% \text{ Hidrólisis} = \frac{\text{mg maltosa} \times 50 \times 0.95 \times 100}{0.2 \times \text{mg muestra seca}}$$

- % Hidrólisis 15-90 min

$$\% \text{ Hidrólisis} = \frac{\text{mg maltosa} \times 50 \times 0.95 \times 100}{0.2 \times \text{mg muestra seca}} - \% \text{ Hidrólisis al tiempo 0}$$

Dónde: 0.95 es el factor de transformación de maltosa a glucano.

## 2.8 Evaluación sensorial

Se realizó una prueba de preferencia en donde el panelista expresa el nivel de agrado y aceptación de un producto alimenticio. Ver anexo 1. En este tipo de pruebas los panelistas no necesariamente tienen que ser entrenados. Para la evaluación sensorial se utilizó capacillos codificados, a cada juez se le proporcionó una presentación diferente de las botanas, pidiendo que evaluaran el grado de aceptación usando una ficha de escala hedónica facial mixta de cinco puntos como se muestra en la Figura 9 (Da Cunha y col., 2013).



**Figura 9.** Ficha de escala hedónica facial mixta de cinco puntos para evaluar la aceptabilidad del producto. Fuente: Da Cunha y col. (2013)

## Capítulo 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Composición química proximal de las harinas

La composición química de las harinas de plátano en estado inmaduro y amaranto se presenta en el Tabla 9. La harina de plátano presentó un menor contenido de humedad ( $5.36 \pm 0.23$  g/100g), mientras que la harina de amaranto presentó un valor más alto ( $10.48 \pm 0.16$  g/100g). La diferencia encontrada puede estar relacionada con el proceso de obtención de las harinas, en el caso de la harina de plátano su obtención involucró un proceso de cortado y secado para su posterior molienda, en cuanto a la harina de amaranto su obtención fue a partir de la molienda de los granos secos. La norma oficial mexicana (NOM-147-SSA1-1996) indica que el contenido de humedad para alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas debe ser menor al 15 %, por lo que ambas harinas utilizadas en el presente trabajo cumplen con esta especificación.

En cuanto al contenido de cenizas, en la harina de plátano, el valor obtenido fue de  $2.84 \pm 0.05$  (g/100g) el cual se encuentra en el rango reportado por Da Mota y col., (2000) entre 2.6 a 3.5%, ellos señalan que la diferencia en la composición química se debe a las diferentes variedades de plátano existentes, Sarawong y col., (2014) reportan un valor de 2.43% de cenizas. De igual manera, para la harina de amaranto, el valor obtenido  $4.21 \pm 0.03$  (g/100g) se encuentra sobre el límite superior del rango reportado por Kaur y col., (2010) de 1.7 a 3.8 %, Arendt y Zannini, (2013) reportan un valor de 4.1%.

Da Mota y col., (2000) encontraron un rango de 0.3-0.8% de lípidos para la harina de plátano, y el valor obtenido fue de  $0.73 \pm 0.12$  (g/100g), y similar al obtenido por Pacheco-Delahaye y col., (2008) de 0.5%. Kaur y col., (2010) reportan un rango de lípidos para la harina de amaranto de 3.8 a 7.4 % y el dato obtenido fue de  $7.91 \pm 0.35$  (g/100g), mínimamente sobre el límite superior del rango encontrado,

sin embargo trabajos como los de Arendt y Zannini, (2013) reportan valores de 7.7% que es un valor más próximo al obtenido.

El contenido de proteína en la harina de plátano,  $3.05 \pm 0.01$  (g/100g), es similar a lo reportado por Juárez-García y col., (2006) de 3.3% y Sarawong y col., (2014) con un valor de 3.70%. Para la harina de amaranto el valor obtenido fue de  $17.62 \pm 0.11$  (g/100g), dato que se encuentra en el rango reportado por Kaur y col., (2010) de 6.6 a 19.8% de proteína y similar al valor reportado por Arendt y Zannin, (2013) de 17.9 %.

El contenido de carbohidratos se calculó por diferencia, encontrando en harina de plátano  $86.77 \pm 0.22$  (g/100g) dato similar a lo encontrado por Sarawong y col., (2014) de 83.70 %. En cuanto a la harina de amaranto el contenido de carbohidratos,  $56.57 \pm 0.26$  (g/100g), corresponde al rango publicado por Arendt y Zannini, (2013) de 48-69%.

Las diferencias existentes en la comparación de harinas con otros estudios realizados, podría ser debido a las diferentes especies y diferentes condiciones de crecimiento, como lo menciona en el trabajo de Sarawong y col., (2014) y Repo-Carrasco-Valencia y col., (2009).

**Tabla 9.** Caracterización química de las harinas de plátano y amaranto (en base seca)

Harinas	Humedad (g/100g)	Cenizas (g/100g)	Lípidos (g/100g)	*Proteínas (g/100g)	Carbohidratos (g/100g)
Plátano	$5.36 \pm 0.23^a$	$2.84 \pm 0.05^a$	$0.73 \pm 0.12^a$	$3.05 \pm 0.01^a$	$86.77 \pm 0.22^a$
Amaranto	$10.48 \pm 0.16^b$	$4.21 \pm 0.03^b$	$7.91 \pm 0.35^b$	$17.62 \pm 0.11^b$	$56.57 \pm 0.26^b$

Los valores representan la media de tres repeticiones  $\pm$  desviación estándar, en base seca, \*N=6.25.

Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

### 3.2. Elaboración de las botanas

Se utilizaron resultados de ensayos preliminares para seleccionar algunas de las condiciones de extrusión adecuadas, tales como las porciones de HA en las mezclas: 50% y 25%, contenido de humedad de las mismas (15%) y temperaturas del extrusor, dejando de manera constante para todos los tratamientos la temperatura de la zona de alimentación a 65°C, manipulando la temperatura en la zona de amasado de 100-120 °C y la zona final de cocción de 110 a 130°C, con la finalidad de reducir el número de variables en el diseño experimental.

La humedad utilizada en este trabajo se seleccionó con base en ensayos previos con 15, 20 y 30% en las mezclas, donde el efecto del incremento de la cantidad de agua se vio reflejado en la textura de los productos, ya que al aumentarla, la dureza de las muestras incrementó, obteniendo así el producto una estructura más compacta, esto puede estar relacionado en cuanto al grado de gelatinización del almidón durante la extrusión, ya que la baja humedad facilita la gelatinización del almidón y expansión del extrudido, por lo que las muestras con 15% presentaron una textura más porosa y por ende crujiente. Singh y col., (2007) reportan que la cocción por extrusión es algo único ya que la gelatinización se produce a niveles mucho más bajos de contenido de agua (12-22%), que es necesario en otras formas de procesos de alimentos.

Dokic y col., (2009) señalan que debido al alto contenido de lípidos en la harina de amaranto es difícil elaborar productos mediante extrusión. Para poder utilizar formulaciones con porciones mayoritarias de amaranto e inclusive harinas como la de garbanzo, altas en contenido de lípidos, éstas han tenido que ser sometidas a una extracción de lípidos, tal es el caso del trabajo de Chávez-Jáuregui y col., (2003), donde se realizó una extracción con hexano en un aparato Soxhlet. Ilo y col., (1999) reportan que altos niveles de amaranto causan un flujo irregular en la matriz del extrusor y provoca a menudo un bloqueo de la boquilla de salida. En su trabajo mencionan que en la cocción de materiales de baja humedad, los gránulos de almidón se rompen normalmente por la acción de corte mecánico, el exceso de

grasa proporciona un efecto lubricante de gran alcance en la extrusión, lo que reduce la disociación de energía mecánica y tiende a proteger la dispersión de los gránulos de almidón durante la cocción de alimentos de baja humedad. Esto reduce la cantidad de almidón gelatinizado en el material fundido y evita la expansión del extrudido, resultando una textura semejante a la de una galleta en lugar de una estructura de esponja. Por ello en el presente trabajo se seleccionaron únicamente 2 mezclas, variando así la porción de amaranto en las mezclas con un 50 y 25% respectivamente. Del mismo modo Singh y col., (2007) concluyen que una alimentación con bajo nivel de lípidos es favorable para la cocción por extrusión, ya que facilita la extrusión constante y mejora la textura.

### 3.3. Análisis químico proximal de la botana extrudida y frita

La composición química de los productos finales (fritura) se muestra en el Tabla 10. Cabe mencionar que el análisis reportado corresponde al producto terminado, es decir, los extrudidos sometidos a un freído de  $175^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Para la parte experimental de caracterización física y de calidad se utilizó un control, extrudidos de harina de maíz nixtamalizado, para analizar las diferencias respecto a las mezclas formuladas, con las mismas condiciones de proceso durante la extrusión y temperatura de freído.

Respecto al contenido de humedad, se observa que en cada una de las mezclas utilizadas (50HP-50HA, 75HP-25HA y maíz nixtamalizado) el comportamiento es similar, la humedad de los productos extrudidos disminuye, tal efecto está relacionado con el factor de las temperaturas del extrusor, ya que la disminución de humedad se lleva a cabo cada que se aumentan las temperaturas del extrusor. El valor más alto corresponde a los extrudidos con la clave M50P50A-1 con un valor de 3.39 (g/100 g), la cual no fue estadísticamente diferente a las muestras M50P50A-2, M75P25A-1, M75P25A-2 con valores de 3.34, 3.31 y 3.16 (g/100 g) respectivamente. En general, el rango de humedad de todas las muestras extrudidas oscilan en valores de 3.39 a 1.54 (g/100 g), esto es deseable para productos de este tipo, ya que ayudan a mantener el carácter crujiente. Niveles

similares de humedad de 2.14 a 3.29 (g/100 g) se reportaron en el trabajo de Reddy y col., (2014) para desarrollo de extrudido listo para comer utilizando maíz, garbanzo negro, mezclas de harinas de raíces y tubérculos.

En el Tabla 10 se aprecia una disminución de cenizas en las muestras correspondientes a las mezclas 50HP-50HA y 75HP-25HA, este comportamiento se puede atribuir a un efecto de dilución debido a las temperaturas utilizadas en el extrusor. Sin embargo, las diferencias también se deben a la naturaleza de los componentes, ya que la harina de amaranto tiene un mayor contenido de cenizas, por lo que la formulación M50P50A-1 es la que tiene el valor más alto de  $3.17 \pm 0.15$  (g/100g) y en los extrudidos elaborados con harina de maíz nixtamalizado se obtuvieron los valores más pequeños y sin diferencia significativa.

En cuanto el contenido de lípidos, se observó un incremento respecto a las harinas, siendo la muestra M75P25A-3 la de mayor contenido con un valor de  $38.41 \pm 0.80$  (g/100g), lo anterior pudo ser causado por el proceso de freído al que fueron sometidas las muestras, y a las condiciones del proceso de extrusión, ya que a medida que las temperaturas se aumentaron, las muestras adquirirían una estructura más porosa, por ende el aumento en la retención de aceite en su estructura. Robin y col, (2012) señalan que éste comportamiento está relacionado con el grado de gelatinización del almidón, ya que a mayor grado de gelatinización del almidón el extrudido adquiere una textura más porosa.

**Tabla 10.** Caracterización química de las botanas extrudidas y fritas

Muestras	Humedad (g/100g)	Cenizas (g/100g)	Lípidos (g/100g)	*Proteínas (g/100g)	Carbohidratos (g/100g)
M50P50A-1	3.39±0.49 <sup>a</sup>	3.17±0.15 <sup>a</sup>	8.85±0.23 <sup>h</sup>	10.12±0.10 <sup>a</sup>	74.38±0.32 <sup>a</sup>
M50P50A-2	3.34±0.27 <sup>a</sup>	3.04±0.25 <sup>ab</sup>	15.44±0.01 <sup>f</sup>	10.20±0.04 <sup>a</sup>	68.02±0.26 <sup>c</sup>
M50P50A-3	1.77±0.29 <sup>b</sup>	2.12±0.15 <sup>c</sup>	31.61±0.46 <sup>c</sup>	10.27±0.05 <sup>a</sup>	54.23±0.17 <sup>f</sup>
M75P25A-1	3.31±0.27 <sup>a</sup>	2.77±0.19 <sup>ab</sup>	12.20±0.64 <sup>g</sup>	6.65±0.04 <sup>c</sup>	75.17±0.80 <sup>a</sup>
M75P25A-2	3.16±0.20 <sup>a</sup>	2.71±0.19 <sup>b</sup>	15.77±0.89 <sup>f</sup>	6.69±0.08 <sup>c</sup>	71.75±0.67 <sup>b</sup>
M75P25A-3	1.54±0.09 <sup>b</sup>	1.76±0.07 <sup>c</sup>	38.41±0.80 <sup>a</sup>	6.72±0.07 <sup>c</sup>	51.52±0.69 <sup>g</sup>
Maíz N-1	2.22±0.42 <sup>b</sup>	1.08±0.01 <sup>d</sup>	23.76±0.77 <sup>e</sup>	8.49±0.10 <sup>b</sup>	60.27±0.64 <sup>d</sup>
Maíz N-2	2.21±0.28 <sup>b</sup>	1.02±0.03 <sup>d</sup>	27.98±0.36 <sup>d</sup>	8.51±0.09 <sup>b</sup>	59.81±0.37 <sup>d</sup>
Maíz N-3	1.86±0.22 <sup>b</sup>	0.94±0.04 <sup>d</sup>	33.81±0.42 <sup>b</sup>	8.45±0.08 <sup>b</sup>	55.80±0.28 <sup>e</sup>

Los valores representan la media de tres repeticiones ± desviación estándar, base seca, \*N=6.25.

Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencias significativas (p<0.05)

M50P50A-1: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-2: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-3: Mezcla 50% HP y 50% HA

M75P25A-1: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-2: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-3: Mezcla 75% HP y 25% HA

Maíz N-1: Harina de maíz Nixtamalizado

Maíz N-2: Harina de maíz Nixtamalizado

Maíz N-3: Harina de maíz Nixtamalizado

HP=Harina de plátano

HA=Harina de amaranto

Los diferentes niveles -1,-2 y -3 corresponden a las temperaturas utilizadas en el extrusor: -65:100:110; -65:110:120 y -65:120:130 respectivamente.

Por otro lado, en lo que a proteínas se refiere, el aporte proteico de las muestras M75P25A elaboradas a partir de la mezcla con 75% de HP y 25% de HA fue bajo en comparación a las otras mezclas, las diferencias significativas se deben principalmente a la composición de las materias primas utilizadas, ya que en las muestras M50P50A se incrementó la porción de HA y sus valores van de  $10.12 \pm 0.10$  a  $10.27 \pm 0.05$  (g/100g), su contenido proteico es mayor que el de las muestras con mayor contenido de HP, con valores de  $6.65 \pm 0.04$  a  $6.72 \pm 0.07$  (g/100g) y harina de maíz nixtamalizado de  $8.45 \pm 0.08$  a  $8.51 \pm 0.09$  (g/100g). Resultando de esta manera las muestras M50P50A con mayor cantidad de proteínas, el factor de temperaturas en el extrusor no tuvo una influencia significativa en cuanto a este comportamiento.

La diferencia en el contenido de carbohidratos está estrechamente relacionada con la naturaleza de los componentes de las mezclas, siendo la HP la que tiene un mayor contenido de carbohidratos, por ende la muestra M75P25A-1 es la que tiene mayor concentración de carbohidratos, con un valor de  $75.17 \pm 0.80$  (g/100g). Sin embargo, en el Tabla 10 se observa que el factor de temperaturas del extrusor también tiene un efecto en las muestras, ya que como se mencionó anteriormente, a medida que se aumenta la temperatura, las muestras adquieren una estructura más porosa y por ende aumenta la absorción de lípidos durante el freído de las muestras, causando un efecto de dilución en los carbohidratos, éste comportamiento puede ser la causa principal de la disminución de carbohidratos en cada una de las mezclas.

### 3.4. Caracterización física y de calidad de las diferentes muestras

En el Tabla 11 se presentan las características físicas de las muestras elaboradas. Para la evaluación de textura, dureza, se observó que ambos factores, temperaturas del extrusor y harinas utilizadas, tienen un efecto significativo. Debido a que en los extrudidos de maíz nixtamalizado, Maíz N-1 y Maíz N-2, tienen un valor más alto de dureza de  $343.42 \pm 3.13$  y  $284.51 \pm 8.26$  (N) respectivamente. Posteriormente las muestras M50P50A-1 y M75P25A-1 con valores de  $233.28 \pm 3.72$  y  $225.22 \pm 3.87$  (N) respectivamente. Y en cada una de las mezclas utilizadas el efecto de las temperaturas del extrusor se ve reflejado, ya que en cada aumento de temperatura el extrudido disminuye su dureza, lo que se traduce a un extrudido más poroso, ya que se favorece la gelatinización del almidón y los extrudidos se vuelven más homogéneos. Guy, (2000) reporta que la expansión de las pastas de aperitivos tiene lugar mediante la liberación de vapor de agua dentro de su estructura. Este proceso se consigue mediante el calentamiento dentro del extrusor a altas temperaturas, el agua sobrecalentada se vaporiza en una fracción de segundo, liberándose dentro de la estructura, formando burbujas a lo largo y ancho de la pasta formada en el extrusor.

Como referencia se determinó la dureza de 2 productos del mercado actual, para saber qué tan lejos o cerca se encuentran los valores de los extrudidos elaborados en este trabajo. Se utilizó el mismo texturómetro, equipado con una 5-Blade Cell Kramer. Para el producto "Takis", pequeñas tortillas de maíz enrolladas y freídas, se reportó un valor de  $310.91 \pm 8.54$  (N), el cual se encuentra por encima de los valores de los extrudidos. Para el producto "Churritos", palitos de maíz crujientes, el valor obtenido fue de  $167 \pm 2.89$  (N). Por lo que los valores de las muestras desarrolladas en este trabajo se encuentran entre éstos valores de productos comercialmente aceptados.

El aumento en la absorción de aceite puede estar relacionado con la textura, ya que al ser más compacta la estructura (valores mayores de dureza), los poros no permiten la retención del aceite quedando solo en la parte superficial del producto

(menor porcentaje de absorción de aceite). Por ello las muestras con menor dureza, tienden a tener mayor presencia de poros, por ello son las que presentan mayor absorción de aceite. Siendo las muestras M50P50A-3 y M75P25A-3 las de valores más bajos de dureza,  $146.33 \pm 6.00$  y  $125.02 \pm 5.34$  (N) respectivamente, corresponden a las muestras con mayor porcentaje de absorción de aceite, con valores de  $44.68 \pm 3.41$  y  $48.31 \pm 2.75$  (%).

El factor de temperaturas del extrusor tiene un efecto respecto al grado de expansión en cada una de las mezclas evaluadas (expansión longitudinal), ya que se observa un incremento en el primer aumento de temperatura (de nivel 1 a 2) y una disminución cuando se aumenta nuevamente la temperatura (de nivel 2 a 3), ya que el grado de gelatinización del almidón aumenta. Robin y col., (2012) afirman que un aumento de temperatura en el extrusor o un aumento en la velocidad del tornillo, aumenta significativamente el índice de expansión volumétrica, el cual significa un aumento de la porosidad, ya que su determinación es con base en la densidad aparente del extrudido. Este comportamiento está relacionado con el grado de gelatinización del almidón, traducido está gelatinización como la formación de una estructura más porosa. Los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran que conforme se incrementa las temperaturas del extrusor, el producto adquiere una estructura más porosa, por ende mayor grado de expansión y mayor absorción de aceite que termina reflejándose en un mayor porcentaje de lípidos (Véase Tabla10). Generando así un producto con menos dureza.

**Tabla 11.** Caracterización física de las botanas extrudidas y fritas

Muestras	Dureza (N)	Absorción de aceite (%)	Grado de expansión (mm)
M50P50A-1	233.28±3.72 <sup>c</sup>	10.18±1.00 <sup>d</sup>	1.53±0.03 <sup>c</sup>
M50P50A-2	170.51±3.63 <sup>e</sup>	21.33±2.04 <sup>c</sup>	1.97±0.07 <sup>a</sup>
M50P50A-3	146.33±6.00 <sup>f</sup>	44.68±3.41 <sup>a</sup>	1.15±0.06 <sup>de</sup>
M75P25A-1	225.22±3.87 <sup>d</sup>	13.78±2.55 <sup>d</sup>	1.68±0.08 <sup>b</sup>
M75P25A-2	173.80±5.65 <sup>e</sup>	25.93±3.70 <sup>bc</sup>	1.91±0.08 <sup>a</sup>
M75P25A-3	125.02±5.34 <sup>g</sup>	48.31±2.75 <sup>a</sup>	1.11±0.03 <sup>e</sup>
Maíz N-1	343.42±3.13 <sup>a</sup>	25.49±5.27 <sup>bc</sup>	1.56±0.17 <sup>bc</sup>
Maíz N-2	284.51±8.26 <sup>b</sup>	28.14±4.21 <sup>b</sup>	2.01±0.05 <sup>a</sup>
Maíz N-3	176.83±5.90 <sup>e</sup>	42.53±2.78 <sup>a</sup>	1.27±0.05 <sup>d</sup>

Los valores representan la media representativa ± desviación estándar, donde n=12.

Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Codificación de las muestras:

M50P50A-1: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-2: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-3: Mezcla 50% HP y 50% HA

M75P25A-1: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-2: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-3: Mezcla 75% HP y 25% HA

Maíz N-1: Harina de maíz Nixtamalizado

Maíz N-2: Harina de maíz Nixtamalizado

Maíz N-3: Harina de maíz Nixtamalizado

HP=Harina de plátano

HA=Harina de amaranto

Los diferentes niveles -1,-2 y -3 corresponden a las temperaturas utilizadas en el extrusor: -65:100:110; -65:110:120 y -65:120:130 respectivamente.

En el Tabla 12 se tienen los resultados de la evaluación de color, las diferencias encontradas de éste parámetro descriptivo están relacionadas las temperaturas utilizadas en el extrusor, ya que como se discutió anteriormente, con el aumento de las temperaturas los extrudidos adquieren una estructura más porosa, lo cual determina el efecto del freído tanto en color como en tiempo del mismo. A medida que las temperaturas se aumentaron, el tiempo necesario de freído (valores no mostrados) disminuye para cada una de las mezclas. Es decir, la muestra M50P50A-1 requirió más tiempo de freído que la muestra M50P50A-2, y del mismo modo, ésta última requirió más tiempo que la M50P50A-3. Este efecto se observó de manera similar en las otras dos mezclas utilizadas, M75P25A y control (maíz nixtamalizado). Esto es debido a que conforme adquieren una estructura más porosa, el aceite penetra con mayor facilidad y en menor tiempo, permitiendo que el freído sea de manera homogénea y rápida.

Para el parámetro  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $h$  y  $C^*$  se observa que disminuye en cada una de las mezclas utilizadas (los 3 niveles) al igual que en el control, y es justamente el control el que tiene los valores más elevados en cada uno de los parámetros mencionados, ya que los extrudidos de harina de maíz tiene un color más claro que los de HP y HA. Para los valores de  $L^*$  la disminución de los mismos señalan que la luminosidad de las muestras disminuyen, debido al freído y tienden a ponerse más oscuras, tal comportamiento se observa tanto en los resultados numéricos como visuales en las imágenes de la Figura 10 (a, b y c).

Los caracteres derivados  $C^*$  y  $h$ , los cuales disminuyen, indican la intensidad o saturación del color y el color verdadero, respectivamente. Así, la disminución de  $C^*$  indicó una menor saturación del color inicial de las botanas, y la disminución de  $h^*$  una variación de color, es decir, que a cada tratamiento, el color varió.

**Tabla 12.** Color de las botanas extrudidas y fritas

Muestras	Color				
	L*	a*	b*	H	C*
M50P50A-1	49.01±0.96 <sup>d</sup>	14.63±0.43 <sup>c</sup>	28.19±0.55 <sup>c</sup>	63.11±0.52 <sup>d</sup>	32.04±0.15 <sup>d</sup>
M50P50A-2	47.47±0.64 <sup>e</sup>	15.20±0.78 <sup>bc</sup>	27.36±0.71 <sup>d</sup>	60.39±0.43 <sup>f</sup>	31.23±0.27 <sup>e</sup>
M50P50A-3	44.85±0.94 <sup>f</sup>	15.56±0.80 <sup>b</sup>	24.59±0.90 <sup>f</sup>	56.72±0.70 <sup>h</sup>	29.35±0.39 <sup>f</sup>
M75P25A-1	49.17±0.54 <sup>d</sup>	15.75±0.46 <sup>ab</sup>	27.94±0.60 <sup>cd</sup>	61.32±0.44 <sup>e</sup>	32.38±0.22 <sup>d</sup>
M75P25A-2	43.50±0.72 <sup>g</sup>	16.16±0.64 <sup>a</sup>	25.42±0.76 <sup>e</sup>	57.71±0.62 <sup>g</sup>	30.76±0.31 <sup>e</sup>
M75P25A-3	40.88±0.93 <sup>h</sup>	16.56±0.68 <sup>a</sup>	23.49±0.84 <sup>g</sup>	53.84±0.67 <sup>i</sup>	29.10±0.48 <sup>f</sup>
Maíz N-1	70.92±0.94 <sup>a</sup>	9.03±0.55 <sup>f</sup>	33.76±0.75 <sup>b</sup>	75.44±0.87 <sup>a</sup>	34.29±0.54 <sup>c</sup>
Maíz N-2	68.25±0.76 <sup>b</sup>	10.28±0.19 <sup>e</sup>	35.76±1.05 <sup>a</sup>	74.22±0.25 <sup>b</sup>	37.38±0.41 <sup>b</sup>
Maíz N-3	65.93±1.06 <sup>c</sup>	11.49±0.76 <sup>d</sup>	36.41±0.75 <sup>a</sup>	72.42±0.96 <sup>c</sup>	38.99±0.56 <sup>a</sup>

Los valores representan la media representativa ± desviación estándar, donde n=20.

Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencias significativas (p<0.05).

Codificación de las muestras:

M50P50A-1: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-2: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-3: Mezcla 50% HP y 50% HA

M75P25A-1: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-2: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-3: Mezcla 75% HP y 25% HA

Maíz N-1: Harina de maíz Nixtamalizado

Maíz N-2: Harina de maíz Nixtamalizado

Maíz N-3: Harina de maíz Nixtamalizado

HP=Harina de plátano

HA=Harina de amaranto

Los diferentes niveles -1,-2 y -3 corresponden a las temperaturas utilizadas en el extrusor: -65:100:110; -65:110:120 y -65:120:130 respectivamente.

En la Tabla 13 se muestra los resultados obtenidos de  $\Delta E$ , donde se aprecia que existe un efecto significativo de la temperatura utilizada en el extrusor, debido a que la diferencia de color aumenta lo cual no es favorable es este tipo de productos, de acuerdo a la ISO 12647-2 el valor máximo tolerado es 5, siendo recomendables valores inferiores a 3, como es el caso del valor reportado en la M50P50A-1 Vs M50P50A-2.

**Tabla 13.**  $\Delta E$  de las botanas extrudidas y fritas

Muestras	$\Delta E$
M50P50A-1 Vs M50P50A-2	1.84 <sup>e</sup>
M50P50A-1 Vs M50P50A-3	5.58 <sup>c</sup>
M75P25A-1 Vs M75P25A-2	6.22 <sup>b</sup>
M75P25A-1 Vs M75P25A-3	9.44 <sup>a</sup>
Maíz N-1 Vs Maíz N-2	3.16 <sup>d</sup>
Maíz N-1 Vs Maíz N-3	6.16 <sup>b</sup>

Los valores representan la media representativa  $\pm$  desviación estándar, donde n=20.

Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Codificación de las muestras:

M50P50A-1: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-2: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-3: Mezcla 50% HP y 50% HA

M75P25A-1: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-2: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-3: Mezcla 75% HP y 25% HA

Maíz N-1: Harina de maíz Nixtamalizado

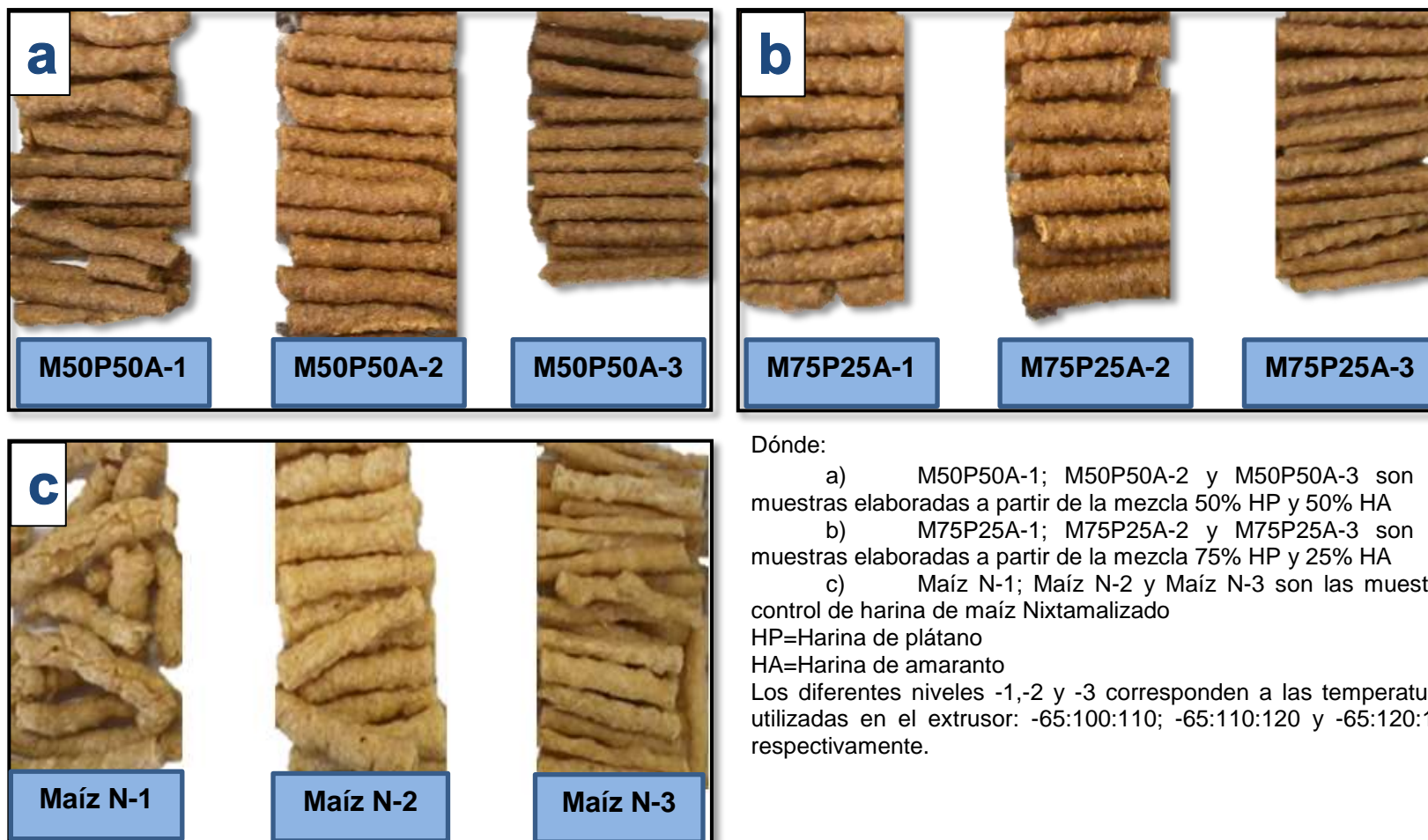
Maíz N-2: Harina de maíz Nixtamalizado

Maíz N-3: Harina de maíz Nixtamalizado

HP=Harina de plátano

HA=Harina de amaranto

Los diferentes niveles -1,-2 y -3 corresponden a las temperaturas utilizadas en el extrusor: -65:100:110; -65:110:120 y -65:120:130 respectivamente.



Dónde:

- a) M50P50A-1; M50P50A-2 y M50P50A-3 son las muestras elaboradas a partir de la mezcla 50% HP y 50% HA
- b) M75P25A-1; M75P25A-2 y M75P25A-3 son las muestras elaboradas a partir de la mezcla 75% HP y 25% HA
- c) Maíz N-1; Maíz N-2 y Maíz N-3 son las muestras control de harina de maíz Nixtamalizado

HP=Harina de plátano

HA=Harina de amaranto

Los diferentes niveles -1,-2 y -3 corresponden a las temperaturas utilizadas en el extrusor: -65:100:110; -65:110:120 y -65:120:130 respectivamente.

**Figura 10.** Imágenes de las botanas extrudidas y fritas

### 3.5. Análisis de la digestibilidad

En el siguiente apartado (análisis de la digestibilidad) solamente se utilizó las muestras elaboradas con las mezclas M75P25A y M50P50A, para determinar el comportamiento de los carbohidratos de las mismas cuando son sometidas a las condiciones de proceso seleccionadas.

En el Tabla 14 se observan los resultados en cuanto el porcentaje de AT, AR, AD y FDT. La disminución de AT en cada una de las mezclas analizadas, está relacionada con los cambios que sufre la mezcla durante la extrusión, ya que el almidón puede sufrir una degradación molecular por la temperatura y humedad, generando la formación de moléculas complejas como almidón-lípidos, lípidos-proteínas, almidón-proteínas. Pérez-Navarrete y col., (2007) proponen que durante la extrusión las modificaciones en la estructura del almidón, tales como fusión, gelatinización, fragmentación, dextrinización, están determinados por factores como la relación agua/almidón, temperatura, morfología, tamaño de partícula, relación amilosa/amilopectina, entre otros. Dichas modificaciones generalmente incrementan la biodisponibilidad del almidón (lo cual en el presente trabajo no fue el caso), aunque éstos pueden contener fracciones retrogradadas resistentes al ataque enzimático, las cuales se comportan fisiológicamente como fibra dietética (dicho comportamiento se aprecia en el incremento de FDT véase Tabla14).

La disminución de AR de  $1.19 \pm 0.09$  a  $0.47 \pm 0.06$  y de  $1.52 \pm 0.12$  a  $0.50 \pm 0.08$  (%) para las muestras M50P50A y M75P25A respectivamente se puede explicar debido a las condiciones a las que se sometieron durante el proceso de extrusión, el almidón sufre un proceso de degradación, provocando la pérdida de los patrones de difracción presentes en los almidones nativos. Estos cambios son responsables de la disminución del contenido de almidón resistente total observado luego de la extrusión. Pérez-Navarrete y col., (2007) atribuyen éste comportamiento a la gelatinización de los gránulos por efecto de la temperatura y esfuerzos de corte.

De tal manera que el comportamiento en la disminución de AT y AR afecta directamente al almidón disponible, ya que éste se cuantifico por la diferencia entre AT menos el AR. Disminución de  $66.68 \pm 1.80$  a  $50.31 \pm 2.82$  (%) para la muestra M50P50A y de  $68.68 \pm 2.65$  a  $53.20 \pm 1.21$  para M75P25A. Asimismo, Pérez-Navarrete y col., (2007) han sugerido que el descenso en el contenido de AD asociado a procesos de extrusión puede deberse a reacciones de transglucosidación, las cuales generan enlaces glucosídicos atípicos que no son reconocidos por las enzimas amilolíticas.

El aumento del porcentaje de FDT, como se ha venido discutiendo se debe a que las condiciones de proceso de extrusión fomentan la formación de complejos entre los componentes de las mezclas, siendo la muestra M50P50A-3 la de mayor contenido de FDT con  $7.59 \pm 0.02$  (g/100g) y el menor contenido corresponde a la muestra M75P25A-1 con un valor de  $6.37 \pm 0.31$  (g/100g). Robin y col., (2012) deducen que el aumento en el contenido total de fibra dietética medido después de la extrusión se puede atribuir a la formación de interacciones covalentes entre los macronutrientes que conducen a nuevos componentes y no digerible por la amilasa o proteasa. Estos compuestos no digeribles pueden ser productos de reacción de Maillard probablemente como resultado de reacciones químicas entre el almidón y las proteínas presentes dentro de la matriz que contienen fibra dietética.

**Tabla 14.** Contenido de Almidón Total (AT), Almidón Disponible (AD), Almidón Resistente (AR) y Fibra Dietética Total (FDT) de las botanas extrudidas y fritas

Muestras	AT (%)	AR (%)	AD (%)	FDT (%)
M50P50A-1	67.58±1.84 <sup>ab</sup>	1.19±0.09 <sup>b</sup>	66.68±1.80 <sup>ab</sup>	6.82±0.12 <sup>b</sup>
M50P50A-2	64.51±1.50 <sup>b</sup>	0.60±0.04 <sup>cd</sup>	63.94±1.53 <sup>b</sup>	7.48±0.08 <sup>a</sup>
M50P50A-3	51.68±3.09 <sup>c</sup>	0.47±0.06 <sup>e</sup>	50.31±2.82 <sup>c</sup>	7.59±0.02 <sup>a</sup>
M75P25A-1	70.89±3.94 <sup>a</sup>	1.52±0.12 <sup>a</sup>	68.68±2.65 <sup>a</sup>	6.37±0.31 <sup>c</sup>
M75P25A-2	69.56±2.29 <sup>a</sup>	0.65±0.03 <sup>c</sup>	67.81±2.13 <sup>a</sup>	6.83±0.06 <sup>b</sup>
M75P25A-3	53.72±2.68 <sup>c</sup>	0.50±0.08 <sup>de</sup>	53.20±1.21 <sup>c</sup>	6.85±0.07 <sup>b</sup>

Los valores representan la media representativa ± desviación estándar, donde n=4.

Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencias significativas (p<0.05).

Codificación de las muestras:

M50P50A-1: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-2: Mezcla 50% HP y 50% HA

M50P50A-3: Mezcla 50% HP y 50% HA

M75P25A-1: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-2: Mezcla 75% HP y 25% HA

M75P25A-3: Mezcla 75% HP y 25% HA

HP=Harina de plátano

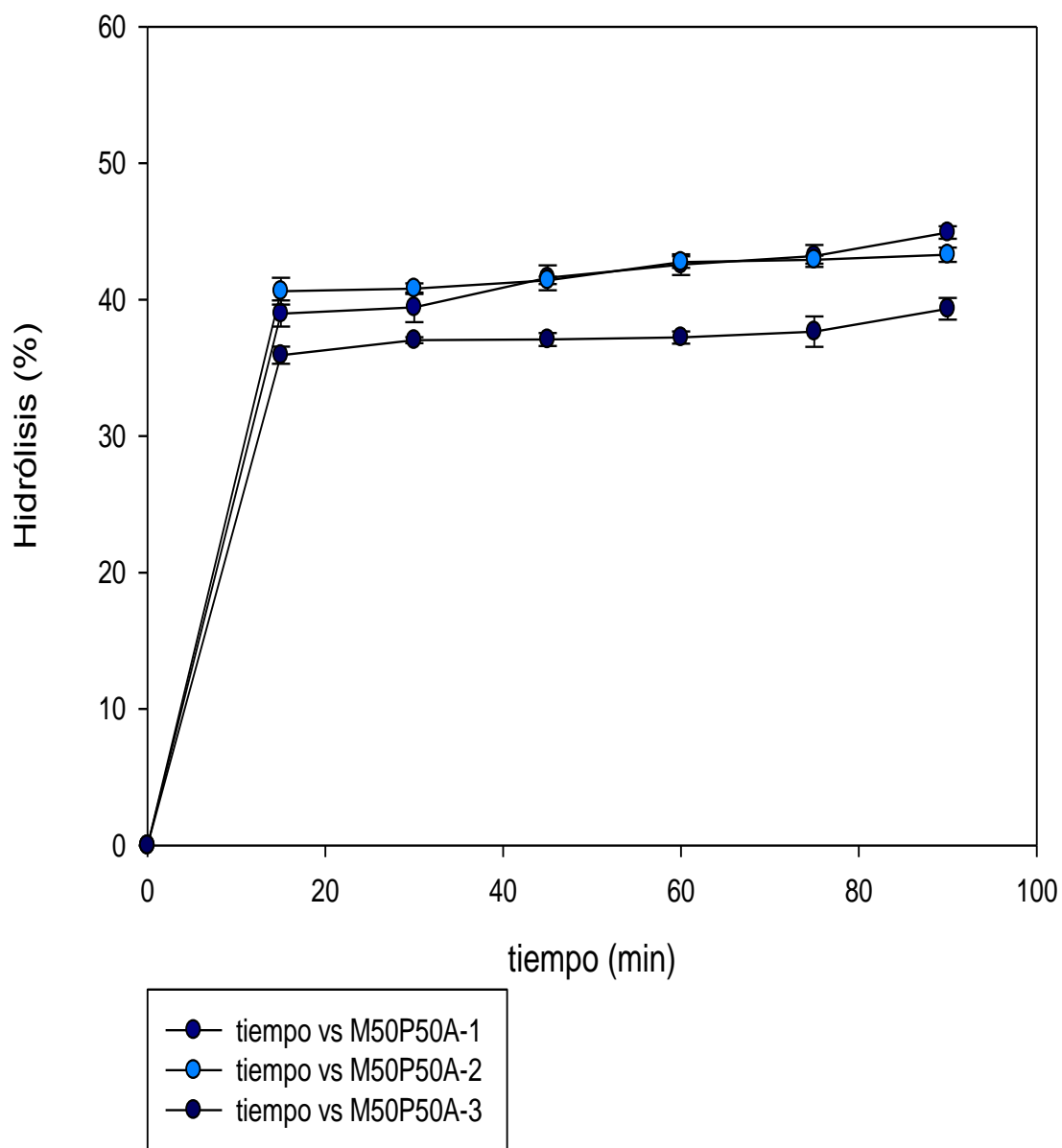
HA=Harina de amaranto

Los diferentes niveles -1,-2 y -3 corresponden a las temperaturas utilizadas en el extrusor: -65:100:110; -65:110:120 y -65:120:130 respectivamente.

El Codex Alimentarius recomienda que cualquier producto que dice ser una "fuente" de fibra deba contener 3 g de fibra por 100 g de porción o 1,5 g de fibra por 100 kcal, o 10% del valor diario de referencia por porción. Y para afirmar que un alimento es "alto" en fibra, el producto debe contener como mínimo 6 g de fibra por 100 g de porción o 3 g de fibra por 100 kcal, o 20% del valor diario de referencia por porción. De tal forma que todas las muestras que se elaboraron cumplen con la especificación de tener un alto contenido de fibra.

La velocidad de hidrólisis del almidón disponible se puede observar en la Figura 11 y 12. Como se observa en ambas mezclas el factor de temperaturas en el extrusor tuvo una influencia significativa y el mismo comportamiento, es decir, a mayor temperatura, el porcentaje de hidrólisis disminuye.

Ovando-Martínez y col., (2009) utilizan la harina de plátano para incrementar los carbohidratos indigeribles en pasta, alimento elaborado por extrusión, en su trabajo se menciona que una posible causa de obtener un producto de baja digestibilidad, puede ser debido a que los gránulos de almidón de plátano verde quizás están encapsulados.



**Figura 11.** Hidrólisis del almidón presente en los productos elaborados a partir de una mezcla con 50% HP y 50% HA

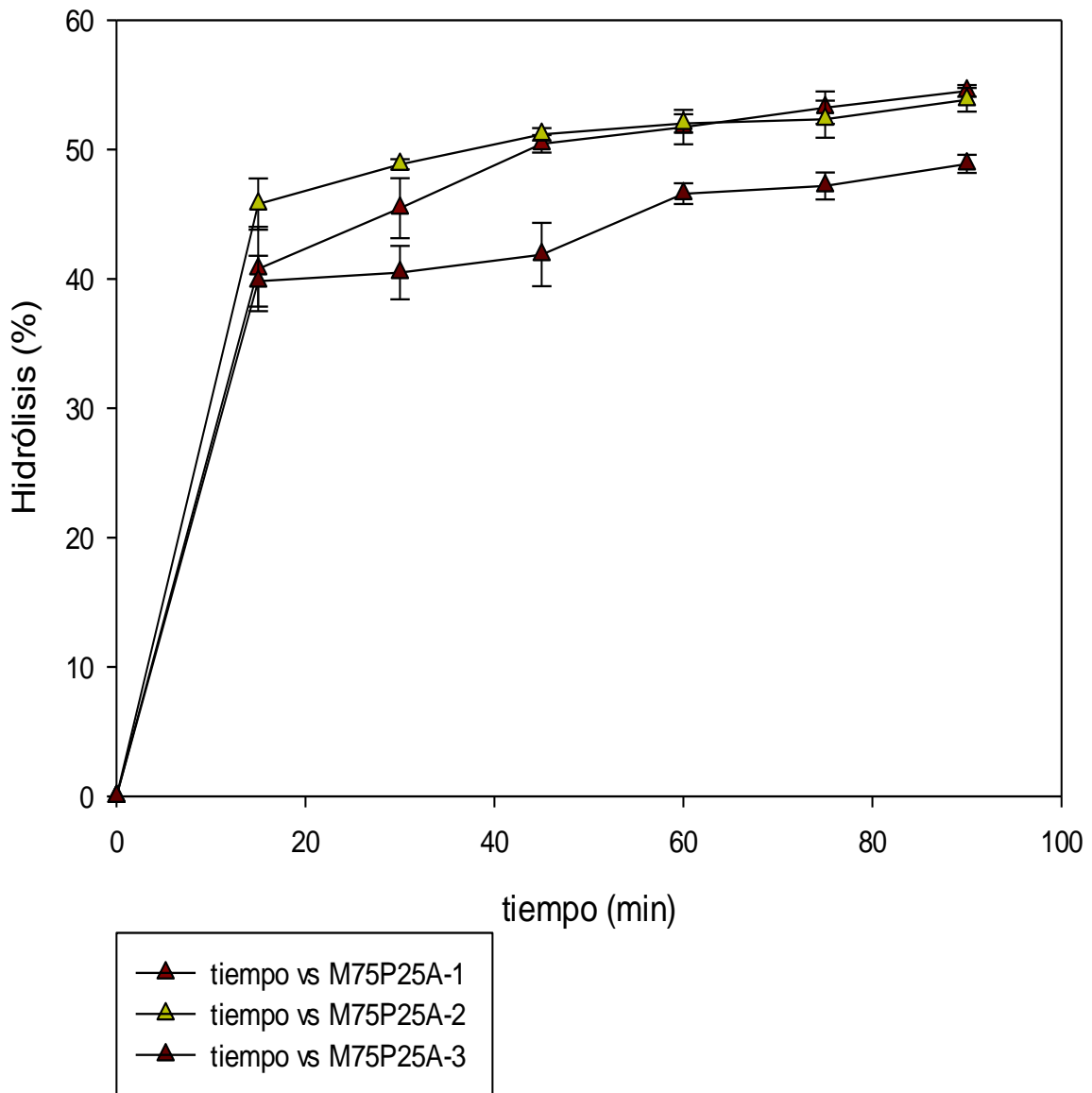
Codificación de las muestras:

M50P50A-1; M50P50A-2 y M50P50A-3 son las muestras elaboradas a partir de la mezcla 50% HP y 50% HA

HP=Harina de plátano

HA=Harina de amaranto

Los diferentes niveles -1,-2 y -3 corresponden a las temperaturas utilizadas en el extrusor: -65:100:110; -65:110:120 y -65:120:130 respectivamente.



**Figura 12.** Hidrólisis del almidón presente en los productos elaborados a partir de una mezcla con 75% HP y 25% HA

Codificación de las muestras:

M75P25A-1; M75P25A-2 y M75P25A-3 son las muestras elaboradas a partir de la mezcla 75% HP y 25% HA

HP=Harina de plátano

HA=Harina de amaranto

Los diferentes niveles -1,-2 y -3 corresponden a las temperaturas utilizadas en el extrusor: - 65:100:110; -65:110:120 y -65:120:130 respectivamente.

De acuerdo con las Figuras 11 y 12, se observa que la muestra M50P50A-3 tiene el menor porcentaje de hidrólisis (39%). Esto puede deberse a la formación de FDT por la interacción entre los componentes. Otra posible explicación puede ser la interacción proteína-almidón; Pérez-Navarrete y col., (2007) observaron, en maíz extrudido, que los gránulos se encuentran incrustados en la matriz proteica (glutelinas), y en los cuerpos proteicos (zeínas).

### 3.6. Análisis sensorial

Para la evaluación sensorial se utilizó solamente 2 de las muestras elaboradas en este trabajo, las muestras M50P50A-2 y M75P25A-2, las cuales cumplían con valores aceptables de absorción de aceite y una estructura crujiente, sin perder de vista su valor nutricional. Ya que las muestras correspondientes al nivel 1 se caracterizaban por una estructura muy compacta y la dureza tenía los valores más altos (véase Tabla11), por lo cual se decidió no considerarlas para esta prueba. De manera similar, las muestras correspondientes al nivel 3, tenían una estructura porosa, aumentando el grado de absorción de aceite lo cual termina reflejándose en un mayor contenido de lípidos (véase Tabla 10 y 11).

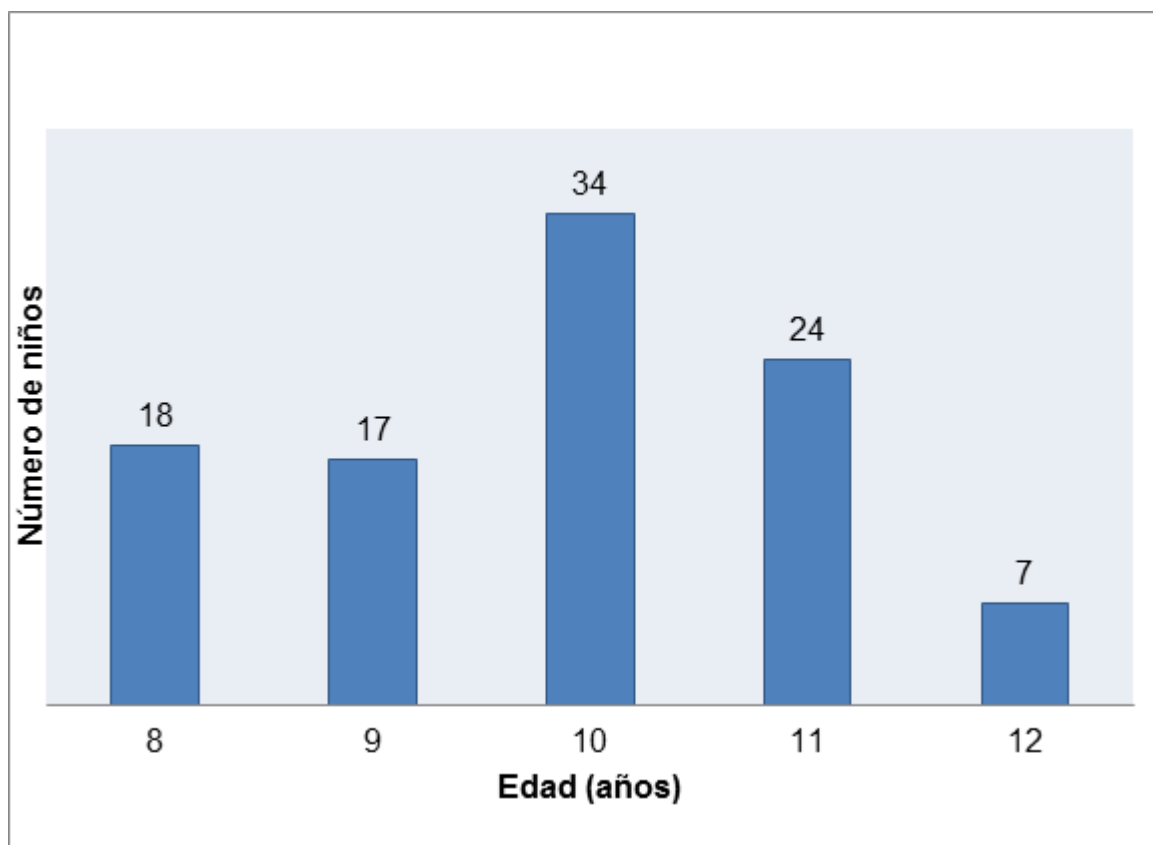
Como control se utilizó una botana comercial que se adquirió en una dulcería de la comunidad de Yautepec Morelos.

Para la dinámica de esta evaluación, se consideraron dos días diferentes, para evaluar el efecto que tiene la adición de un sabor característico en la aceptación o rechazo de éste tipo de productos, botanas. Dado que las botanas se caracterizan por ir acompañadas/adicionadas con chile o algún otro picante, la botana comercial también debía cumplir con estas características, es decir, una botana con “chile” y otra sin él. Para las botanas elaboradas en este trabajo se seleccionó un chile sabor a “takís”, adquirido en la central de abastos de la comunidad de Cuautla, Morelos.



**Figura 13.** Aplicación de la evaluación sensorial a los alumnos de la escuela primaria “Emiliano Zapata”

La prueba de nivel de agrado se realizó en la escuela primaria “Emiliano Zapata” ubicada en la localidad de San Isidro perteneciente al municipio de Yautepec, Morelos con clave: 17DPR0512X. A los alumnos de 4to, 5to y 6to grado, como se observa en la Figura 13. La prueba se realizó en un horario de 9:00 a 10:30 am, ya que posteriormente los niños degustan de un desayuno. Y en ese horario cumplían con el requisito de no haber ingerido nada 1 hora antes de la evaluación, ya que su hora de entrada es a las 8:00 am. En total se realizó la prueba a 100 niños, de los cuales 60% eran niñas y 40% niños. En la Figura 14 se muestra la distribución de edades de los niños encuestados.



**Figura 14.** Distribución de edad de los niños encuestados

Para el análisis estadístico se realizó una t de Student ya que determina si las medias que arroja la evaluación de una o dos muestras pertenece o no a una misma población, de esta manera se evaluó la existencia o no de diferencias significativas en cada una de las muestras con respecto a la adición de chile, a este tipo de muestras se les conoce como muestras independientes ya que tienen como objetivo comparar dos muestras que han sido analizadas, por ejemplo, en este caso los tiempos de análisis fueron diferentes. La fórmula de t de Student se plantea como sigue (Pedrero-Fuehrer y Pangborn, 1989):

$$t = \frac{\text{diferencia entre medias}}{\text{error estándar de la diferencia}}$$

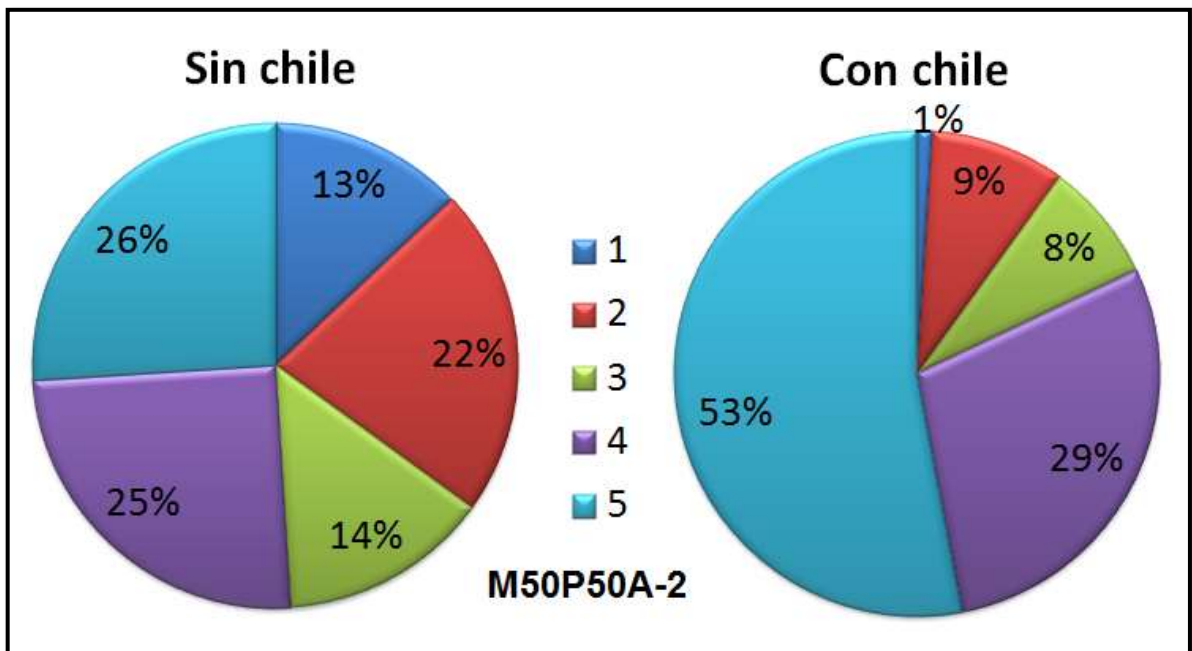
En el Anexo 2 se observa el resumen del análisis estadístico t de Student para cada una de las muestras evaluadas, de acuerdo con datos reportados el valor de t en tablas para una cola,  $p= 0.05$  y  $g.l.=198$  es de 1.64, y para nivel de  $p=0.005$  es de 2.58. Ambos valores de tablas son menores que los valores calculados para las muestras M50P50A-2 y M75P25A-2 de 5.505 y 4.081 respectivamente. Por lo cual se declara que existen diferencias significativas en las muestras M50P50A-2 y M75P25A-2 con y sin chile con un nivel de significancia menor al 0.5%. Sin embargo para la muestra comercial, el resultado es diferente, ya que el valor calculado 1.308 es menor al de tablas, por lo que no existe diferencia significativa en cuanto si se les adiciona o no chile.

El comportamiento anterior se aprecia con mayor claridad en las Figuras 15, 16 y 17. Para la muestra M50P50A-2 se observa que cuando la botana no tiene chile, solo el 26% de los jueces les encantó el producto, cifra que aumento hasta un 53% cuando el producto ya tenía la adición de chile. De tal manera se observa para la muestra M75P25A-2, donde va de valores de 27% a 41% en la misma categoría de calificación (5). Para mayor entendimiento se designó una calificación para cada categoría de puntuación, siendo  $5=10$ ,  $4=8$ ,  $3=6$ ,  $2=4$  y  $1=2$  (Figura 18).

A medida que aumenta la cantidad de jueces para esa categoría 5, disminuye para la categoría 1, que corresponde a una calificación 2, es decir, odié la botana. De 13% a 1% para la botana M50P50A-2 y de 11% a 2% para la botana M75P25A-2.

Para la muestra comercial no se observa diferencia significativa cuando ésta tiene chile o no, ambas son bien aceptadas y calificadas por los jueces, como se observa en la Figura 17.

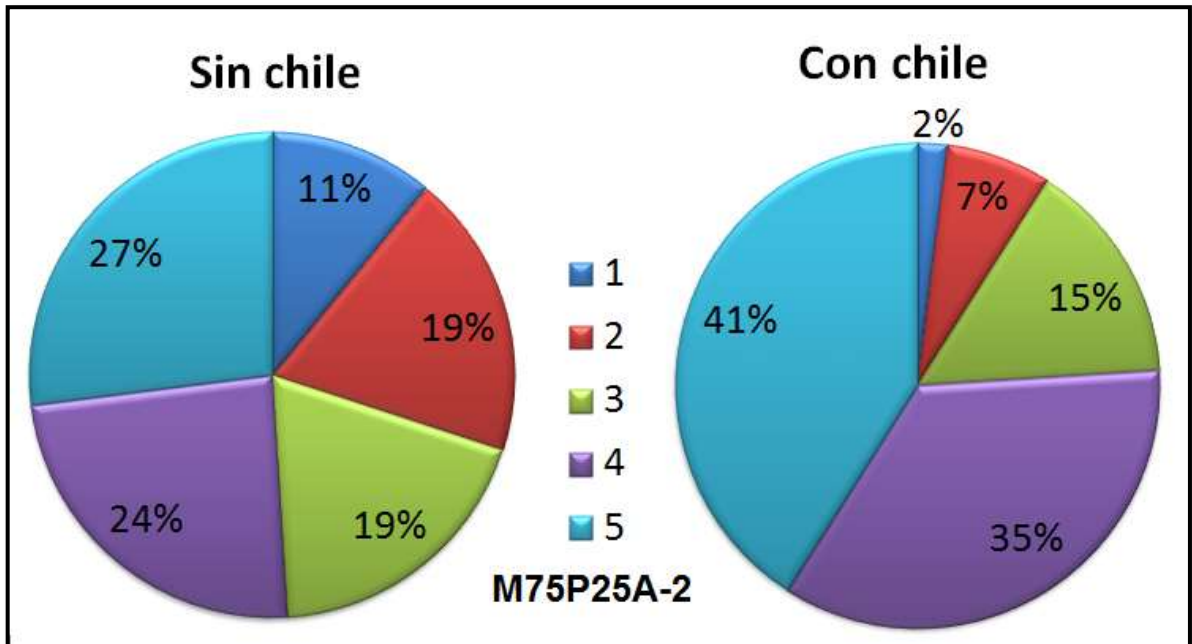
En la Figura 18 se observa la calificación promedio de cada una de las muestras, tal y como se ha venido señalando, en las muestras M50P50A-2 y M75P25A-2 se observa una mejora en la calificación cuando a éstas se les adiciona chile. Para la muestra comercial, no hay diferencia significativa.



**Figura 15.** Aceptación de la muestra M50P50A-2 con y sin chile

Donde 1=Odié, 2= No me gustó, 3= Indiferente, 4= Me gustó y 5= Me encantó

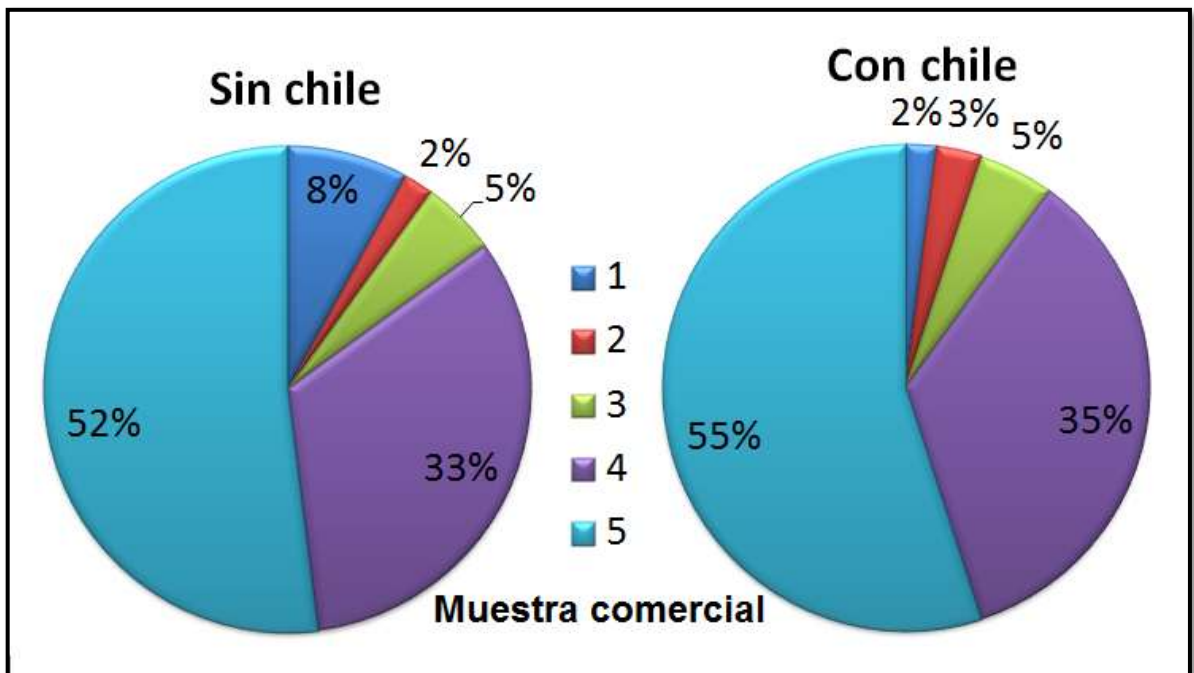
M50P50A-2 corresponde a la muestra elaborada a partir de 50%HP-50%HA con temperaturas del extrusor de: 65:110:120.



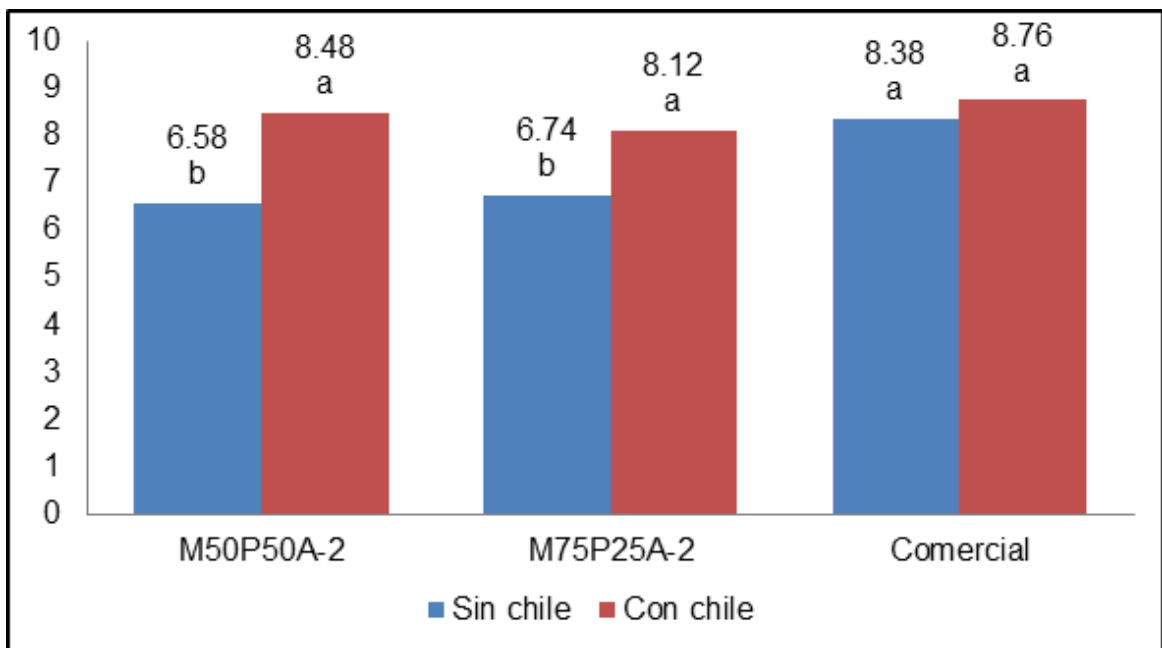
**Figura 16.** Aceptación de la muestra M75P25A-2 con y sin chile

Donde 1=Odié, 2= No me gustó, 3= Indiferente, 4= Me gustó y 5= Me encantó

M75P25A-2 corresponde a la muestra elaborada a partir de 75%HP-25%HA con temperaturas del extrusor de: 65:110:120.



**Figura 17.** Aceptación de la muestra comercial con y sin chile  
 Donde 1=Odió, 2= No me gustó, 3= Indiferente, 4= Me gustó y 5= Me encantó



**Figura 18.** Calificación promedio de las botanas  
 La calificación es la media aritmética. Letras iguales indican que no existe diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).  
 M50P50A-2 corresponde a la muestra elaborada a partir de 50%HP-50%HA con temperaturas del extrusor de: 65:110:120.  
 M75P25A-2 corresponde a la muestra elaborada a partir de 75%HP-25%HA con temperaturas del extrusor de: 65:110:120.

## Capítulo 4 CONCLUSIONES

El diseño factorial general de dos factores completamente al azar, es una herramienta que permitió apreciar el efecto de las condiciones de proceso en las botanas, ayudando de esta manera a analizar los factores de concentración de las harinas y temperaturas en el extrusor, en la elaboración de una botana.

Los condiciones de proceso de extrusión: baja humedad y altas temperaturas, favorecieron una menor dureza, incremento en la absorción de aceite y aumento en la expansión de las botanas extrudidas y fritas.

Los componentes de cada una de las harinas, favoreció la composición final de las muestras, destacando que las muestras con mayor porción de harina de amaranto (M50P50A), fueron aquellas con mayor cantidad de proteína (10 g/100g).

En la evaluación de textura, la temperatura de extrusión tuvo efecto sobre la dureza. Siendo las muestras M75P25A-2 y M50P25A-2 las de valores medios de 173 y 170 N respectivamente.

Las condiciones de extrusión favorecieron la expansión longitudinal, traducida como la presencia o formación de una estructura más porosa, siendo las muestras M50P50A-2 y M75P25A-2 con los valores máximos de expansión de 1.97 y 1.91 respectivamente.

Debido a que las temperaturas y la baja humedad favorecieron a la formación de una estructura porosa, esto tuvo un efecto en cuanto a la absorción de aceite, ya que los valores incrementaron en cada aumento de temperatura. Reflejándose en un aumento en el contenido de lípidos.

Las pruebas de digestibilidad permitieron observar que un aumento en el contenido de la FDT favoreció a una disminución en la tasa de hidrólisis.

De acuerdo al Codex alimentarius, las muestras quedan catalogadas como un alimento alto en fibra por su contenido por arriba de 6 g/100 g.

Se seleccionaron las muestras M75P25A-2 y M50P50A-2 para la evaluación sensorial, ya que reportaron valores medios de dureza y de lípidos.

En la calificación reportada en la evaluación sensorial, se obtuvieron valores próximos a las comerciales siempre y cuando las muestras posean un sabor característico.

Debido a las características de mayor expansión (1.97), dureza (170 N), contenido de proteínas (10g /100g) y el contenido de FDT que termina causando un efecto en una baja digestibilidad, se concluye que la muestra M50P50A-2 es la mejor en el presente estudio. La cual corresponde al tratamiento con 50% HP y 50% HA, con temperaturas en el extrusor de: 65-110-120 °C.

## BIBLIOGRAFÍA

- AACC. (2000). *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. St Paul, MN:10th.
- Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria. (2010). *Estrategia contra el sobre peso y obesidad*. Secretaria de Salud, México.
- AEPA. (2014). *Asociación Nacional de Fabricantes de Papas Fritas y Productos de Aperitivos*.
- AOAC. (1999). *Official methods of analysis of AOAC International*. Washington, D. C.
- Arendt, E. K., y Zannini, E. (2013). Amaranth. En E. K. Arendt, y E. Zannini, *Cereal grains for the food and beverage industries* (págs. 1-475). Philadelphia, USA: Woodhead Publishing.
- Arias-García, R. E., Chávez-Castellanos, Á. E., Herrera-Nájera, R., Morales-de-León, J., Pedroza-Islas, R., Salazar-Zazueta, A., y otros. (2007). Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. Parte 1: Pruebas de laboratorio. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 22(002), 53-66.
- Assmann, G., Buono, P., Ferns, G., Daniele, A., Della-Valle, E., y Farinaro, E. (2014). Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases. *ELSEVIER*, 1272-1300.
- Badui-Dergal, S. (2006). *Química de los Alimentos*. México: Pearson Educación.
- Bello-Gutierrez, J. (2000). *Ciencia Bromatológica. Principios generales de los alimentos*. España: Díaz de Santos, S. A.
- Bello-Pérez, L. A., Sanchez-Hernández, L., Moreno-Damián, E., y Agama-Acevedo, E. (2001). Producción de maltodextrinas y jarabe de glucosa a partir de almidón de plátano. *Conexión 1*, 19-22.
- Beltrán- Rico, M., y Marcilla- Gomis, A. (2012). *Tecnología de polímeros*. San Vicente del Raspeig: Publicaciones de la Universidad de Alicante.
- BeMiller, J. N., y Whistler, R. (2010). Carbohidratos. En O. R. Fennema, S. Damodaran, y K. L. Parkin, *Química de los alimentos* (pág. 1130). Acibia.

- Bezerra, C. V., Da Cruz-Rodrigues, A. M., Amante, E. R., y Meller-Da Silva, L. H. (2013). Nutritional potential of green banana flour obtained by drying in spouted bed. *Brasil Frutic., Jaboticabal*, 35: 1140-1146.
- Brennan, M., Derbyshire, E., Tiwari, B., y Brennan, C. (2013). Ready to eat snacks products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 893-902.
- CANACINTRA. (s.f.). Cámara Nacional de la Industria de Transformación.
- Chávez-Jáuregui, R. N., Cardoso-Santiago, R. A., y Pinto e Silva, M. E. (2003). Acceptability of snacks produced by the extrusion of amaranth and blends of chickpea and bovine lung. *International Journal of Food Science and Technology*, 795-798.
- Da Cunha, D. T., Assuncao-Botelho, R. B., Ribeiro de Brito, R., de Oliveira-Pineli, L. d., y Stedefeldt, E. (2013). Métodos para aplicar las pruebas de aceptación para alimentación escolar: validación de la tarjeta lúdica. *Revista chilena de nutrición*, vol. 40 no. 4.
- Da Mota, R. V., Lajolo, F. M., Ciacco, C., y Cordenunsi, B. R. (2000). Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different Varieties. *Starch/Stärke*, 52 (2-3) 63-68.
- Dokic, L. P., Bodroza-Solarov, M. I., Hadnadev, M. S., y Nikolic, I. R. (2009). properties of extruded snacks supplemented with amaranth grain grits. *APTEFF*, 17-24.
- ENSANUT. (2012). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. *Resultados Nacionales*.
- Estévez, C. (2001). Situación actual y perspectivas de los alimentos "snacks". IN: Presente y perspectivas de la industria de "snacks" en Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. *Publicaciones Misceláneas Agrícolas*, 50: (59) 1-4.
- FAO. (1998). Los carbohidratos en la nutrición humana. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Roma. Informe de una consulta mixta FAO/OMS de Expertos*, Alimentación y Nutrición no. 66.

- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., y Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 931-942.
- García-Schinkel, C. (09 de Mayo de 2013). *OPINIÓN: Desnutrición y obesidad: ¿dos caras de la misma moneda?* Obtenido de CNN México: <http://mexico.cnn.com/opinion/2013/05/09/opinion-desnutricion-y-obesidad-dos-caras-de-la-misma-moneda>
- Guy, R. (2000). *Extrusion cooking. Technologies and applications*. Washington, DC: CRC Press.
- Ilo, S., Liu, Y., y Berghofer, E. (1999). Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. *Lebensm Wiss & Technol*, 79-88.
- Islas-Hernández, J. J., Agama-Acevedo, E., Osorio-Díaz, P., y Pacheco-Vargas, G. (2010). Digestibilidad del almidón en galletas elaboradas con una formulación simple y adicionadas con harina de plátano verde. Guanajuato.
- Jiménez-Colmenero, F. (2013). Emulsiones múltiples; compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *Nutrición hospitalaria*, 1413-1421.
- Juarez-García, E., Agama-Acevedo, E., Sayago-Ayerdi, S., Rodríguez-Ambriz, S., y Bello-Pérez, L. (2006). Composition, digestibility and application in bread making of banana flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, 61:131-137.
- Kaur, S., Singh, N., y Rana, J. C. (2010). *Amaranthus hypochoeridifolius* and *Amaranthus caudatus* germplasm: Characteristics of plant, grain and flours. *Food Chemistry*, 123: 1227-1234.
- Martínez , G., Mackenzi, J., y Bermúdez, A. S. (2012). Determinación de parámetros para la elaboración de un expandido de maíz. *Alimentos hoy*, 16-19.
- Muller, H. G., y Tobin, G. (1988). *Nutrición y ciencia de los alimentos*. Acribia.
- NOM-147-SSA1-1996. (s.f.). Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, Semolas o semolinas. Alimentos a base cereales, de semillas comestibles, harinas, semolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias.
- NOM-187-SSA1/SCFI-2002. (s.f.). Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se

procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.

Ovando-Martínez, M., Sáyago-Ayerdi, S., Agama-Acevedo, E., Goñi, I., y Bello-Pérez, L. A. (2009). Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chemistry*, 121-126.

Özen, A., Bibiloni, M., Pons, A., y Tur, J. (2014). Consumption of functional foods in Europe; a systematic review. *Nutrición hospitalaria*, 470-478.

Pacheco-Delahaye, E., Maldonado, R., Pérez, E., y Schroeder, M. (2008). Production and characterization of unripe plantain (*Musa paradisiaca* L.) flours. *INTERCIENCIA*, 290-296.

Particle sciences. (2011). Hot Melt Extrusion. *Technical Brief*.

Pedrero-Fuehrer, D. L., y Pangborn, R. M. (1989). *Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos*. México, D.F.: Alhambra Mexicana.

Pérez-Caracas, E., Bahnassey, Y., y Breene, W. (2006). Some Chemical, Physical and Functional Properties of Native and Modified Starches of *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus cruentus*. *Starch*, 215-220.

Pérez-Navarrete, C., Betancur-Ancona, D., Casotto, M., Carmona, A., y Tovar, J. (2007). Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol lima. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 278-286.

Pérez-Torres, B. C., Aragón-García, A., Pérez-Avilés, R., Hernández, L. R., y López-Olguín, J. F. (2011). Estudio entomofaunístico del cultivo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) en Puebla, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3): 359-371.

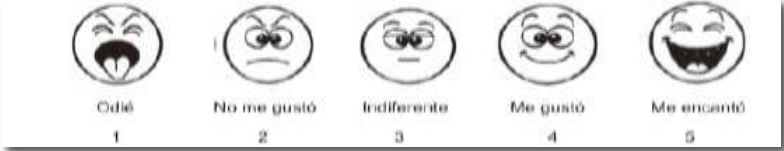


Reddy, K. M., Kuna, A., Devi, L. N., Krishnaiah, N., Kaur, C., y Nagamalleswari, Y. (2014). Development of extruded Ready-To-Eat (RTE) snacks using corn, black gram, roots and tuber flour blends. *Journal of Food Science and Technology*, 1929-1937.

Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J., Kallio, H., y Salminen, S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, 219-224.

- Robin, F., Dubois, C., Pineau, N., Labat, E., Théoduloz, C., y Curti, D. (2012). Process, structure and texture of extruded whole wheat. *Journal of Cereal Science*, 358-366.
- Robin, F., Schuchmann, H. P., y Palzer, S. (2012). Dietary fiber in extruded cereals: Limitations and oportunities. *Trends in Food Science and Technology*, 23-32.
- Sáenz, C. (2001). Snacks de frutas. IN: Presente y perspectivas de la industria de "snacks" en Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas. *Publicaciones Misceláneas Agrícolas*, 50: (59) 13-22.
- Sarawong, C., Schoenlechner, R., Sekiguchi, K., Berghofer, E., y Ng, P. K. (2014). Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*, 33-39.
- Singh, S., Gamlath, S., y Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusiom: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 916-929.
- Torres, E. R. (1 de Abril de 2009). *Industria alimenticia*. Recuperado el 28 de Enero de 2015, de En El Mundo De Los Snacks: <http://www.industriaalimenticia.com/articles/83159-en-el-mundo-de-los-snacks>
- Tremblay, A., y Arguin, H. (2013). Functional foods, satiation and satiety. En J. Blundell, y F. Bellisle, *Satiation, satiety and the control of food intake* (págs. 202-218). UK: Woodhead Publishing Limited.
- UNICEF. (2012). *Salud y nutrición*. Obtenido de <http://www.unicef.org/mexico/spanish/17047.htm>
- Vaclavik, V. A. (2002). *Fundamentos de ciencia de los alimentos*. España: Acribia.
- Valero-Muñoz, A. (2013). *Principios de color y holopintura*. Barcelona: Editorial club Universitario.
- Zhang, P., Whistler, R. L., BeMiller, J. N., y Hamaker, B. R. (2005). Banana starch: production, physicochemical properties and digestibility-a review. *Carbohydrate Polymers*, 59: 443-458.

# ANEXOS

## Anexo 1. Plantilla de Evaluación Sensorial

Evaluación sensorial de una botana (churritos)				
Edad: _____		Sexo: Femenino ( )		Masculino ( )
<b>Lee las siguientes indicaciones:</b>				
1. Anota el número de la botana que vas a probar en la línea marcada				
2. Prueba primero una de las botanas e indica marcando con una <b>X</b> sobre la carita que corresponda a tu gusto.				
3. Bebe un poco de agua y después prueba la siguiente botana repitiendo las indicaciones anteriores.				
4. No olvides responder la pregunta de compra para cada botana.				
<b>1. ¿Cuánto te gusto la botana</b>				
?				
				
Odié      No me gustó      Indiferente      Me gustó      Me encantó				
1                      2                      3                      4                      5				
<b>2. ¿Comprarías esta botana?</b>				
Sí la compraría	Quizá si la compraría	Quizá sí o quizá no la compraría	Quizá no la compraría	No la compraría
<b>1. ¿Cuánto te gusto la botana</b>				
?				
				
Odié      No me gustó      Indiferente      Me gustó      Me encantó				
1                      2                      3                      4                      5				
<b>2. ¿Comprarías esta botana?</b>				
Sí la compraría	Quizá si la compraría	Quizá sí o quizá no la compraría	Quizá no la compraría	No la compraría
<b>1. ¿Cuánto te gusto la botana</b>				
?				
				
Odié      No me gustó      Indiferente      Me gustó      Me encantó				
1                      2                      3                      4                      5				
<b>2. ¿Comprarías esta botana?</b>				
Sí la compraría	Quizá si la compraría	Quizá sí o quizá no la compraría	Quizá no la compraría	No la compraría

**Anexo 2.** Resumen del análisis estadístico t de Student

Muestra M50P50A-2				<b><u>t= 5.505</u></b>
Con chile		Sin chile		
n	100	N	100	
$\Sigma x$	424	$\Sigma y$	329	
$\bar{x}$	4.24	$\bar{y}$	3.29	
$\Sigma x^2$	1898	$\Sigma y^2$	1277	
Muestra M75P25A-2				<b><u>t= 4.081</u></b>
Con chile		Sin chile		
n	100	N	100	
$\Sigma x$	406	$\Sigma y$	337	
$\bar{x}$	4.06	$\bar{y}$	3.37	
$\Sigma x^2$	1750	$\Sigma y^2$	1317	
Muestra Comercial				<b><u>t= 1.308</u></b>
Con chile		Sin chile		
n	100	N	100	
$\Sigma x$	438	$\Sigma y$	419	
$\bar{x}$	4.38	$\bar{y}$	4.19	
$\Sigma x^2$	1994	$\Sigma y^2$	1889	

Para codificación de las muestras véase Tabla 8.

### Anexo 3. ANOVA del químico proximal de las botanas extrudidas y fritas

#### ANOVA de humedad

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	33.286	4.161	47.149	<0.001
Residual	33	2.912	0.0882		
Total	41	36.199			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

#### ANOVA de cenizas

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	19.507	2.438	112.249	<0.001
Residual	18	0.391	0.0217		
Total	26	19.898			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

#### ANOVA de carbohidratos

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	1966.901	245.863	908.834	<0.001
Residual	18	4.869	0.271		
Total	26	1971.77			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

#### ANOVA de lípidos

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	2641.098	330.137	1503.36	<0.001
Residual	18	3.953	0.22		
Total	26	2645.051			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

#### ANOVA de proteínas

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	55.56	6.945	1156.224	<0.001
Residual	18	0.108	0.00601		
Total	26	55.669			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

#### Anexo 4. ANOVA de la caracterización física de las botanas extrudidas y fritas

##### ANOVA de la dureza

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	253289.464	31661.183	1244.392	<0.001
Residual	64	1628.359	25.443		
Total	72	254917.822			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

##### ANOVA de la absorción de aceite

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	8669.205	1083.651	125.64	<0.001
Residual	42	362.253	8.625		
Total	50	9031.458			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

##### ANOVA del grado de expansión

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	7.793	0.974	194.58	<0.001
Residual	61	0.305	0.00501		
Total	69	8.098			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

##### ANOVA del parámetro de color L\*

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	15982.504	1997.813	2726.33	<0.001
Residual	118	86.469	0.733		
Total	126	16068.973			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

##### ANOVA del parámetro de color a\*

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	1368.485	171.061	442.829	<0.001
Residual	180	69.532	0.386		
Total	188	1438.018			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa ( $P = <0,001$ ).

## ANOVA del parámetro de color b\*

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	3564.169	445.521	739.801	<0.001
Residual	166	99.968	0.602		
<b>Total</b>	<b>174</b>	<b>3664.137</b>			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).

## ANOVA del parámetro de color C\*

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	925.188	115.648	729.499	<0.001
Residual	78	12.365	0.159		
<b>Total</b>	<b>86</b>	<b>937.553</b>			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).

## ANOVA del parámetro de color h\*

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	8	5229.179	653.647	1560.495	<0.001
Residual	81	33.929	0.419		
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>5263.108</b>			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).

ANOVA del parámetro de color  $\Delta E$ 

Origen de las variaciones	DF	SS	MS	F	P
Entre los grupos	5	153.959	30.792	3864.107	<0.001
Residual	19	0.151	0.00797		
<b>Total</b>	<b>24</b>	<b>154.111</b>			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).

## **Anexo 5.** ANOVA de la digestibilidad de carbohidratos de las botanas extrudidas y fritas

### ANOVA de Almidón Total (AT)

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Entre los grupos</b>	5	2666.796	533.359	75.864	<0.001
<b>Residual</b>	39	274.189	7.03		
<b>Total</b>	44	2940.985			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).

### ANOVA de Almidón Resistente (AR)

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Entre los grupos</b>	5	5.346	1.069	185.729	<0.001
<b>Residual</b>	33	0.19	0.00576		
<b>Total</b>	38	5.536			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).

### ANOVA de Almidón Disponible (AD)

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Entre los grupos</b>	5	1706.842	341.368	82.644	<0.001
<b>Residual</b>	31	128.049	4.131		
<b>Total</b>	36	1834.891			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).

### ANOVA de Fibra Dietética Total (FDT)

<b>Origen de las variaciones</b>	<b>DF</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Entre los grupos</b>	5	3.554	0.711	25.904	<0.001
<b>Residual</b>	13	0.357	0.0274		
<b>Total</b>	18	3.911			

Las diferencias en los valores medios entre los grupos de tratamiento son mayores de lo que cabría esperar por azar; hay una diferencia estadísticamente significativa (P = <0,001).