



**Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**

---

---

**Instituto de Ciencias Agropecuarias**

**Área Académica de Ingeniería Agroindustrial**

**Maestría en Ciencia de los Alimentos**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE BOTANAS  
HORNEADAS POR RADIACIÓN DE MICROONDAS A  
PARTIR DE HARINAS DE CHAYOTEXTLE (*Sechium  
edule*) Y PAPA DULCE (*Ipomoea Batatas*).**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN  
CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

Rafael Cruz Villegas

Dirección.

Dra. Norma Güemes Vera

Asesores.

Dr. Juan Pablo Hernández Uribe

Dra. Aurora Quintero Lira

M. en C. Sergio Soto Simental

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, Noviembre 2014





**Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo**

Instituto de Ciencias Agropecuarias

**COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP**

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos

**Apertura:**

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "**Caracterización físico-química de botanas horneadas por radiación de microondas a partir de harinas de chayotextle (*Sechium edule*) y papa dulce (*Jomoea Batatas*).**", que desarrolla el estudiante I.A. Rafael Cruz Villegas.

**Asistentes:**

- Dra. Norma Güemes Vera
- Dr. Juan Pablo Hernández Uribe
- M. en C. Sergio Soto Simental
- Dra. Aurora Quintero Lira

**A. Revisión de Trabajo de Tesis**

**Observaciones:**

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a el I.A. Rafael Cruz Villegas, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité.

**B. Acuerdos**

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que la estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo.

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 20 de octubre del 2014

- Dra. Norma Güemes Vera
- Dr. Juan Pablo Hernández Uribe
- M. en C. Sergio Soto Simental
- Dra. Aurora Quintero Lira



## **AGRADECIMIENTO**

**Al apoyo recibido por CONACYT con la beca de la Maestría en Ciencia de los Alimentos de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo incluida en el Padrón Nacional de posgrado de CONACYT**

## ÍNDICE.

---

---

<b>ÍNDICE DE FIGURAS.</b>	7
<b>ÍNDICE DE CUADROS.</b>	8
<b>ABREVIATURAS Y UNIDADES.</b>	9
<b>RESUMEN.</b>	11
<b>ABSTRACT.</b>	13
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	15
<b>2. ANTECEDENTES.</b>	17
2.1 Chayote ( <i>Sechium edule Sw.</i> )	17
2.1.1 Generalidades del almidón de “Chayotextle”	18
2.2 Generalidades de la papa dulce ( <i>Ipomoea Batatas</i> )	22
2.3 Almidón.	23
2.5 Propiedades funcionales del almidón	28
2.6 Almidón resistente	30
2.7 Almidones empleados en la elaboración de botanas	34
2.7.1 Almidones para botanas horneadas	37
2.7.2 Almidones para productos expandidos	37
2.7.3 Almidones en botanas saludables	39
2.8 Microondas	40
2.9 Horneado con microondas frente al horneado convencional	44
2.10 Botanas	48
2.11 Crujencia	50
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	55
<b>4. OBJETIVOS</b>	57
4.1 Objetivo general	57
4.2 Objetivos específicos	57

<b>5.</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b>	58
<b>6.</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	59
<b>7.</b>	<b>MÉTODO.</b>	60
7.1	Materiales y Métodos.	60
7.1.1	Materia Prima.	60
7.2	Obtención del harina de chayotextle ( <i>Sechium edule Sw.</i> ).	61
7.3	Preparación de la Materia Prima.	61
7.4	Análisis químico proximal de harinas.	62
7.5	Análisis de perfil de textura de masas.	62
7.6	Condiciones del proceso de horneado.	62
7.7	Caracterización de las botanas	64
7.7.1	Humedad y actividad de agua de las botanas.	64
7.7.2	Índice de Expansión.	64
7.7.3	Densidad Aparente.	64
7.7.4	Índice de absorción de agua.	65
7.7.5	Índice de solubilidad en agua.	65
7.7.6	Color de las botanas.	66
7.7.7	Prueba de fractura en las botanas, acoplada a la evaluación acústica.	66
7.7.8	Análisis sensorial.	67
7.7.9	Análisis químico proximal de botanas.	68
7.7.10	Digestibilidad del almidón.	68
7.7.11	Hidrólisis del almidón no resistente en las muestras.	69
7.7.11.1	Medición de almidón resistente.	69
7.7.11.2	Medición de almidón no resistente.	70
7.8	Análisis estadístico.	71
<b>8.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	72
8.1	Análisis químico proximal de harina de chayotextle.	72

8.2	Análisis de perfil de textura de masas.....	74
8.3	Caracterización de las botanas.....	75
8.3.1	Humedad y actividad de agua de botanas.....	75
8.3.2	Índice de Expansión.....	77
8.3.3	Densidad Aparente.....	79
8.3.4	Índice de absorción de agua.....	80
8.3.5	Índice de solubilidad en agua.....	81
8.3.6	Color de las botanas.....	82
8.3.7	Análisis químico proximal de botanas.....	85
8.3.8	Prueba de fractura en las botanas, acoplada a la evaluación acústica..	86
8.3.9	Análisis sensorial.....	92
8.3.10	Digestibilidad del almidón.....	94
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>98</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>107</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS.

---

Figura 1. Distribución aproximada de raíz y chayotextle de la planta de chayote. .	18
Figura 2. Micrografía de almidón de tubérculo de chayote (A) microscopio de luz; (B) microscopio de luz polarizada. ....	20
Figura 3. Microscopia electrónica de barrido 430x de gránulos de almidón de tubérculo de chayote (a) y gránulos de almidón de papa (b). ....	21
Figura 4. Estructura de amilosa y amilopectina.....	24
Figura 5. Espectro electromagnético.....	42
Figura 6. Rotación dipolar en molécula de agua. ....	44
Figura 7. Chayotextle recolectado en Tulancingo, Hidalgo. México.....	60
Figura 8. Esquematización de las dimensiones del horno de microondas empleado.....	63
Figura 9. Cuestionario utilizado en la evaluación sensorial.....	68
Figura 10. Fotografías de las botanas.....	84
Figura 11. Porcentaje de apreciación de crujencia (A) y crocancia (B) en chips de chayotextle-soya 10% y papa.....	93

## ÍNDICE DE CUADROS.

---

Cuadro 1. Composición proximal de tubérculos de chayote y papa (%). .....	19
Cuadro 2. Composición proximal de algunos tubérculos. ....	26
Cuadro 3. Patrón de rayos X de algunos tubérculos. ....	27
Cuadro 4. Clasificación y tipo de almidón resistente. ....	33
Cuadro 5. Tipos de almidones especializados. ....	36
Cuadro 6. Definiciones de crujencia y crocancia. ....	52
Cuadro 7. Composición proximal de harina de chayotextle (g/100g). ....	72
Cuadro 8. Humedad y actividad de agua de las mezclas de harinas. ....	73
Cuadro 9. Análisis de perfil de textura en masas. ....	74
Cuadro 10. Humedad y actividad de agua de botanas. ....	76
Cuadro 11. Resultados obtenidos del parámetro de Índice de expansión. ....	77
Cuadro 12. Resultados obtenidos del parámetro de Densidad aparente. ....	79
Cuadro 13. Resultados obtenidos del parámetro de índice de absorción de agua. .....	80
Cuadro 14. Resultados obtenidos del parámetro índice de solubilidad de agua. ..	82
Cuadro 15. Parámetros colorimétricos de las botanas. ....	83
Cuadro 16. Químico proximal de botanas de chayotextle con sustitución de 10% harina de soya. ....	86
Cuadro 17. Resultados obtenidos de parámetros de texturales de botanas. ....	87
Cuadro 18. Resultados obtenidos de parámetros acústicos de botanas. ....	89
Cuadro 19. Almidón de chayotextle y almidón chips de chayotextle. ....	95

## ABREVIATURAS Y UNIDADES.

---

$a_w$	actividad de agua
AR	almidón resistente.
AR <sub>1</sub>	almidón resistente tipo 1.
AR <sub>2</sub>	almidón resistente tipo 2.
AR <sub>3</sub>	almidón resistente tipo 3.
AR <sub>4</sub>	almidón resistente tipo 4.
ARD	almidón de rápida digestión.
ALD	almidón de lenta digestión.
AT	almidón total.
$a^*$	incidencia de verde a rojo
$b^*$	incidencia de azul a amarillo
cm <sup>3</sup>	centímetro cubico
$d$	diámetro de producto horneado
$d_0$	diámetro de producto previo al horneado
$\rho_{apr.}$	densidad aparente
db	decibeles
<i>Exp</i>	índice de expansión
g	gramo
GHz	gigahertz
h	horas
<i>IAA</i>	índice de absorción de agua
<i>ISA</i>	índice de solubilidad de agua
kg	kilogramo
kgf	kilogramos fuerza
L <sup>*</sup>	luminosidad

<i>L</i>	longitud en milímetros
<i>m</i>	metro
<i>m</i>	masa en gramos
mg	miligramos
min	minuto
mJ	milijulios
mL	mililitros
mm	milímetro
mM	milimolar
$m^3$	metro cubico
M	molar
MHz	megahertz
$\mu\text{m}$	micrómetro
nm	nanómetros
pH	potencial de hidrogeno
<i>p</i>	probabilidad
s	segundos
U	unidades
v	volumen
W	watts
%	porcentaje
(-)	adimensional
<	menor a
°	ángulo de inclinación
°C	grados celsius

## RESUMEN.

---

La realización del presente trabajo se centra en la falta de información científica y tecnológica para la fabricación de productos alimenticios elaborados con la raíz tuberizada de chayote conocida como “chayotextle”, el cual tiene importancia en la dieta autóctona desde tiempos precolombinos. Por otra parte a pesar del contenido nutricional de los tubérculos, su uso y consumo por lo general están limitados, debido al hecho de que son sujetos a pérdidas nutricionales post-cosecha. Esta problemática puede ser solucionada con la conversión de los tubérculos de un producto perecedero a uno no perecedero, como los alimentos tipo botana, que son diseñados para ser más durables y atractivos que los alimentos naturales, además de que las botanas se han convertido en parte integral de la dieta de la población mundial. El objetivo de este trabajo fue caracterizar las propiedades físicas y químicas de botanas tipo chip horneadas por microondas elaboradas con harina del tubérculo de chayote (*Scheium edule*) y adicionadas con harina de soya, para determinar la mejor formulación para la elaboración de estas, a través de la medición de parámetros físicos (índice de expansión, densidad aparente, índice de solubilidad de agua, índice de absorción de agua), colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), texturales (dureza y cantidad de fracturas) acústicos (nivel máximo de decibel, emisiones acústicas y media de decibels), y químicos (humedad, actividad de agua, almidón resistente) con condiciones estandarizadas de horneado por microondas de 50 s, 950 W y 2450 MHz. Las masas con que se elaboraron las botanas fueron analizadas a través de un análisis de perfil de textura, presentando una dureza de 1.654 a 2.289 kgf, una adhesividad de 5.83 a 10.98 mJ, y una cohesividad de 0.320 a 0.350, lo que indica que incrementar la cantidad de harina de soya, genera masas con mayor dureza y adhesividad, mientras que disminuye la cohesividad. A las botanas se evaluó la humedad y actividad de agua, las cuales se encontraron de 7.55 a 9.30%, y 0.315 a 0.342 respectivamente, lo que indica la correlación que a mayor contenido de harina de soya, mayor es la retención de humedad en el producto final y por tanto presenta mayor actividad de agua, y esto influye en características físicas como,

índice de expansión, densidad aparente, índice de solubilidad de agua, índice de absorción de agua, conforme el contenido de humedad se incrementaba el índice de expansión disminuía (1.45 a 1.28 (-)) y esto puede ser correlacionado con la densidad aparente, la cual es mayor conforme el índice de expansión es menor ( $1.51 \text{ E-2}$  a  $3.06 \text{ E-2 g/cm}^3$ ); en lo referente a índice de absorción de agua e índice de solubilidad de agua, cuando el contenido de humedad fue menor, la absorción de agua se incremento (6.04 a 6.40 g), caso contrario a la solubilidad de agua (6.78 a 6.00 %). El incremento en la sustitución de harina de soya genera botanas con menor luminosidad  $L^*$  (54.63 a 49.01), es decir más oscuras. Conforme con los datos texturales al aumentar el contenido de harina de soya, se generan productos con mayor dureza (0.560 a 0.700 kgf) y número de fracturas (3.13 a 4.06 (-)), lo cual puede ser verificado con el análisis de emisión acústica, ya que al los productos con mayor dureza, produjeron picos máximos de decibel más elevados (65.52 a 70.98 db) en comparación con productos con menor dureza, además, de que las emisiones acústicas y media de decibeles (56.97 a 61.71 db) también se ven afectados de manera similar. En lo referente al contenido de almidón resistente en la botana, este se vio disminuido posterior al tratamiento por microondas, teniendo 33.5% en harina nativa de chayotextle y 0.53% en la botana, para complementar el presente trabajo se realizó la evaluación textural y acústicas a través de la comparación con una botana comercial tipo chip de los parámetros previamente referidos, adicional a lo anterior se efectuó un análisis sensorial descriptivo en lo que concierne al número de fracturas percibidas por los integrantes del panel. De acuerdo con los datos obtenidos en el presente proyecto de investigación, se concluye que la harina de chayotextle sustituida con 10% de harina de soya, permite la fabricación de botanas tipo "chip" con buenos parámetros de crujencia y crocancia; productos con mayor dureza, presentan emisiones acústicas con decibeles mayores y mayor número de incidentes sonoros; la dureza determina la percepción de atributos sensoriales como crujencia y crocancia; la radiación por microondas genera mayor disponibilidad del almidón presente en harina nativa de chayotextle.

## ABSTRACT.

---

This study is focused on the little scientific and technological information about fabrication of food products made from chayote tuberized root, named "chayotextle", which has importance since precolombian times on diet. On the other hand, despite tuber nutritional content, their use and consumption are limited, because their nutritional loses postharvest. This can be solved by conversion of this tuber from a perishable product to a one non perishable, such as snacks, designed to be more attractive and with a larger self life than natural food, moreover snacks have become an integral part on diet of global population. The aim of this work was to characterize chemical and physical chips properties, made from chayote tuber root (*Scheium edule*) flour added with soy flour, baked by microwaves, in order to determine the better formulation for the elaborations of these chips, by the measurement of physical (humidity, water activity, expansion ratio, apparent density, water solubility index, water absorption index), color ( $L^*$ ,  $a^*$  &  $b^*$ ), textural (hardness & fractures), acoustic (maximum db level, acoustic emissions & media of db level) and chemical parameters (resistant starch), on microwave standardized baked conditions (50 s, 950 W & 2450 MHz). Doughs used to made the snacks were analyzed by a texture profile analyze, showing hardness from 1.654 to 2.289 kgf, adhesiveness from 5.83 to 10.98 mJ, and cohesiveness de 0.320 a 0.350, this indicates that increasing soy flour generates harder and more adhesive doughs, on the other hand these doughs are less cohesive. Moisture and water activity were determinate on snacks, finding 7.55 to 9.30%, and 0.315 to 0.342 respectively, showing that increasing soy flour content, humidity content is higher, and also water activity, these has influence on physical characteristics such as expansion ratio, apparent density, solubility water index, absorption water index, as humidity content increased expansion ratio decreased (1.45 to 1.28 (-)), and this can has correlation with apparent density, which increase as expansion ratio is lower ( $1.51 \text{ E-2}$  a  $3.06 \text{ E-2 g/cm}^3$ ); on the results of water solubility index and water absorption index, it was found the fact that with lower humidity content absorption water index increases (6.04 to 6.40 g),

the opposite was observed on water solubility index (6.78 to 6.00 %). Increasing soy flour substitution generate snacks with less luminosity (54.63 to 49.01 L\*). According with textural results increasing soy flour content, generate harder products (0.560 to 0.700 kgf) with more fractures (3.13 to 4.06 (-)), this can be verified by acoustic analyze, because harder products produced greater db levels (65.52 to 70.98 db) instead those less hard, beside acoustic emissions and media of db level (56.97 to 61.71 db) also were affected. About resistant starch on the snack, there was diminished after microwave treatment, showing 33.5% on chayotextle native flour and 0.53% on snacks. In order to complete this study textural and acoustic evaluation were made on a commercial chip, to realized the comparison on the parameters mention before, additionally a descriptive sensory analyze was performed on perception of fractures by the panel integrants. According to results obtained on this investigation, it can be concluded that chayotextle flour with substitution of 10% soy flour, can lead to the elaboration of chips snacks showing acceptable crunchiness and crispiness parameters, harder products exhibit acoustic emission with greater db levels and more acoustic events; also hardness determines the perception of crunchiness and crispiness; and microwave radiation become available resistant starch present on chayotextle native flour.

## 1. INTRODUCCIÓN.

---

El fruto de chayote (*Sechium edule*), produce frutos de diferentes tamaños y formas, tallos verdes, hojas tiernas y tubérculos, todos ellos comestibles. El tubérculo de chayote conocido como “chayotextle” tiene importancia en la dieta autóctona desde tiempos precolombinos, sin embargo, no hay reportes oficiales de su producción a nivel nacional. A pesar del contenido nutricional de los tubérculos, su uso y consumo por lo general están limitados, debido al hecho de que están sujetos a pérdidas nutricionales post-cosecha por su alto contenido de humedad, metabolismo sostenido y el ataque microbiano (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). Esta problemática puede ser solucionada con la conversión de los tubérculos de un producto perecedero a un producto no perecedero.

Los alimentos tipo botana están diseñados para ser menos perecederos, más durables y atractivos que los alimentos naturales (Mazumder *et al.*, 2007). El crecimiento del mercado para botanas ha sido intenso, las botanas se han convertido en parte integral de la dieta de la población mundial, aunado a este nivel de consumo, ha existido preocupación sobre la calidad nutricional de estos productos, estas botanas son hechas predominantemente de harina de cereales o almidones (Ainsworth *et al.*, 2007). En el año 2011 Rodríguez-Miranda *et al.*, elaboraron una botana a partir de tubérculo de Taro (*Colocasia esculenta*), aunque en la revisión de literatura, no se encontró información publicada sobre la elaboración de botanas en cuya formulación incluya como ingrediente al tubérculo de chayote.

El objetivo de este estudio fue el de caracterizar las propiedades físicas y químicas de las botanas que se obtuvieron con harina de tubérculo de chayotextle (*Sechium edule*) adicionadas con soya y de papa dulce (*Ipomoea batatas*) a través de un tratamiento térmico por microondas. Es por ello la importancia de realizar el estudio de atributos físicos como índice de expansión,

densidad aparente, índice de absorción de agua e índice de solubilidad en productos obtenidos a través de microondas, además de parámetros morfológicos como la micro-estructura y color de las botanas, para determinar la procesabilidad de harina de chayotextle en la elaboración de botanas y su posible utilización a nivel industrial.

## 2. ANTECEDENTES.

---

### 2.1 Chayote (*Sechium edule Sw.*).

El chayote (*Sechium edule Sw.*) pertenece al grupo Sycioideae de la familia Cucurbitaceae que se caracteriza por poseer una semilla de gran tamaño. Esta cucurbitácea tiene una enredadera con una gran producción de tallo; el chayote es un alimento que se encuentra altamente arraigado a la cocina mexicana; es un alimento completo que contiene carbohidratos, proteínas, calcio, fósforo, hierro, vitamina A, tiamina, riboflavina, niacina, ácido ascórbico, azúcar soluble y agua (Ramírez-Rangel, 2012).

La primera descripción del chayote, fue probablemente la de Francisco Hernández, quien radicó en México durante el período comprendido entre 1550 a 1560 (Hernández-Uribe *et al.*, 2011). La mayor evidencia del origen del chayote es la existencia de chayotes silvestres en la región centro y sur de México, así como, en Centro América; además de los nombres comunes otorgados a las especies en diferentes partes de América (Ramírez-Rangel, 2012). El chayote es una planta perenne de crecimiento anual y su posesión de órganos de reserva le permite el rebrote e iniciar las primeras fases de crecimiento en un nuevo ciclo (Aila-Súarez *et al.*, 2013).

Para el año 2011, en México se reportó una producción de 178, 228.63 toneladas de chayote. Las principales entidades productoras son Jalisco, Michoacán y Veracruz, también se produce en San Luis Potosí, Yucatán, Puebla, Colima, Nayarit y el Estado de México (SIAP, 2013). La planta de chayote se encuentra constituida por fruto, semilla, tallo y raíz. Donde la raíz tuberizada es la formación de un bulbo de reserva, de una sección de la raíz, ubicada en su extremo terminal, no todas las raíces presentan una formación de tubérculo cómo es posible visualizar en la Figura 1 (Cruz-León y López-Rueda, 2005).

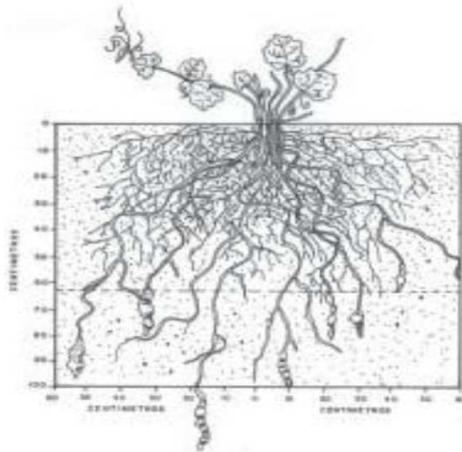


Figura 1. Distribución aproximada de raíz y chayotextle de la planta de chayote (Cruz-León y López-Rueda, 2005).

### 2.1.1 Generalidades del almidón de “Chayotextle”.

El chayote (*Sechium edule*) es una planta nativa de México y América central, la cual ha sido cultivada a pequeña escala en algunos otros países como España, Inglaterra y Francia. Esta planta produce frutos de diversos tamaños y formas, tallos verdes, hojas blandas (conocidas como quelites) y tubérculos, todos estos comestibles (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007). A pesar del contenido nutricional de los tubérculos, su uso y consumo por lo general están limitados, debido al hecho de que son sujetos a amplias pérdidas nutricionales post-cosecha por su alto contenido de humedad, metabolismo sostenido y el ataque microbiano, llevando a un consecuente daño durante la recolección y almacenamiento (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011).

De acuerdo con Ramírez-Rangel (2012), la humedad de la raíz tuberizada del chayote es de 81.3%, y en base seca el chayotextle presenta 10.35% de contenido proteico, 0.17% de fibra y 85.5% de carbohidratos, además este autor hace mención que del contenido total de carbohidratos, el 72.8% corresponde a almidón. Otro trabajo de investigación refiere que el tubérculo de chayote presenta

un contenido de humedad de aproximadamente 74.2% mientras que de sólidos tiene una cantidad aproximada de 25.8%; y del porcentaje de sólidos existentes en el tubérculo de chayote 60% es almidón (Aila-Súarez *et al.*, 2013). En lo referente al contenido lípidico y proteico los porcentajes se encuentran en 0.16 y 0.29% respectivamente, valores similares a lo reportado en tubérculos de papa (0.18 y 0.20%) (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007).

Los tubérculos o raíces del chayote también conocidas como “chayotextle”, “cueza”, “camochayote” o “chinchayote”, presentan importancia de interés tecnológico, Jiménez-Hernández *et al.*, en 2007 hacen mención que el contenido de almidón en este tubérculo es elevado (136 g/kg), que puede ser comparado con el contenido de almidón presente en papa (140 g/kg) Es posible considerar al almidón de “chayotextle” como una fuente alterna de este polisacárido para su uso en la industria alimentaria. En el Cuadro 1, se presenta la comparación químico proximal entre el tubérculo de “chayotextle” y tubérculo de papa.

Cuadro 1. Composición proximal de tubérculos de chayote y papa (%), (Hernández-Uribe *et al.*, 2011).

<b>Fuente</b>	<b>Humedad</b>	<b>Proteína</b>	<b>Grasa</b>	<b>Ceniza</b>	<b>Almidón</b>	<b>Amilosa</b>
<b>Chayote</b>	4.7 ± 0.08	0.33 ± 0.01	0.34 ± 0.03	0.39 ± 0.01	89.1 ± 0.96	26.3 ± 0.38
<b>Papa</b>	11.2 ± 0.08	0.22 ± 0.02	0.24 ± 0.01	0.35 ± 0.00	93.4 ± 2.20	27.5 ± 0.50

Como se observa, existe una amplia similitud entre el almidón de los tubérculos de chayote y papa, en lo que respecta a la relación amilosa-amilopectina, reportándose discrepancias solamente en lo referente a morfología y tamaño de los gránulos de almidón (Figura 2), ha sido reportado que el porcentaje de sólidos en el tubérculo de chayote es de 25.8%, de los cuales el 59.4% de este contenido de sólidos corresponde a almidón, por lo tanto en una cantidad de 10 kg de

“chayotextle” existe la posibilidad de extracción potencial de 1.5 kg de almidón, con lo que se tendría un rendimiento de 0.55 kg/kg de raíz tuberizada con una pureza de 89.1 porcentual. Con respecto a que la morfología y tamaño de los gránulos de almidón están relacionados con la fuente botánica de procedencia, los gránulos de almidón de “chayotextle” presentan diversas formas entre, esféricos, ovalados y/o poligonales.

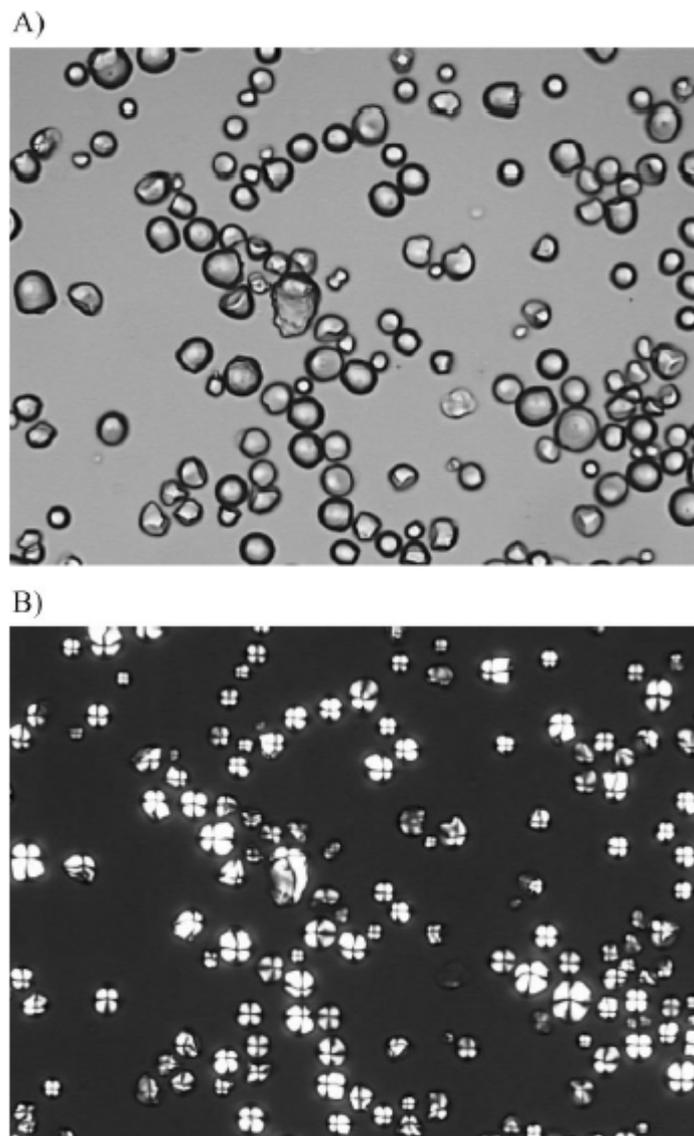


Figura 2. Micrografía de almidón de tubérculo de chayote (A) microscopio de luz; (B) microscopio de luz polarizada (Hernández-Urbe *et al.*, 2011).

Su tamaño varía entre 7 y 50 micrómetros, en comparación con gránulos de almidón obtenidos de papa (Figura 3). Sin embargo, en cuanto a sus propiedades térmicas, la temperatura de gelatinización del almidón de “chayotextle” (74.02°C) es significativamente similar a la temperatura de gelatinización del almidón de papa (75.16°C) de acuerdo a lo reportado por Jiménez-Hernández *et al.*, en el 2007.

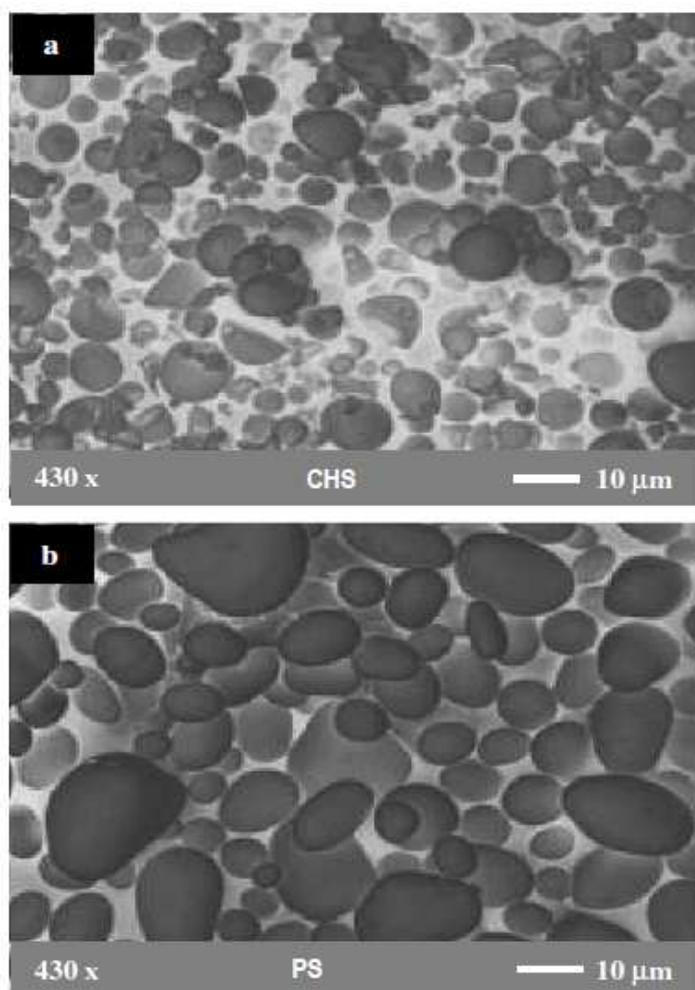


Figura 3. Microscopía electrónica de barrido 430x de gránulos de almidón de tubérculo de chayote (a) y gránulos de almidón de papa (b) (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007).

## **2.2 Generalidades de la papa dulce (*Ipomoea batatas*).**

La papa dulce (*Ipomoea batatas*) es una de las hortalizas de más antigua domesticación, cultivo y consumo en América. La población indígena de esta región se alimentaba desde hacía siglos de su raíz tuberosa de sabor dulce. La raíz comestible recibe diferentes nombres según la región o país de que se trate: boniato (Uruguay, Cuba, España), cará, jeticao batata doce (Brasil, donde batata significa papa), papa (México), cumara (Perú), kumara (Nueva Zelanda) y patata dulce (Europa, Asia). Los orígenes de esos vocablos están en los idiomas indígenas de diferentes regiones de América tropical. El término batata deriva, al parecer, del idioma taíno, hablado por los arahuacos taínos, que habitaban parte de la actual Venezuela y de las Antillas. El género *Ipomoea* tiene más de cuatrocientas especies, algunas de las cuales poseen valor ornamental y resultan conocidas en jardinería. La única cultivada como alimento es *Ipomoea batatas*, una planta herbácea de tallo rastrero y profundas raíces ramificadas, gruesas o delgadas, que constituyen el principal objeto de su cultivo. Esas raíces varían en forma, disposición, color de la piel y de la pulpa (pulpa firme, húmeda o seca, rica en almidón); pueden pesar entre cincuenta gramos y seis kilogramos. Las diferencias de color de la pulpa y la piel están asociadas con la presencia natural de distintas sustancias químicas (Bovell-Benjamin, 2007).

Las raíces de la papa dulce contienen alta cantidad de almidón, abundantes vitaminas, fibras (celulosa y pectinas) y minerales. Pese a que el contenido de proteínas de la batata es moderado (1,7%), la proteína que contiene es valiosa debido a su aporte de aminoácidos esenciales, en especial lisina, lo cual hace que la harina de papa dulce se use como complemento de harinas de cereales que tienen poco de ese aminoácido. Su contenido de lípidos es muy bajo y, como todo vegetal, está libre de colesterol (Sun *et al.*, 2014).

La papa dulce se consume asada, al horno, hervida o frita. Su textura y sabor se adaptan a muchas recetas. Los “chips” de papa, tienen buena difusión en varios países, aunque durante mucho tiempo su elaboración por fritura, existe alta retención de aceite, que es perjudicial a la salud (Bovell-Benjamin, 2007). En México la fabricación de botanas con papa dulce, ya sean papas fritas o “chips”, alcanza 76.48 miles de millones de toneladas (Aguilera-Ortiz, 2014).

### **2.3 Almidón.**

El almidón es el carbohidrato de reserva mayoritario en las plantas. Se encuentra depositado principalmente en tejidos de almacenamiento en forma de gránulos insolubles y semicristalinos. El almidón está conformado por dos polímeros de D-glucosa; que son la amilosa, esencialmente no ramificada con enlaces glucosídicos  $\alpha$ -(1,4) y la amilopectina, con cadenas de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -(1,4) y ramificaciones unidas por enlaces  $\alpha$ -(1,6) (Copeland *et al.*, 2009).

El contenido de humedad de gránulos nativos de almidón generalmente es del 10% (Copeland *et al.*, 2009). La amilosa y la amilopectina representan aproximadamente el 98-99% del peso seco del gránulo de almidón, la relación entre los dos polisacáridos varía de acuerdo al origen botánico del almidón (Tester *et al.*, 2004).

La amilosa y la amilopectina (Figura 4) tienen diferente estructura y propiedades. La amilosa es relativamente larga y lineal, conteniendo alrededor de 99% de enlaces  $\alpha$ -(1,4); la amilosa tiene un peso molecular aproximado de  $1 \times 10^5$  a  $1 \times 10^6$  (Tester *et al.*, 2004).

Mientras que la amilopectina es una molécula mayor con un peso molecular de  $1 \times 10^7$  a  $1 \times 10^9$ , altamente ramificada conformada por 95% de enlaces  $\alpha$ -(1,4) y 5% de enlaces  $\alpha$ -(1,6), comúnmente con la amilopectina, el tamaño molecular, forma, estructura y poldispersión de la molécula varia con el origen botánico, sin embargo, existe una variación en cuanto a la longitud de las cadenas y los patrones de ramificación; las cadenas de amilopectina son relativamente cortas, típicamente de 18 a 25 unidades en comparación de la amilosa (Tester *et al.*, 2004).

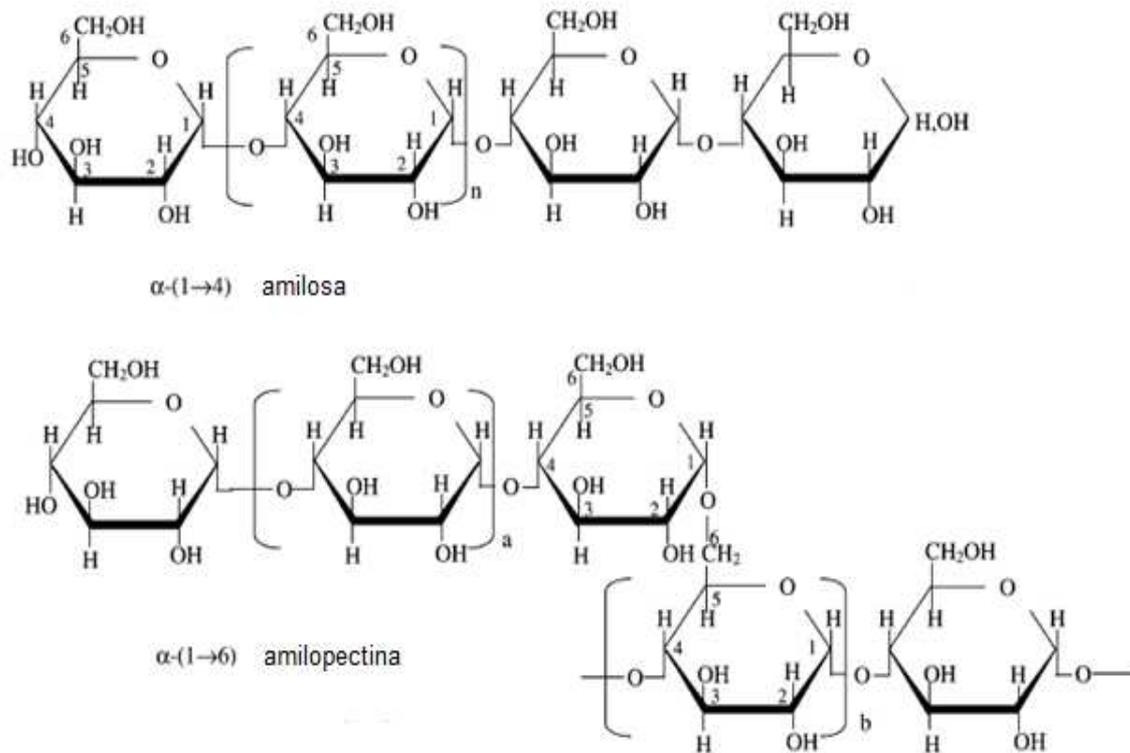


Figura 4. Estructura de amilosa y amilopectina. (Modificado de Tester *et al.*, 2004).

## 2.4 Almidón de tubérculos.

Cultivos de tubérculos son realizados alrededor del mundo en regiones cálidas y húmedas, estos cultivos están conformados por plantas productoras de raíces almidonosas, estos tubérculos contienen de un 70 a 80% de agua en su composición, de 16 a 24% de almidón, y trazas de proteínas y lípidos (<4%). Entre los que se encuentran destinados a fines alimenticios se pueden mencionar la papa (*Solanum tuberosum*), la papa dulce (*Ipomea batatas*) y la yuca (*Manihot esculentula*) (Hoover, 2001).

Alvani *et al.*, (2011) reporta que para el año 2010, las papas fueron el cuarto cultivo alimenticio de importancia a nivel mundial, después del trigo, arroz y maíz, con una producción anual de 300 millones de toneladas aproximadamente. Además, este investigador menciona que durante la última década, la producción de papa ha declinado en países desarrollados, sin embargo, ha incrementado en países recientemente industrializados, y que las papas son cultivadas como vegetales para consumo directo, aunque también su cultivo es para la obtención de material crudo o materia prima para productos procesados como alimentos pre-formados, derivados de papa, botanas, almidón o derivados de almidón.

En términos de propiedades físicas, los almidones de tubérculos muestran características únicas en comparación con otra fuente de almidones comerciales (almidones de cereales) que han sido extensamente utilizados en varios sistemas alimenticios. Estas características únicas se deben a tamaños de gránulo mayores, pureza, cadenas de amilosa y amilopectinas con longitudes relativamente amplias, presencia de fósforo unido a la amilopectina, habilidad de intercambio de ciertos cationes con cambios correspondientes en el comportamiento de viscosidad, y capacidad de formar geles visco-elásticos delgados a través de calentamiento con un subsecuente enfriado (Alvani *et al.*, 2011). El tamaño y forma de los gránulos de almidón de tubérculos se indican en

el Cuadro 2, el tamaño de gránulo es variable entre intervalos de 1 a 110 micrómetros dependiendo de la fuente de almidón, la mayoría de los gránulos presentan formas esféricas, redondas, poligonales y en casos aislados formas irregulares (Hoover, 2001).

Cuadro 2. Composición proximal de algunos tubérculos (Modificado de Hoover, 2001).

<b>Fuente</b>	<b>% de almidón</b>	<b>Tamaño (µm) y forma</b>	<b>Contenido de amilosa (%)</b>	<b>Lípidos (%)</b>	<b>Fósforo orgánico (%)</b>	<b>Fósforo inorgánico (%)</b>	<b>Nitrógeno (%)</b>
<b><i>Solanum tuberosum</i> (papa)</b>	32	15-110 oval, esférico.	25.4	0.19	0.089	0.001	0.1
<b><i>Solanum tuberosum</i> (papa cerosa)</b>	-	14-44 redondo, oval.	-	-	0.069	0.001	-
<b><i>Ipomea batatas</i> (papa dulce)</b>	30	2-22 redondo, oval y poligonal.	19.1	0.06-0.6	0.012	-	0.006
<b><i>Colocassia esculentula</i> (taro)</b>	55.1	3.0-3.5 redondo-poligonal.	21.4	0.39	0.021	-	0.019
<b><i>Manihot esculentula</i> (yuca)</b>	-	5.40 redondo.	18.6-23.6	0.1	0.008	0.001	0.009-0.0131

El almidón procedente de tubérculos, presenta contenidos de nitrógeno de 0.006 a 0.049%, además, este almidón se caracteriza por tener un bajo contenido de lípidos (<1%). El contenido de amilosa varía de 10 a 38%, aunque por lo general, este ha sido cuantificado por procedimientos colorimétricos sin un desgrasado previo o sin considerar la habilidad de la cadena externa de amilopectina de los almidones de tubérculos de formar un complejo con yodo (Hoover, 2001).

El almidón de tubérculos contiene cantidades significativas de ésteres de mono fosfato unidos covalentemente al almidón. En almidón nativo de papa, los ésteres de mono fosfato se encuentran principalmente unidos a la amilopectina. En lo que respecta al contenido y forma de fósforo presente, ha sido reportado, que existe influencia por las condiciones de cosecha, temperatura y almacenamiento (Hoover, 2001).

La difracción de rayos X, ha sido utilizada para revelar la presencia y características de la estructura de los gránulos de almidón. La mayoría de almidones de tubérculos exhiben un patrón tipo B (menor susceptibilidad a hidrólisis enzimática) en cuanto a la difracción por rayos X (Cuadro 3).

Cuadro 3. Patrón de rayos X de algunos tubérculos (Modificado de Hoover, 2001).

<b>Almidón</b>	<b>Patrón rayos X</b>	<b>Cristalinidad (%)</b>
<i>Solanum tuberosum</i>	B	28
<i>Ipomea batatas</i>	A, C	38
<i>Colocassia esculentula</i>	A	45
<i>Cucurbita foetidisima</i>	B	-
<i>Cana edulis</i>	B	26
<i>Discorrea esculentula</i>	B	-
<i>Discorrea alata</i>	B	-
<i>Manihot exculenta</i>	A,C	38

## **2.5 Propiedades funcionales del almidón.**

La mayoría del almidón consumido por los humanos es sometido a algún proceso, dentro de los cuales usualmente esta la aplicación de calor en presencia de humedad y presión, con un enfriado posterior. Durante el tratamiento térmico, los gránulos de almidón son gelatinizados, perdiendo su cristalinidad y organización estructural. En el enfriamiento, las moléculas desagregadas del almidón primeramente forman un gel para después retrogradarse gradualmente en agregados semicristalinos que difieren en forma de los gránulos de almidón nativo (Copeland *et al.*, 2009). Alimentos ricos en almidón que han sido calentados y enfriados a menudo contienen cantidades substanciales de almidón retrogradado, por lo que vislumbrar las etapas que ocurren durante la gelatinización y la retrogradación de un almidón en particular son pasos clave para predecir las propiedades funcionales de un almidón procesado. La gelatinización se efectúa cuando un almidón nativo es calentado en presencia de suficiente humedad. El gránulo absorbe agua hinchándose, y la organización cristalina es desarreglada irreversiblemente. De acuerdo a la teoría de Jenkins y Donald en 1998, el agua inicialmente se introduce en la zona amorfa del gránulo, y a cierto grado de hinchamiento, un estrés de rompimiento es transmitido a través de las moléculas que hacen la conexión de la zona amorfa a la zona cristalina. Las moléculas de amilosa comienzan a filtrarse de los gránulos mientras son desorganizadas por presión (estrés) y la viscosidad de la pasta resultante alcanza un máximo. Este máximo es seguido de una disminución de la viscosidad de la pasta, conforme los gránulos de almidón sufren una ruptura y las moléculas de almidón son dispersadas en la fase acuosa. La velocidad y extensión de hinchado y rompimiento son dependientes del tipo y cantidad de almidón, gradiente de temperatura, fuerza de mezclado y la composición de la mezcla (Debet y Gidley, 2007). La temperatura de gelatinización de la mayoría de los almidones se encuentra dentro del intervalo de 60 a 80 °C. En general existe una relación negativa entre el contenido de amilosa del almidón y la temperatura de gelatinización (Copeland *et al.*, 2009).

Conforme la pasta de almidón se enfría, la viscosidad incrementa por la obtención de un gel debido a la formación de interacciones intermoleculares entre las moléculas de amilosa y amilopectina. En geles conteniendo cerca de 25% de amilosa, las moléculas de almidón forman una red que resulta en un gel firme, en contraste los almidones cerosos, son suaves y contienen agregados pero no conforman redes (Copeland *et al.*, 2009).

Los geles de almidón retrogradan formando cristalizaciones insolubles, debido a la asociación de regiones lineales de glucosas unidas por enlaces  $\alpha$ -(1,4). La retrogradación es un proceso en curso que se lleva a cabo en un periodo extendido de tiempo. La amilosa se retrograda de minutos a horas, mientras que la amilopectina se retrograda en horas a días, dependiendo de la habilidad de las ramificaciones de formar asociaciones (Copeland *et al.*, 2006).

La retrogradación de la amilosa en alimentos procesados es considerada de importancia en las propiedades relacionadas con viscosidad, habilidad de absorber agua y digestibilidad; por otra parte la retrogradación de la amilopectina es probablemente de mayor importancia en lo que se refiere en el endurecimiento de productos de panificación y pasteles (Copeland *et al.*, 2006).

Una propiedad funcional de almidones no nativos con particular interés en el ámbito nutricional es su susceptibilidad a ser digerido. El almidón resistente al no ser degradado de manera rápida por las enzimas digestivas humanas en la parte inicial del intestino, ha sido asociado con beneficios a la salud, aunado a la menor liberación de glucosa al flujo sanguíneo, resultando en una reducción del índice glucémico y respuestas a la insulina. El nombre de "almidón resistente" es utilizado para describir almidones que no se digieren en su totalidad. Como resumieron Topping y Clifton (2001), un almidón puede ser resistente a la digestión

debido a sus propiedades intrínsecas, el periodo de tiempo en el cual el alimento fue sometido a masticación, cambios durante su procesamiento, retrogradación, modificación química o como resultado de interacciones con otros constituyentes del alimento, especialmente lípidos.

## **2.6 Almidón resistente.**

El almidón es un polisacárido que forma a la mayor parte de los productos agrícolas consumidos, como cereales, leguminosas, tubérculos, y frutos inmaduros, y la fracción de este almidón no digerida completamente o digerida de forma parcial, se conoce como almidón resistente (Sajilata, 2006); existen amplios estudios que muestran que el almidón resistente tiene funciones fisiológicas similares a la fibra dietética.

La modificación de almidones nativos mediante métodos químicos, físicos y enzimáticos, puede generar la formación de residuos no digeribles. De acuerdo a la acción enzimática en la degradación del almidón, este puede ser clasificado en tres clases, dentro de las cuales se encuentran el almidón de rápida digestión, el almidón de digestión lenta y el almidón resistente (Sajilata, 2006).

Los almidones de digestión rápida, consisten mayoritariamente en almidón amorfo y disperso que se encuentra en grandes cantidades en alimentos almidonosos cocinados por calor húmedo, como el pan y papas. El almidón de rápida digestión es cuantificable químicamente, a través de la conversión de esta a constituyentes de glucosa llevada a cabo por la digestión enzimática en un periodo de 20 minutos (Sajilata, 2006). En lo que respecta a los almidones de lenta digestión, de igual manera es esperado que se digieran completamente en el intestino delgado, aunque en este caso lo conforma principalmente el almidón que ha sido

retrogradado en el proceso térmico de cocción o fabricación del alimento, y la medición de este tipo de almidón se considera como la conversión de almidón a glucosa después de una digestión enzimática realizada durante 100 minutos (Sajilata, 2006).

Por otra parte el almidón resistente, que como ha sido mencionado con anterioridad, es la fracción de almidón que resiste la hidrólisis a un tratamiento exhaustivo a enzimas como  $\alpha$ -amilasa y pululanasa, por ende se considera almidón resistente a aquel que no ha sido hidrolizado después de una actividad enzimática después de 120 minutos (Sajilata, 2006). Motivo por el cual el almidón resistente puede ser definido como una fracción de almidón dietario (Sajilata, 2006), químicamente el almidón resistente (AR) puede expresarse como la diferencia existente entre el almidón total (AT), con la suma entre el almidón de rápida digestión (ARD) y el almidón de lenta digestión (ALD), que es representado con la siguiente ecuación.

$$AR = AT - (ARD + ALD) [1]$$

De acuerdo a lo mencionado previamente es posible en base a las características nutricionales del almidón, este puede ser clasificado en dos grandes grupos, almidón digestible y almidón no digestible (almidón resistente).

Conforme a la naturaleza del almidón no digestible, este a su vez puede ser catalogado en cuatro grupos; almidón resistente 1 ( $AR_1$ ), almidón resistente 2 ( $AR_2$ ), almidón resistente 3 ( $AR_3$ ), almidón resistente 4 ( $AR_4$ ).

El almidón resistente 1 ( $AR_1$ ), es el que presenta resistencia a la hidrólisis debido a la inaccesibilidad física de este a las enzimas, como puede ser el procedente de granos o semillas parcialmente molidos.  $AR_2$ , es el almidón que tiene cierta estructura granular que resiste la digestión enzimática, en gránulos de almidón crudos, el almidón se encuentra empacado compactamente en un patrón radial, y esta estructura es la responsable de limitar la accesibilidad de las enzimas digestivas, generalmente es tipo de almidón resistente esta en forma no gelatinizada.  $AR_3$ , representa la fracción de almidón resistente más amplia, la cual está constituida fundamentalmente por la retrogradación de la amilosa, efectuada durante el enfriamiento de un almidón gelatinizado, la mayoría de los productos alimenticios que han sufrido tratamientos de humedad-temperatura contienen  $AR_3$ , el cual es completamente resistente a la digestión de amilasas pancreáticas (Sajilata, 2006).

En la formación de  $AR_3$ , el gránulo de almidón es completamente rehidratado, donde la amilosa es filtrada de los gránulos de almidón a la parte acuosa, formando polímeros enrollados al azar. Una vez que ha habido enfriamiento, las cadenas poliméricas comienzan a re-asociarse como dobles hélices estabilizadas por puentes de hidrógeno (Wu y Sarki, 1978).

El  $AR_4$ , es el obtenido por medio de la formación de nuevos enlaces formados, ya sean  $\alpha$ -(1,6), obtenidos por diferentes tratamientos químicos (Nugent, 2005).

En el Cuadro 4 se describe el tipo de almidón resistente, el criterio de clasificación y la fuente alimenticia principal de obtención.

Cuadro 4. Clasificación y tipos de almidón resistente (Nugent, 2005).

Tipo de AR	Descripción	Fuente alimenticia	Disminución de la resistencia
AR <sub>1</sub>	Protegido físicamente.	Granos o semillas completos (as) o parcialmente molidos, legumbres.	Molienda, masticación.
AR <sub>2</sub>	Gránulos no gelatinizados resistentes.	Tubérculos crudos, frutos inmaduros (plátano), maíz con alta amilosa.	Procesamiento del alimento y cocción.
AR <sub>3</sub>	Almidón retrogradado.	Productos con tratamientos repetidos con humedad y calor.	Condiciones de proceso.
AR <sub>4</sub>	Almidones modificados químicamente.	Alimentos donde se han empleado AR <sub>4</sub> .	Menor susceptibilidad a digestibilidad.

El almidón no digerido o digerido parcialmente que transita de la parte superior del tracto intestinal (intestino delgado) a la parte inferior del intestino (intestino grueso), es considerado como prebiótico, siendo este un sustrato beneficioso para la micro biota intestinal asociada con aspectos de salud. Motivo por el cual la obtención o la utilización de almidones con características de digestión lenta son deseables y un objetivo importante en la industria alimentaria.

La depolimerización del almidón en la parte inicial del tracto intestinal es efectuada por  $\alpha$ -amilasas, las cuales degradan enlaces  $\alpha$ -(1,4), y amilogucosidasas e isoamilasas, que fragmentan uniones glucosídicas  $\alpha$ -(1,6). La velocidad y amplitud de la hidrólisis amilolítica de los gránulos de almidón varía de acuerdo a la naturaleza botánica. Sin embargo, posterior a un tratamiento térmico, diferencias en la susceptibilidad del almidón a ser hidrolizado por enzimas son relacionadas

más con productos que han sufrido gelatinización o quizá aún más críticas productos que han sufrido retrogradación (Copeland *et al.*, 2009).

Los almidones gelatinizados son digeridos de una manera más rápida que los gránulos de almidón nativo o almidón retrogradado, esto es consistente con la noción de acceso de las enzimas a la molécula de almidón (Copeland *et al.*, 2009).

Las características del gránulo deben ser consideradas, ya que estas influyen la susceptibilidad a ser atacado por  $\alpha$ -amilasa, las cuales incluyen: cristalinidad, tamaño granular, superficie disponible, relación amilosa-amilopectina, porosidad, homogeneidad estructural e integridad del gránulo (Kong *et al.*, 2003).

## **2.7 Almidones empleados en la elaboración de botanas.**

Almidones nativos frecuentemente tienen un uso limitado en aplicaciones alimenticias, dentro de las cuales está inmersa la elaboración de botanas. Una botana puede ser definida como un producto alimenticio ligero consumido entre las comidas regulares, donde se incluyen un amplio intervalo de productos con diversas formas. Debido a la textura cohesiva, sensibilidad a la aplicación de temperatura o agitación, claridad u opacidad, y bajas viscosidades, además de la retrogradación que pueda generarse durante el almacenamiento por parte de los almidones; se ha promovido la fabricación de almidones especializados (Sajilata y Singhal, 2005).

Para la selección de un almidón especializado que será utilizado en un producto en particular, se deben considerar al mercadeo y a la producción. En lo referente a la mercadotecnia; la estructura, apariencia, consideraciones organolépticas y vida

de anaquel deben contemplarse. En lo relacionado con requerimientos de fabricación, propiedades como la viscosidad, resistencia de estos almidones a esfuerzos mecánicos, pH bajos y temperaturas elevadas; son las características principales a considerar (Sajilata y Singhal, 2005).

Adicionalmente a los beneficios de textura y viscosidad, el uso de almidones especializados a menudo reduce los costos de productos alimenticios, gracias a que ingredientes de elevado valor monetario (sólidos de tomate, sólidos de frutos, o cocoa en polvo) pueden ser extendidos con combinaciones de estos aditivos alimenticios con almidones. Considerando la amplia contribución funcional y el bajo costo del uso de almidones especializados, el producto final se mantiene dentro de un precio accesible (Sajilata y Singhal, 2005).

Los almidones modificados esencialmente consisten en almidones en los que existe sustitución de grupos hidroxilo por otro grupo químico. Es posible hacer mención de almidones tratados con ácidos, almidones modificados con bases, almidones blanqueados, almidones oxidados, almidones mono-fosfato, almidones di-fosfato, mono-almidón fosfato, di-almidón fosfato, acetato de almidón, glicerina di-almidón, hidroxipropil almidón, almidón sodio octenil succionato, almidón oxidado acetilado, entre otros (Sajilata y Singhal, 2005).

En el Cuadro 5, se muestran algunos de los almidones especializados que pueden ser preparados de diferentes fuentes, así como la característica deseada.

Cuadro 5. Tipos de almidones especializados (Sajilata y Singhal, 2005).

Producto	Maíz regular	Maíz ceroso	Maíz de alta amilosa	Tapioca	Papa
<b>Gelificado</b>	Tratamiento térmico suave		Tratamiento térmico suave		
<b>Fluido</b>	Estabilizado	Entre-cruzado		Entre-cruzado	Entre-cruzado
<b>Expandido</b>		Entre-cruzado		Entre-cruzado	Entre-cruzado
<b>Rígido</b>			Tratamiento térmico suave		
<b>Gomoso</b>			Tratamiento térmico suave		
<b>Claro</b>		Entre-cruzado		Entre-cruzado	Entre-cruzado
<b>Opaco</b>	Entre-cruzado		Entre-cruzado	Tratamiento térmico suave	
<b>Pulposo</b>	Pre-gelatinizado y entre-cruzado			Pre-gelatinizado y entre-cruzado	
<b>Suave</b>		Entre-cruzado		Entre-cruzado	Entre-cruzado
<b>Granuloso</b>	Entre-cruzado			Entre-cruzado	
<b>Almacenado temperatura elevada</b>	Entre-cruzado	Entre-cruzado		Entre-cruzado	Entre-cruzado
<b>Almacenado temperatura baja</b>		Estabilizado, Entre-cruzado y estabilizado		Estabilizado, Entre-cruzado y estabilizado	Estabilizado, Entre-cruzado y estabilizado
<b>Almacenado a pH bajo</b>	Entre-cruzado			Entre-cruzado	Entre-cruzado

Como fue mencionado previamente, una botana es un producto consumido entre comidas, en lo que respecta a almidones especializados para la elaboración de este tipo de alimentos, es factible puntualizar de manera más concreta su utilización, ya que existen en el mercado mexicano botanas horneadas bajas en grasa, botanas expandidas, y la tendencia se focaliza hacia botanas saludables.

### **2.7.1 Almidones para botanas horneadas.**

En lo que concierne al uso de almidones especializados en la manufactura de botanas horneadas bajas en grasa, se han utilizado almidones de maíz ceroso pre-gelatinizados, en donde se realiza un horneado o un proceso de expansión indirecto (extrusión seguida de horneado en microondas o freído). El empleo de almidón pre-gelatinizado de maíz ceroso es necesario debido a que la temperatura incrementa en forma lenta en la pasta o masa, y el almidón nativo no tiene un periodo de tiempo suficiente para su gelatinización (Huang y Rooney, 2001). En pastelería el reemplazo de materia grasa por amilodextrinas y amilodextrinas octenil succionilatadas resulta en mayor firmeza (Young *et al.*, 2001). El uso de maltodextrinas obtenidas de almidón de maíz ceroso, permite el reemplazo por encima de 50% de materia grasa en productos de panificación (Anon, 1993).

### **2.7.2 Almidones para productos expandidos.**

En lo referente a la elaboración de productos expandidos, almidones pre-gelatinizados contribuyen a las propiedades de expansión de botanas horneadas (Moore *et al.*, 1984). Almidones cerosos generalmente producen una gran expansión, aunque tiende a aportar una sensación rígida en el paladar; almidones entre-cruzados reducen la rigidez sin embargo también minimizan la expansión (Langan, 1987). Un exceso en la utilización de almidones entre-cruzados disminuye la capacidad de hinchado del almidón, resultando en una botana con una expansión reducida con una textura no uniforme. El uso apropiado de almidones entre-cruzados de maíz ceroso controla la expansión de las botanas (Huang y Rooney, 2001). Almidón ceroso entre-cruzado puede ser combinado con almidón ceroso no entre-cruzado, para fabricar botanas expandidas freídas en materia grasa. Esta mezcla puede ser formada con sal y sazónadores al realizar la masa, con su consecuente gelatinización, moldeo, deshidratado a 10-14% de humedad, con el final freído y expandido (Radley, 1976).

Alimentos que son expandidos principalmente por horneado con microondas, donde en la superficie de estos es indeseable la presencia de fracturas, se obtienen con el recubrimiento de la superficie de la masa con  $\alpha$ -amilasa, o con la hidrólisis ácida del almidón previo al horneado (Kanbara y Mori, 1989).

Almidón expandible puede ser preparado por la acidificación de almidón nativo de yuca, en una suspensión de 0.08 a 2% de almidón seco en ácidos orgánicos que pueden ser láctico, cítrico, acético o tartárico; adicionando iones hierro y oxidando con peróxido de hidrogeno entre 0.03 a 0.9% a temperaturas inferiores a las de gelatinización (20-45 °C) por un periodo de 1 a 48 h. El almidón expandible obtenido es adecuado para la preparación de panes, productos horneados, o productos freídos en los cuales es deseable una superficie expandida y textura crocante (Oviedo y Manuel, 2001).

Para productos expandidos con presencia de celdas o huecos, como botanas crujientes o alimentos freídos, la masa debe contener de cada 100 partes en peso de almidón un contenido de amilosa menor o igual a 25% en peso (Nakano y Sato, 1998).

Botanas horneadas tipo "chip" a base de trigo, con burbujas de aire en su estructura, son fabricadas con almidón pre-gelatinizado de maíz ceroso (aproximadamente 2-3% en peso), almidón pre-gelatinizado de papa (aproximadamente 1.5-2.0% en peso), y opcionalmente almidón modificado de papa. La proporción de almidón pre-gelatinizado del total del almidón de papa presente puede ser de 0.45-1.0 0:1.00. El almidón ceroso pre-gelatinizado y el almidón de papa son susceptibles a hidratarse previo al horneado; esto permite que burbujas en el producto sea retenidas, y controlar la crujencia y textura de la botana (Carey *et al.*, 1998).

Botanas a base de jugos o concentrados de frutas o vegetales con una expectativa alta de vida de anaquel, pueden ser producidas mezclando estos jugos o concentrados con almidones hidrolizados o pre-gelatinizados, para la formación de una masa, la cual al ser tratada térmicamente se expande; esto debido a la evaporación de agua, dando lugar a productos con textura y apariencia de una galleta crujiente (Gimmet *et al.*, 1996).

Carboximetil almidón procedente de almidón ceroso de amaranto ha mostrado utilidad en botanas listas para su consumo fabricadas de semolina mediante extrusión (Bhattacharyya *et al.*, 1996). En este tipo de botanas se utiliza almidón pre-gelatinizado para el control del flujo en frío y formado del producto final (Moore *et al.*, 1984).

### **2.7.3 Almidones en botanas saludables.**

Botanas farináceas con bajo contenido calórico, generalmente contienen harinas o almidones con un alto contenido amilopectina, aportando una amplia sensación al paladar de “derretido”, además de una textura quebradiza (Gutcho, 1973).

Adicional a lo anterior, actualmente existe la tendencia de generar botanas saludables, que pueden encontrarse inmersas en la industria nutracéutica. El almidón al ser un ingrediente fundamental en la elaboración de botanas, juega un papel importante para hacer de este tipo de productos alimentos funcionales.

Como ya ha sido descrito, un almidón resistente es un tipo de almidón que no es hidrolizado de manera completa por las enzimas digestivas, el cual puede aportar efectos benéficos a la salud de los consumidores. Perera *et al.*, en el 2010, reporto que el almidón resistente es reconocido como un contribuyente significativo en la

salud gastrointestinal, ya que el almidón no digerido es fermentado por la microbiota del intestino grueso, permitiendo la producción de ácidos grasos de cadena corta, como acetato, propionato y butirato.

## **2.8 Microondas.**

Actualmente el uso de calentamiento por microondas tiene vastas aplicaciones en el ámbito de procesamiento de alimentos. Entre las aplicaciones de calentamiento por microondas se encuentran el secado, pasteurización, esterilización, deshelado, atemperado, horneado, etc. El uso de microondas ha ganado popularidad en el proceso de productos alimenticios debido a la posibilidad de alcanzar una amplia variedad de temperaturas, una reducción significativa en los tiempos de cocción, mayor uniformidad en la distribución de calor, manipulación segura, fácil operación y bajo costo de mantenimiento (Chandrasekaran *et al.*, 2013).

El término “microonda” hace referencia a la radiación electromagnética con un intervalo de frecuencia de 300 MHz a 300 GHz con una longitud de onda de 1 m a 1 mm. Es decir la propagación de la onda electromagnética a través del espacio, lo cual genera una variación con respecto al tiempo de los campos eléctrico y magnético. La característica única de las microondas es que estas viajan a través de un material alimenticio aumentando su temperatura (Feng *et al.*, 2012).

En el proceso térmico convencional, la energía es transferida al material a través de convección, conducción y radiación de calor desde la superficie del material. En contraste, la energía producida por microondas, es liberada directamente al material a través de interacciones moleculares con los campos electromagnéticos (Thostenson y Chou, 1999). La generación de calor mediante microondas es

causado por la interacción entre las microondas y el medio, en el cual parte de la energía electromagnética es disipada volumétricamente en energía calorífica (Feng *et al.*, 2012).

En transferencia de calor convencional, la energía es transferida debido a gradientes de temperatura, en contraste en el calentamiento por microondas, es la transferencia de energía electromagnética y la transformación de esta en energía térmica, en lugar de transferencia de calor. La diferencia en como la energía es liberada, resulta en ventajas potenciales en el uso de microondas para el procesamiento de materiales (Thostenson y Chou, 1999).

A diferencia del calentamiento convencional, el calentamiento por microondas funciona mediante la alteración de los campos magnético y eléctrico por la radiación de estas microondas, lo cual genera cambios en la orientación polar de moléculas dipolares presentes en la sustancia. Por debajo de una radiación por microondas de 2450 MHz, las moléculas polares rotan por arriba de billones de veces por segundo, permitiendo una rápida fricción, colisión y vibración intermolecular con la consecuente liberación de calor. Durante este proceso microscópico, la radiación por microondas es velozmente convertida en energía térmica en el material a calentarse sin la existencia de un gradiente de temperatura, permitiendo un incremento en la temperatura de manera acelerada (Fan *et al.*, 2013).

El calentamiento por microondas al ser una alternativa atractiva sobre los métodos térmicos convencionales, por el hecho de que una onda electromagnética al penetrar la superficie es convertida en energía térmica dentro del material, además de velocidades altas de iniciación, absorción selectiva de energía, control eléctrico instantáneo, tecnología no contaminante, alta eficiencia energética y una

alta calidad en los productos obtenidos, son algunas de las virtudes de este tipo de tecnología (Cha-um *et al.*, 2011). Como ha sido mencionado las microondas son ondas electromagnéticas no ionizantes, que constituyen parte del espectro electromagnético ubicadas en frecuencias de 300 MHz a 300 GHz, correspondiendo a longitudes de onda de 0.01 m a 1m (Figura 5) (Smith, 2010).

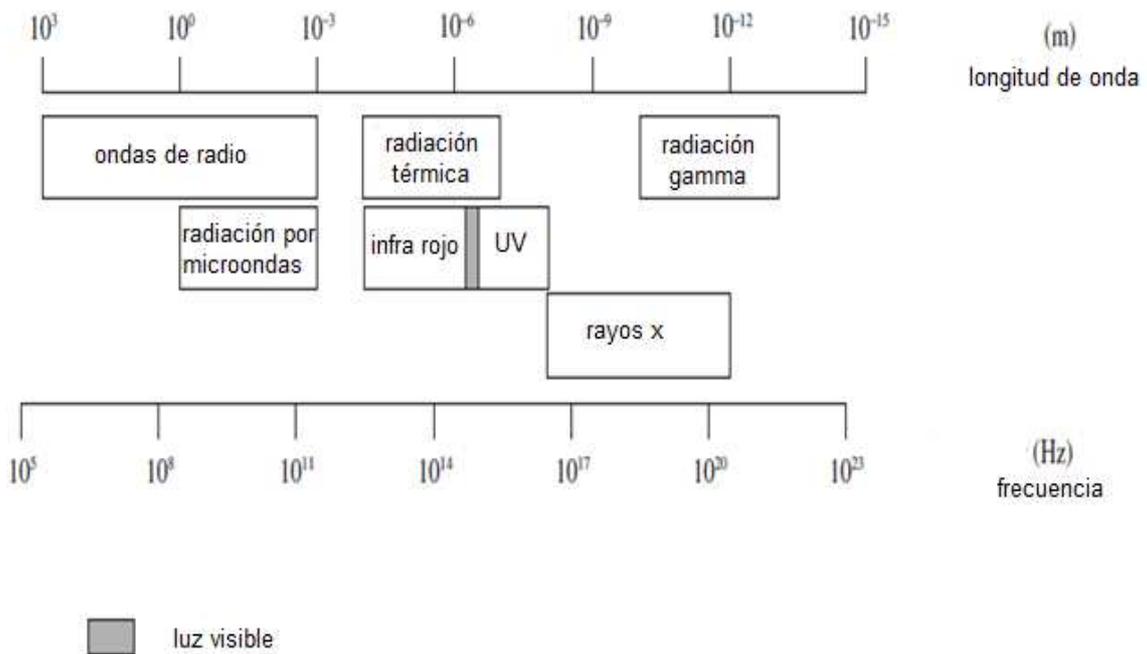


Figura 5. Espectro electromagnético (Smith, 2010).

Las aplicaciones comerciales de microondas generalmente se ubica en frecuencias de 915 a 2450 MHz. Como fue descrito anteriormente las microondas son energía no térmica, aunque estas pueden generar calor por absorción o interacción con ciertos materiales dieléctricos. Un material dieléctrico (por ejemplo aire o vidrio) presenta una elevada resistencia al flujo de una corriente eléctrica, aunque permite el paso de campos electrostáticos o magnéticos a través de este (Smith, 2010).

Las microondas son reflejadas por los metales, tienden a ser transmitidas a través de vidrio, cerámica y materiales termoplásticos, pero son absorbidas por agua y carbón (Smith, 2010). Es posible identificar dos mecanismos de generación de microondas, la polarización iónica y la rotación dipolar:

a) Polarización iónica: Si un campo eléctrico es aplicado a iones en solución, dichos iones se orientarán hacia sí dentro del campo, con su consecuente aceleración y aumento de su energía cinética. Por lo tanto la energía cinética es convertida a energía calorífica al momento de que los iones colisionan unos con otros. Cuando el campo eléctrico es invertido, por ejemplo a  $915 \times 10^6$  veces por segundo (915 MHz), el número de colisiones incrementan conforme los iones cambian velozmente su dirección. En alimentos la presencia de sodio, potasio o calcio en forma de sales generan cationes, mientras que los cloruros producen aniones. El efecto de polarización iónica es incrementado con una amplia densidad o concentración de iones presentes en solución, ya que estos colisionan con mayor frecuencia. En gases el espacio entre moléculas es significativo para generar colisiones considerables (Smith, 2010).

b) Rotación dipolar: Similarmente al proceso descrito anteriormente, las moléculas polares se alinearán en dirección al campo eléctrico aplicado dependiendo de su polaridad (Figura 6), así como una brújula se alinea al campo magnético; y si existe la aplicación de campos alternantes de alta frecuencia, las moléculas polares experimentarán una fuerza de rotación (torque) y rotarán a esa frecuencia. Esta rotación genera calor. El agua es la molécula polar de mayor importancia presente en materiales alimenticios, los átomos de hidrógeno se encuentran cargados positivamente mientras que los átomos de oxígeno presentan carga negativa. Este mecanismo depende en la habilidad de las moléculas a moverse, así que el hielo por ejemplo, tiene menor susceptibilidad a calentarse por microondas debido a que las moléculas de agua que lo conforman

muestran menor capacidad de movimiento en comparación a su estado líquido. La rotación dipolar es ampliamente significativa que la polarización iónica, a excepción de alimentos con un alto contenido de sal (Smith, 2010).

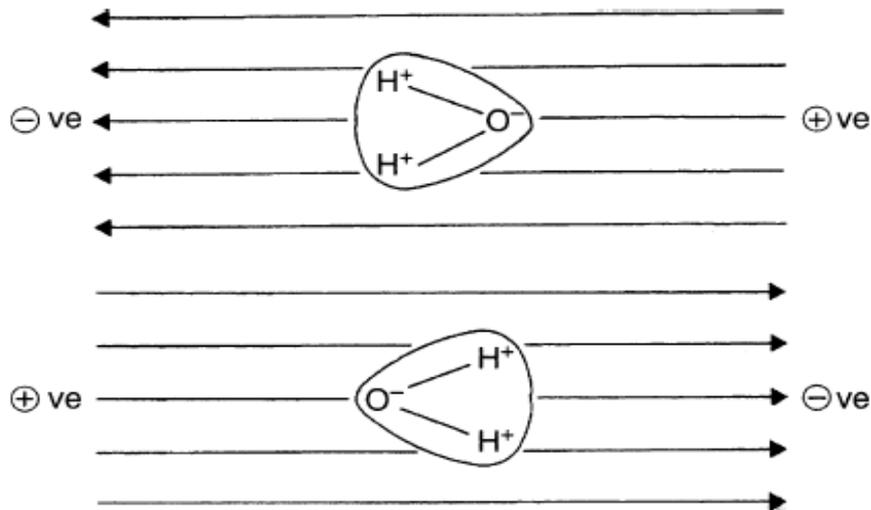


Figura 6. Rotación dipolar en molécula de agua (Smith, 2010).

La investigación en botanas expandidas por microondas ha aumentado en años recientes, debido a la perspectiva y conveniencia de los consumidores, además del potencial de obtener diferentes rangos de formas y texturas “en casa” usando formulaciones alimenticias pre-fabricadas. Estudios previos en lo referente a botanas expandidas por microondas se han enfocado primordialmente en maíz palomero (Arimi *et al.*, 2008).

## 2.9 Horneado con microondas frente al horneado convencional.

De acuerdo con Ribota y Tadini (2009) el horno de microondas presenta importantes ventajas frente a los hornos convencionales, tales como mayor

eficacia energética, ahorro de espacio, calentamiento más rápido, mejor control del proceso, no necesidad de calentamiento previo y producción de alimentos con mejor calidad nutricional (menores pérdidas nutricionales). Sin embargo, el uso del horneado con microondas, a pesar de sus ventajas, no ha llegado a extenderse en muchas aplicaciones industriales, como el horneado de productos de panadería. Las razones principales son variadas, pero todas ellas se basan en que el calentamiento de los productos es radicalmente diferente. Así mientras en un horneado convencional la superficie del producto alcanza rápidamente temperaturas superiores a 150 °C y su interior sufre un calentamiento progresivo, en el horneado con microondas se produce un calentamiento muy rápido de las zonas internas (debido a la presencia de dipolos), a la vez que la zona superficial no supera los 100 °C. Las distintas temperaturas alcanzadas en las distintas zonas de las piezas y la velocidad con que estas se alcanzan modifican las características del producto final. Estas diferencias pueden ser aprovechadas para obtener nuevos productos, imposibles de obtener por los métodos convencionales, pero también es posible modificar las condiciones del proceso o la formulación para minimizar dichas variaciones y aprovechar las ventajas del horneado con microondas en la elaboración de productos similares a los horneados de forma tradicional.

#### a) Horneado convencional

Para comprender las diferencias entre los productos obtenidos mediante el horneado con microondas y los obtenidos con horneado convencional es necesario comprender los procesos que tienen lugar en el horneado de los productos de panificación.

#### ❖ Gelatinización del almidón.

En el proceso de horneado el almidón se gelatiniza. Este proceso dependerá de la cantidad de agua disponible y de las temperaturas alcanzadas. Así en las masas con poca disponibilidad de agua los fenómenos de gelatinización pueden reducirse. En la corteza de los panes las temperaturas de gelatinización son alcanzadas y superadas muy rápidamente, con lo que únicamente se produce un ligero cambio en la estructura cristalina del almidón. Por el contrario, en la miga, donde las temperaturas de gelatinización se alcanzan más lentamente y se mantienen un mayor tiempo, unido a una elevada disponibilidad de agua, los fenómenos de gelatinización del almidón son más profundos. La gelatinización del almidón marca el punto de máxima expansión de las piezas y es fundamental a la hora de formar la textura final de la miga (Ribotta y Tadini, 2009).

#### ❖ Desnaturalización de las proteínas.

Las proteínas pierden su estructura nativa cuando alcanzan cierta temperatura, fenómeno conocido como desnaturalización. Antes de la desnaturalización las proteínas tienen una gran capacidad de retención de agua y forman una matriz en la que se incluyen los gránulos de almidón, y son las responsables principales de la reología de la masa y de la capacidad de retención de gas. A consecuencia del proceso de desnaturalización las proteínas pierden su capacidad de retención de agua, pasando esta al almidón para permitir su gelatinización (Ribotta y Tadini, 2009).

#### b) Horneado con microondas

Segun Pei (1982) el sistema convencional de horneado se puede clasificar en cuatro etapas: en una primera se produce la formación de una corteza blanca, en la segunda se transmite calor desde la corteza al interior, en la tercera ocurren los procesos de gelatinización y cocción, y en la última se produce el oscurecimiento

de la corteza. Según este esquema en el horneado con microondas las dos primeras etapas se eliminan ya que toda la masa se calienta muy rápidamente. Pei (1982) considera que el tiempo de horneado se reduce a un tercio del convencional. Sin embargo, al ser un calentamiento distinto las características de los productos obtenidos también difieren significativamente. Estas diferencias se deben a la modificación de las transformaciones físicas y químicas que se producen en la masa. Así, el rápido incremento de las temperaturas producirá una inactivación enzimática mucho más rápida que la obtenida en el horneado convencional. Debido a la importancia de las enzimas hidrolíticas, como amilasas y proteasas, tanto el almidón como las proteínas se mantendrán, en mayor medida. Las temperaturas de gelatinización del almidón y de desnaturalización de las proteínas también se alcanzaran de forma más rápida, lo que modificara estos procesos, especialmente el de gelatinización del almidón, con posibles consecuencias en la textura. De hecho las masas horneadas con microondas presentan una miga más firme, correosa y difícil de masticar (Shukla, 1993). La correosidad de la miga es uno de los mayores problemas del horneado con microondas. Esta se define como la fuerza necesaria para cortar la masa (Miller y Hosney 1997), y se sabe que se produce por cambios en la fracción almidón de las masas, al liberarse una mayor cantidad de amilosa de los gránulos (Uzzan *et al.*, 2007). Al no ascender la temperatura por encima de 100 °C en ninguna zona de la pieza, y no existir una temperatura diferenciada entre el exterior y el interior, no se producirán los fenómenos típicos que tienen lugar en panificación en la parte superficial de las piezas sometidas a un horneado convencional. Por tanto, no se formara la corteza crujiente ni se producirán las reacciones de Maillard y de caramelización de azúcares, ya que para que estas se produzcan es necesario que se superen los 150 °C, por lo que los productos presentaran un color blanquecino (Sheppard, 1989). Esta es la diferencia más evidente entre el horneado convencional y el horneado con microondas. Al incrementarse la temperatura de la masa de manera tan rápida también es posible que exista una mayor evaporación de agua del interior de las piezas, lo que conlleva una miga más seca (Steinke *et al.*, 1989; Whorton y Reineccius 1990). En el caso del

horneado de masas batidas, como las utilizadas en la elaboración de bizcochos, también se han encontrado diferencias significativas entre el horneado con microondas y el horneado convencional. Megahey *et al.*, (2005) confirmaron la mayor velocidad de calentamiento de los batidos con el horneado por microondas, y la posibilidad de reducir los tiempos de horneado hasta un 93%, además los bizcochos obtenidos presentaban pérdidas de humedad mucho más elevadas. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Lambert *et al.*, (1992), que observaron que los bizcochos horneados con microondas experimentaban mayores pérdidas de humedad en el proceso.

## **2.10 Botanas.**

Los alimentos botana también conocidos como “alimentos chatarra” tienden a ser productos con elevados contenidos de grasa, pero bajos en proteínas, vitaminas y otros nutrientes; y se definen como alimentos que se pueden consumir a cualquier hora del día (Ranhotra y Vetter, 1991). Estos productos han sido clasificados en botanas de primera generación, los cuales son productos obtenidos por combinación de temperatura y humedad (cacahuates enchilados, garapiñados, palomitas de maíz), botanas de segunda generación, en donde el producto obtenido está listo para ser consumido, un ejemplo de estos sería los “cheetos” (productos extrudidos directamente expandidos) y botanas de tercera generación, también denominados pellet, productos intermedios o semiprosesados, cuya diferencia de los de segunda generación es que durante el procesamiento solo se les da un formado y la presentación final se les da cuando el consumidor los adquiere, expandiéndolos por microondas o freído (chicarrón). Este tipo de alimentos en México son ampliamente preferidos por personas de todas las edades desde niños hasta personas de tercera edad, cuyo consumo ha sido asociado con enfermedades crónico-degenerativas como arterosclerosis, hipertensión arterial y diabetes, ya que estos alimentos tienen un elevado de grasas y almidón (Aguilera-Ortiz *et al.*, 2014).

La industria de frituras y botanas en México registró una tasa media de crecimiento de 6.9% del 2004 al 2007, según información del INEGI, cifra similar a la del crecimiento de la población. El consumo per cápita de botanas en México, es de 3.28 kg/año (INEGI, 2014). Las botanas con mayor éxito en México son las que tienen picante. Gracias a su sabor, el negocio de las botanas ha tenido un crecimiento constante en los últimos años, sin embargo, a pesar de este comportamiento, el consumo sigue siendo moderado si se compara con países desarrollados, en los Estados Unidos de América el consumo per cápita anual es de 10 kg (Aguilera-Ortiz *et al.*, 2014). En México existen 127 empresas productoras de botanas, estas empresas se localizan en el Distrito Federal (20%), Jalisco (17%) y Nuevo León (14%); el volumen de producción en el año 2010 fue de 373 mil 549 millones de toneladas para botanas dulces y saladas (Canacintra, 2014). El principal productor de botanas en México es Sabritas, con una participación del mercado de 60%, seguido de Barcel con 13.7% y con menor participación otros productores (Aguilera-Ortiz *et al.*, 2014).

El consumo de productos listos para comer, actualmente tiene un papel muy importante en el consumidor moderno, diversos productos listos para su consumo están presentes en el mercado. La mayoría de estos son fabricados a partir de algún tubérculo, particularmente papa, como son “chips” de papa, papas fritas, entre otros, además de varios productos instantáneos como gránulos de papa, papa en polvo y cubos de papa de rápida cocción (Nath y Chattopadhyay, 2008).

Sin embargo, el elevado contenido de grasa con que generalmente se fabrican, la cual al ser perjudicial para la salud humana, además de que promueve la rancidez del producto con la consecuente disminución de la vida útil del alimento (Nath y Chattopadhyay, 2008), es necesaria la aplicación de alguna tecnología alimentaria para la disminución de las problemáticas mencionadas con anterioridad.

Los alimentos tipo botana están diseñados para ser menos perecederos, mas durables y atractivos que los alimentos naturales. Diferentes tipos de botanas se encuentran disponibles, dentro de las cuales hay una nueva generación de botanas incluyendo bajas en grasa, horneadas en lugar de freídas, productos ricos en fibra, botanas cubiertas, etcétera (Mazumder *et al.*, 2007).

El crecimiento del mercado para productos como las botanas ha sido intenso, esta tendencia es reflejada globalmente ya que las botanas se han convertido en parte integral de la dieta de la población mundial, aunado a este nivel de consumo, ha existido preocupación sobre la calidad nutricional de estos productos, estas botanas son hechas predominantemente de harina de cereales o de almidones (Ainsworth *et al.*, 2007). A parte de su sabor dulce o salado, para la mayoría de los consumidores atributos como crujencia o “crispiness” es uno de los más importantes (Saeleaw *et al.*, 2012). La calidad de esta clase de productos depende de las condiciones de operación y características de la materia prima. El éxito o fracaso de una botana nueva está relacionado directamente con sus atributos sensoriales, en donde la textura presenta un papel importante (Saeleaw *et al.*, 2012).

### **2.11 Crujencia.**

En general la crujencia está caracterizada por la fractura de un material alimenticio realizada por fuerzas bajas, con eventos de fractura que pueden ser distinguidos. La emisión de sonido es un aspecto importante para percibir la crujencia y crocancia (Saeleaw y Schleining, 2011).

El sonido puede ser producido por la aplicación de una fuerza; al momento de ser ejercida, las paredes de las celdas del producto se rompen y se libera energía.

Esta generación de energía promueve el movimiento de aire, el cual es detectado y puede ser grabado (Saeleaw y Schleing, 2011). Al momento de la aplicación de una fuerza en un producto frágil, la estructura de este producto es estresada hasta un punto crítico, en el que se produce su rompimiento, y esta estructura comienza a vibrar, esta vibración es transmitida a través del aire en forma de ondas acústica, las cuales son las responsables de generar el sonido.

La crujencia es por tanto la percepción de la deformación y de los eventos suscitados durante esta a través de efectos acústicos simultáneos (Saeleaw y Schleing, 2011).

La aceptación de botanas es principalmente debido a atributos de calidad específicos que atraen al consumidor, como son apariencia, textura, sabor, color y aroma. Entre estos como ya fue mencionado la textura es una característica medular en botanas (Mazumder *et al.*, 2007).

Varios métodos para realizar la medición de textura relacionada con las propiedades sensoriales pueden proveer información sobre el comportamiento de un alimento cuando es deformado; aunque el método óptimo depende del tipo de alimento y el propósito de su medida.

El Cuadro 6, presenta algunas definiciones tanto de crujencia como de crocancia que fueron reportadas en el 2011 por Saeleaw y Schleing.

Cuadro 6. Definiciones de crujencia y crocancia (Saeleaw y Schleing, 2011).

<b>Atributo.</b>	<b>Definición.</b>
<b>Crujencia</b>	<p data-bbox="624 383 1364 412">Percepción acústica al momento de realizar el primer mordido.</p> <p data-bbox="624 450 1364 510">Sonido típico emitido al momento de deformar y romper con facilidad un material firme y frágil.</p> <p data-bbox="624 539 1364 656">La fuerza percibida cuando un producto es seccionado en dos o más piezas distintas durante una mordida simple con los incisivos. Es necesaria una abrupta y completa deformación del producto.</p> <p data-bbox="624 678 1364 734">Característica por un tejido firme con un comportamiento elástico con una fractura lineal (frutas y/o vegetales).</p> <p data-bbox="624 775 1364 857">La combinación de ruido generado al momento de fracturar un producto mediante la mordida complete de este con los molares posteriores.</p> <p data-bbox="624 898 1364 981">Textura suave y delgada que produce un rompimiento limpio con un sonido amplio cuando una fuerza es aplicada, principalmente durante una mordida con los dientes frontales.</p> <p data-bbox="624 1021 1364 1104">La combinación de un tipo de sonidos, como fracturas cortas y “cracks” largos, percibidos después de aplicar fuerza a través de la mordida.</p> <p data-bbox="624 1133 1364 1162">Evento sonoro percibido de manera clara, aguda y rápida.</p>
<b>Crocancia.</b>	<p data-bbox="624 1234 1364 1317">Sonido típico de fracturar con facilidad un producto firme y frágil. Este sonido es de menor intensidad sin embargo presenta mayor duración que el sonido de la crujencia.</p> <p data-bbox="624 1357 1364 1496">Mecanismo de complejo de quiebra, que envuelve deformaciones consecutivas y fractura de estructuras celulares (celdas). Necesariamente son subunidades de la estructura las que se deforman y fracturan mediante una masticación continua.</p> <p data-bbox="624 1536 1364 1588">Aspecto temporal sensorial regenerativo durante la masticación. Este es independiente de la dureza.</p> <p data-bbox="624 1626 1364 1677">Textura densa y dura que es fracturada sin una deformación previa.</p> <p data-bbox="624 1715 1364 1798">Fracturas posteriores a la aplicación de una fuerza elevada a un producto crujiente (primer mordida), con un sonido ligero y duradero.</p> <p data-bbox="624 1827 1364 1879">Sonidos múltiples, percibidos como una serie de pequeños eventos.</p>

En botanas, la expansión del producto, es una propiedad fundamentalmente importante, la cual describe la calidad del producto y relaciona directamente el grado de cocción o severidad del tratamiento térmico (Cheng y Friis, 2010), que a su vez puede ser correlacionada con el parámetro de crujencia de estos productos.

Un aspecto general de diversos productos alimenticios crujientes, es el hecho de ser de naturaleza celular, es decir que contienen huecos por lo regular llenos de un gas (productos crujientes secos) o líquido (productos crujientes húmedos). Algunos productos secos pueden contener líquido en los huecos, ya sea aceite o agua, por ejemplo botanas crujientes y freídas (Saeleaw *et al.*, 2012).

La crujencia es percibida a través sensaciones táctiles, kinestésicas, visuales y auditivas, representando un parámetro clave en la textura de botanas crujientes secas (Mazumder *et al.*, 2007).

Una técnica en crecimiento para realizar el análisis de un material es el uso de la emisión acústica, para detectar cambios permanentes micro-estructurales en un material. La estructura tiene un amplio efecto en el sonido producido y la percepción auditiva al momento de morder un alimento. En productos celulares secos, la onda sonora es producida por la fractura de las paredes que sucede previo al rompimiento completo del material (Saeleaw *et al.*, 2012).

Diversos investigadores coinciden en que la crujencia es el resultado de las propiedades estructurales de un alimento, indicando que un producto crujiente se rompe en varias piezas al momento de ser masticado, y su calidad está afectada por el tamaño de celdas de aire y espesor de las paredes de dichas celdas, por lo

que la estructura muestra un amplio impacto en los sonidos producidos al morder productos con textura crujiente o fracturable (Saeleaw *et al.*, 2012).

### **3. JUSTIFICACIÓN**

---

Actualmente existe preocupación por parte de la población por problemas de salud, diversas enfermedades (diabetes, obesidad, cáncer, problemas cardiovasculares) están relacionadas con el consumo de alimentos; ya sea que estos padecimientos sean promovidos por su consumo, o que la ingesta de estos ayude en su prevención y control. Alimentos ricos en almidón que han sido calentados y enfriados a menudo contienen cantidades substanciales de almidón retrogradado. Por lo que el consumo de almidón resistente puede ser benéfico para la salud.

Las botanas son una industria que abarca diversos mercados, en México son ampliamente consumidas sin importar el estatus social o la edad, este tipo de productos, presentan ventajas técnicas, de costo y una alta versatilidad; son un tipo de alimento que puede consumirse a cualquier hora del día, y generalmente son reconocidas como elementos alimenticios con poco valor nutricional.

Las materias primas utilizadas en la elaboración de botanas son regularmente algunos cereales o tubérculos almidonosos, donde en ocasiones son enriquecidas con fuentes proteicas o compuestos que realcen la calidad nutricional de estos productos. El proceso de horneado por microondas ha mostrado un incremento en su utilización para la fabricación y generación de diversos tipos de alimentos. Con el proceso de radiación de microondas es posible fabricar botanas bajas en grasa y con la presencia de almidón no digerible, que es comparable a la fibra dietética además de no contribuir calóricamente a la dieta.

Por otra parte a pesar del contenido nutricional de los tubérculos, su uso y consumo por lo general están limitados, debido al hecho de que son sujetos a amplias pérdidas nutricionales post-cosecha por su alto contenido de humedad, metabolismo sostenido y el ataque microbiano, llevando a un consecuente daño durante la recolección y almacenamiento. Esta problemática puede ser

solucionada con la conversión de los tubérculos de un producto perecedero a un producto no perecedero, a través de operaciones de procesado de alimentos con el objetivo de la obtención de nuevos productos alimenticios. Los alimentos tipo botana están diseñados para ser más durables y atractivos que los alimentos naturales.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía, las ventas de botanas se han duplicado en los últimos 5 años al pasar de 25.341 millones de pesos en 2007, a un total de 50.875 millones de pesos en 2012 y en el último lustro el volumen aumentó 14.3%. Adicional a lo mencionado con anterioridad, el día 19 de agosto de 2013, El periódico de circulación nacional "El Financiero" publicó, que el mercado de botanas aumentará en más de una tercera parte su valor entre 2012 y 2017, ya que hacia 2017 las papas fritas, chicharrones y palomitas generarán ingresos de 4.143 millones de dólares, 33.5% más comparados con los 3.143 millones de dólares del 2012. Por otra parte empresas como Sabritas, pretenden mantenerse vigentes en el mercado de las botanas al invertir en Institutos especializados en investigación de botanas como el Centro Global de Innovación en Horneados y Nutrición propiedad de Pepsico.

En este sentido, radica la importancia de realizar investigaciones direccionadas hacia la obtención de productos alimenticios de fuentes alternativas de materia prima como es el caso del chayotextle, además de la inherente necesidad de promover la fabricación de productos con una calidad nutricional mayor, que puede ser alcanzada a través de tecnología como el horneado por microondas.

## 4. OBJETIVOS

---

### 4.1 Objetivo general.

Caracterizar las propiedades físicas y químicas de las botanas horneadas por microondas que se obtengan con harina del tubérculo de papa dulce (*Ipomoea batatas*) y de chayotextle (*Scheium edule*) adicionadas con soya, para obtener la mejor formulación para la elaboración de estas.

### 4.2 Objetivos específicos.

- Evaluar las características físicas ( $Exp.$ ,  $\rho_{apr.}$ ,  $ISA.$ ,  $IAA$ ) de los productos obtenidos de las diferentes mezclas analizadas.
- Efectuar el análisis de la emisión acústica del producto al momento de su fractura, a través de la evaluación de pruebas texturales para obtener la dureza, crujencia y crocancia.
- Realizar el análisis sensorial de la botana obtenida a través de un panel de integrantes entrenados.
- Valorar la digestibilidad del almidón presente en la botana obtenida.

## **5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

---

El consumo de productos listos para comer actualmente tiene un papel muy importante en el consumidor moderno, diversas botanas están presentes en el mercado. La mayoría de estas son fabricadas a partir de algún tubérculo, particularmente papa, como son “chips”, papas fritas, entre otros, además de varios productos instantáneos como gránulos de papa, papa en polvo y cubos de papa de rápida cocción (Nath y Chattopadhyay, 2008).

Aunque el elevado contenido de grasa con que generalmente se fabrican, resulta perjudicial para la salud humana, además de que promueve la rancidez del producto con la consecuente disminución de la vida útil del alimento (Nath y Chattopadhyay, 2008). Motivo por el cual diferentes tipos de botanas se encuentran disponibles, dentro de las cuales hay una nueva generación de botanas incluyendo bajas en grasa, horneadas en lugar de fritas, productos ricos en fibra, botanas cubiertas, etcétera (Mazumder *et al.*, 2007). Adicional a lo previamente mencionado, existe una mayor exigencia por parte del público consumidor de obtener alimentos sin la adición de aditivos sintéticos, disminuyendo los tratamientos químicos (Ortega y Ojeda, 2001).

Actualmente el uso de calentamiento por microondas tiene vastas aplicaciones en el ámbito de procesamiento de alimentos. Entre las aplicaciones de calentamiento por microondas se encuentran el secado, pasteurización, esterilización, deshelado, atemperado, horneado, etc. El uso de microondas ha ganado popularidad en el proceso de productos alimenticios debido a la posibilidad de alcanzar una amplia variedad de temperaturas, una reducción significativa en los tiempos de cocción, mayor uniformidad en la distribución de calor, manipulación segura, fácil operación y bajo costo de mantenimiento (Chandrasekaran *et al.*, 2013).

## 6. HIPÓTESIS

---

Es posible utilizar harina obtenida de tubérculo de chayote (*Sechium edule*) como materia prima para la fabricación de un alimento tipo botana crujiente y crocante, utilizando la radiación por microondas para su elaboración.

## 7. MÉTODO.

---

### 7.1 Materiales y Métodos.

#### 7.1.1 Materia Prima.

Como materia prima fundamental para el presente trabajo, se utilizó harina de chayotextle (Figura 7) fabricada en los laboratorios del Centro en Investigación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.



Figura 7. Chayotextle recolectado en Tulancingo, Hidalgo. México.

Adicional a la harina de chayotextle, se utilizó harina de papa dulce (*Ipomoea batatas*), marca “Baker & Chefs” lote 002977003, con la que se elaboraron chips; para realizar la comparación del comportamiento textural y acústico entre chips de chayotextle y chips de papa dulce, además se empleó harina desgrasada de soya marca “Dul-Cerel” lote 10112, con la cual se realizó la sustitución de soya en la formulación con la que se elaboraron los chips de chayotextle.

## **7.2 Obtención del harina de chayotextle (*Sechium edule Sw.*).**

Tubérculo de chayote adquirido en la zona comercial “Central de abastos” de la ciudad de Tulancingo de Bravo, Hidalgo, fue utilizado para la obtención del harina de chayotextle (*Sechium edule Sw.*).

La metodología utilizada fue una modificación a la empleada por Hernández-Uribe *et al.*, en 2011, para la extracción de almidón del tubérculo, debido a que en el presente estudio fue usada harina con todos los constituyentes del tubérculo, donde una cantidad de 23.142 kg del tubérculo se lavo y seccionó en rodajas con un espesor aproximado de 2-3 mm. Posteriormente fue realizada una deshidratación en un deshidratador por convección a 45 °C por 24 h, para posteriormente realizar un proceso de molienda en una licuadora marca Moulinex modelo D12, finalmente se tamizó en una malla número 120. Después al molido, el polvo obtenido fue recolectado, pesado y almacenado en bolsas plásticas con cierre hermético para su posterior utilización.

## **7.3 Preparación de la Materia Prima.**

Fueron preparadas mezclas de harina de chayotextle, con sustitución de harina de soya de acuerdo a la metodología propuesta por (Nath y Chattopadhyay, 2008) en porcentajes de 95-5%, 90-10%, 85-15%, 80-20% y 75-25% respectivamente para posteriormente efectuar el proceso de horneado.

#### **7.4 Análisis químico proximal de harinas.**

El análisis químico proximal se realizó en la harina de chayotextle, de acuerdo a la metodología de la AOAC, 1999; determinando el contenido de proteína (979.09), grasa (923.05), cenizas (923.03), humedad (925.09) y fibra cruda (962.09). El contenido de hidratos de carbono fue calculado por diferencia de los demás componentes.

#### **7.5 Análisis de perfil de textura de masas.**

Para efectuar la prueba fue usada la metodología propuesta por Güemes-Vera en 2004, en la masa previo al proceso de horneado, para la medición de estos parámetros texturales, utilizando un texturómetro Brookfield, la cual consistió en una doble compresión con una sonda de aluminio de 36 mm de diámetro, a una masa en forma de esfera con un peso de 20 g, por triplicado para cada una de las formulaciones empleadas en la elaboración de las botanas, la compresión generó una deformación del 20% del material, obteniendo los parámetros de dureza, adhesividad y cohesividad. Durante el proceso de compresión y retirada, es obtenida la curva de fuerza en función de la distancia o tiempo. La forma de la curva depende de las propiedades cohesivas y adhesivas del material.

#### **7.6 Condiciones del proceso de horneado.**

A base de análisis previos experimentales, el horneado de las botanas se hizo en un horno de microondas comercial marca LG, el cual contaba de una geometría poliédrica de seis caras, en la cavidad de horneado con dimensiones 29 cm de longitud, 18 cm de altura y 25 cm de profundidad (Figura 8), con potencia de 950

W y frecuencia de 2450 MHz de acuerdo a las especificaciones técnicas del equipo.

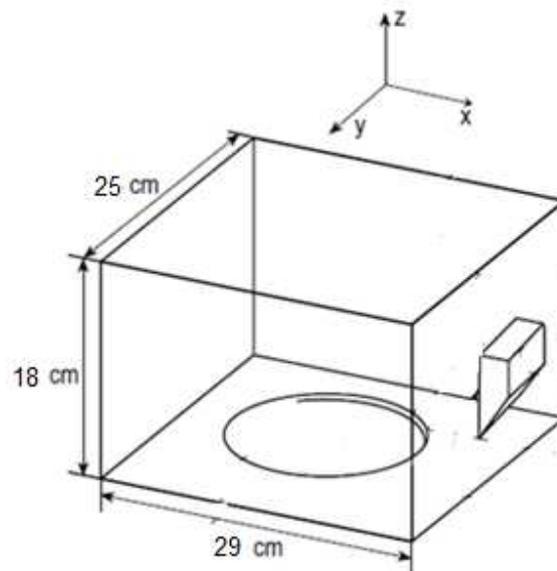


Figura 8. Esquematización de las dimensiones del horno de microondas empleado.

Previo al horneado, de las mezclas de harina de chayotextle con harina de soya, se tomaron 50 g de cada una, a los cuales les fueron adicionados 50 mL de agua destilada, para la formación de masas, de las cuales, se formaron discos con un diámetro de 5.5cm y 1mm de espesor, los cuales fueron sujetos al proceso de horneado.

Las muestras al momento de ser horneadas se colocaron en el centro geométrico de la cavidad de horneado en bolsas poliméricas comerciales marca "Ziploc". Tanto las botanas de papa como las de chayotextle fueron horneadas durante 50 segundos a nivel máximo de potencia del horno de microondas (950 W).

## 7.7 Caracterización de las botanas

### 7.7.1 Humedad y actividad de agua de las botanas.

El contenido de humedad fue determinado de acuerdo a la metodología de la AOAC, 1999; (método 950.46). Mientras en lo referente a la actividad de agua ( $a_w$ ), se utilizó un higroscopio marca Hygropalm con precisión de  $\pm 0.001$  de  $a_w$ .

### 7.7.2 Índice de Expansión.

El índice de expansión ( $Exp$ ) de las botanas se calculó, con una modificación de acuerdo al método reportado por Lazou y Krokida en 2010, dividiendo el diámetro del producto horneado ( $d$ ) y el diámetro del producto previo al horneado ( $d_0$ ), el resultado fue la media de quince replicas, la medición de ambos diámetros efectuados con el empleo de un vernier digital marca Fowler.

$$Exp = \frac{d}{d_0} [2]$$

### 7.7.3 Densidad Aparente.

La densidad aparente ( $\rho_{apr}$ ) fue determinada por la medición de las dimensiones de los productos horneados, a través de la ecuación tomada de Lazou y Krokida en 2010.

$$\rho_{apr} = \frac{4m}{\pi d^2 L} [3]$$

Donde  $m$  es la masa de las muestras en gramos,  $d$  es el diámetro (mm) y  $L$  es la longitud (mm) de las botanas horneadas, los resultados fueron la media aritmética de quince replicas.

#### **7.7.4 Índice de absorción de agua.**

El cálculo del índice de absorción de agua (IAA) se realizó en los productos horneados a través de la metodología propuesta por Anderson y colaboradores en 1969, tomada de Rodríguez-Miranda *et al.*, en 2011. Consistente en el cálculo de ganancia de una porción acuosa por parte de la muestra después de ser suspendida y agitada. Un gramo de botana fue hecho harina, la cual fue dispersada en 10 mL de agua destilada a temperatura ambiente, a la suspensión obtenida se agitó suavemente por 30 minutos, posteriormente esta fue centrifugada a 1500 rpm durante 15 min en una centrifuga marca HERMLE modelo Z326K, el sobrenadante fue decantado y el sedimento fue pesado, el IAA fue calculado con el aumento en el peso, reportado en gramos de agua absorbida.

#### **7.7.5 Índice de solubilidad en agua.**

El índice de solubilidad de agua (ISA) de igual manera que el IAA, fue medido a través de la metodología propuesta por Anderson y colaboradores en 1969, tomada de Rodríguez-Miranda *et al.*, en 2011. En la cual, la parte líquida decantada en lo descrito anteriormente, fue colocada en un plato de evaporación previamente tarado, colocándolo en una estufa de secado a 100 °C por un periodo de 24 h para la completa evaporación del contenido de agua, el ISA fue el peso de los sólidos secos presentes en el sobrenadante expresados como el porcentaje del peso original de la muestra (1 g), calculados mediante el aumento de peso del plato de evaporación.

### **7.7.6 Color de las botanas.**

La determinación de color de las botanas horneadas se llevo a cabo con la utilización de un colorímetro Minolta CM-508D con el cual se obtuvieron los parámetros colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , donde  $L^*$  es el valor que representa la luminosidad, lo cual se refiere a la claridad u oscuridad del producto, con valores de 100 para un producto perfectamente blanco y 0 para un producto totalmente negro; los espectros cromaticidad rojo a verde y amarillo a azul son representados por los valores de  $a^*$  y  $b^*$  (+60 a -60) respectivamente, el color de las muestras fue medido después de moler estas hasta alcanzar la textura de un polvo que fue vertido de manera uniforme hasta la obtención de una superficie plana.

### **7.7.7 Prueba de fractura en las botanas, acoplada a la evaluación acústica.**

La propiedad mecánica destructiva en las botanas horneadas se realizó a través de modificaciones a la metodología usada por Varela en 2009, con el empleo de un texturómetro Brookfield, utilizando una sonda de 2 mm de diámetro obteniendo el parámetro de dureza (valor más elevado de fuerza en kgf) necesaria para fracturar el material, la cantidad de fracturas obtenidas y el trabajo necesario para realizar la primer fractura del material (mJ), la velocidad de la prueba fue de 5 mm/s y una distancia a recorrer de 2 mm, de la cual se obtuvo un gráfico fuerza-tiempo.

La emisión acústica fue medida simultáneamente a la prueba de fractura de las botanas, en la cual un decibelímetro de alta fidelidad modelo HER-400 marca Steren se uso posicionado a una distancia de 3 cm y un ángulo de inclinación de 0° referente a la muestra, conforme a la metodología empleada por Saeleaw y Schleining en el 2011, donde fueron obtenidas, la señal de sonido máxima en db, número de señales percibidas y valor medio de sonido en db. Debido a que en los

estudios realizados previamente, los micrófonos usados para realizar la evaluación sonora, se encontraban conectados a los diferentes texturómetros utilizados, para eliminar las interferencias acústicas que se generaron al momento de realizar la prueba. Sin embargo en esta investigación, para eliminar la posibilidad de interferencias sonoras durante esta prueba, fue realizada la construcción de una funda cubica aislante a sonidos externos, con poliestireno de densidad  $12 \text{ kg/m}^3$ , recubierta con cajas cónicas de cartón, para minimizar el rebote de las ondas sonoras; y con esto generar menor interferencia en el decibelímetro al momento de obtener los parámetros acústicos mencionados previamente, la funda cubica aislante cubrió al texturómetro en cada una de las pruebas texturales que se efectuaron.

#### **7.7.8 Análisis sensorial.**

Un panel consistente de 7 jueces entrenados conforme Chauvin *et al.*, 2008; y Varela *et al.*, 2009, con un entrenamiento de 20 horas, participaron en el análisis descriptivo de las botanas con la mejor formulación, en el laboratorio de Análisis Especiales del Centro en Investigación en Ciencia y Tecnología de los Alimentos del Instituto de Ciencias Agropecuarias, en el cual se evaluaron la crujencia y crocancia del producto, además del número de fracturas percibidas por cada integrante del panel. El cuestionario utilizado para esta prueba se observa en la Figura 9.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS**

**INSTRUCCIONES:**

Usted evaluará dos muestras alimenticias tipo "Chip" (a y b).  
No pregunte a los demás.

(1) Por favor mencione que muestra fue más crujiente.

\_\_\_\_\_

(2) Explique el por qué de su respuesta.

\_\_\_\_\_

(3) Por favor mencione que muestra fue más crocante.

\_\_\_\_\_

(4) Explique el por qué de su respuesta.

\_\_\_\_\_

(5) Indique el número de fracturas que percibió.

\_\_\_\_\_

**MUCHAS GRACIAS POR SU AYUDA.**

Figura 9. Cuestionario utilizado en la evaluación sensorial.

### **7.7.9 Análisis químico proximal de botanas.**

El análisis químico proximal fue llevado a cabo en las botanas horneadas obtenidas de harina de chayotextle con la mejor formulación conforme los resultados de las demás pruebas experimentales, de acuerdo a la metodología de la AOAC, 1999; se determinó el contenido de proteína (979.09), grasa (923.05), cenizas (923.03), humedad (925.09) y fibra cruda (962.09). El contenido de hidratos de carbono fue calculado por diferencia de los demás componentes.

### **7.7.10 Digestibilidad del almidón.**

La digestibilidad de las muestras se determinó usando un kit de Megazyme para almidón resistente de acuerdo a la metodología utilizada por Ramírez-Rangel en el 2012, basado en el método 2002.02 de la AOAC y el método 32-40 de la AACC.

### **7.7.11 Hidrólisis del almidón no resistente en las muestras.**

A 100 mg de muestra de producto se adicionaron 4 mL de  $\alpha$ -amilasa pancreática (3 Ceralpha U/mg). Se incubaron durante 16 h a 37 °C en un baño horizontal con 200 golpes/min, alineando las muestras en la dirección del movimiento. Finalizadas las 16 h de incubación, las muestras se trataron con 4 mL de etanol (99 %v/v) para centrifugar a 1500 g por 10 min. Eliminando el sobrenadante, que fue resuspendido en 2 mL de etanol (50 %v/v), mezclando con 6 mL de etanol (50 %v/v) y se centrifugó a 1500 g por 10 min. Fue decantado el sobrenadante; la etapa de centrifugación se efectuó una vez más. Esta determinación fue realizada por triplicado.

**Control.** Se realizó una muestra control, la cual se peso por triplicado, 100 mg de almidón resistente y fueron tratados con las mismas condiciones que las muestras.

#### **7.7.11.1 Medición de almidón resistente.**

Después de la hidrólisis del almidón, los tubos con la muestra fueron colocados en un baño con hielo y se adicionaron 2 mL de KOH 2 M, dejando en el baño con hielo por 20 min con agitación vigorosa. Se retiraron del baño para añadir 8 mL de solución buffer de acetato de sodio 1.2 M pH 3.8, inmediatamente después se adicionaron 100  $\mu$ L de amiloglucosidasa (3300 U/mL), fue homogenizada y colocada en un baño a 50 °C con agitación constante por 30 min. A continuación, fueron tomadas alícuotas de 100  $\mu$ L adicionando 3 mL del reactivo GOPOD (Glucosaoxidasa >12000 U, peroxidasa >650 U) y fueron incubadas a 50 °C por 20 min. Posteriormente, se midió la absorbancia a 510 nm frente a un blanco (100  $\mu$ L de solución buffer de acetato de sodio 100 mM pH 4.5 adicionados con 3 mL de reactivo GOPOD incubado a 50 °C por 20 min) y también se midió la absorbancia

a 510 nm frente el estándar de D-glucosa (100 µL adicionados con 3 mL de reactivo GOPOD incubada a 50 °C por 20 min).

Para determinar el valor de almidón resistente se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Almidón resistente} = \Delta E \times \left(\frac{F}{W}\right) 9.27 \text{ [4]}$$

Donde  $\Delta E$  es la absorbancia leída frente al blanco, F es la conversión de absorbancia a microgramos (100 dividido entre la absorbancia de GOPOD), W es el peso de la muestra analizada; y 9.27 es el factor para muestras que contienen menos del 10% de almidón resistente, con el cual se hace la conversión de D-glucosa a anhidro D-glucosa, la corrección de volumen y la conversión de microgramos a miligramos.

#### **7.7.11.2 Medición de almidón no resistente.**

Los sobrenadantes de cada repetición obtenidos en las centrifugaciones obtenidas anteriormente, con etanol al 90% y 50 % v/v se mezclaron y se ajustaron a un volumen de 100 mL con regulador de acetato de sodio 100 mM pH 4.5. Fue incubada una alícuota de 100 µL de esta solución (por triplicado) con 10 µL de amiloglucosidasa (300 U/mL) diluida en regulador de maleato de sodio 100 mM pH 6 durante 20 min a 50 °C. Posteriormente se adicionó 3 mL del reactivo GOPOD y nuevamente se incubó 20 min a 50 °C. Finalmente fue medida la absorbancia a 510 nm contra el blanco reactivo y el estándar de D-glucosa.

## **7.8 Análisis estadístico.**

Los datos que fueron obtenidos para dureza, adhesividad y cohesividad en masas; humedad, actividad de agua, índice de expansión, densidad aparente, índice de solubilidad de agua, índice de absorción de agua, color, dureza, cantidad de fracturas, trabajo en la primer fractura, nivel máximo de decibeles, cantidad de incidentes sonoros y media de decibeles en botas, fueron analizados bajo un diseño experimental completamente al azar, con 15 réplicas cada uno, realizando el análisis de varianza (anova) y prueba de comparación de medias de Duncan con una probabilidad de  $p < 0.05$  para cada variable con el programa estadístico NCSS 2007, por otra parte en lo referente al análisis sensorial, los datos obtenidos fueron analizados bajo un diseño experimental completamente al azar, con 105 repeticiones cada uno, realizando el análisis de varianza (anova) y prueba de comparación de medias de Diferencia mínima significativa con una probabilidad de  $p < 0.05$  para cada variable con el programa estadístico NCSS 2007.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

---

### 8.1 Análisis químico proximal de harina de chayotextle.

El Cuadro 7 presenta los resultados obtenidos de la harina de chayotextle a través del análisis químico proximal, el contenido de hidratos de carbono fueron calculados por diferencia de los demás componentes.

Cuadro 7. Composición proximal de harina de chayotextle (g/100g).

Fuente	Humedad	Proteína	Grasa	Ceniza	Hidratos de carbono
Harina	7.70 ± 0.246	9.19 ± 0.220	1.03 ± 0.054	6.21 ± 0.130	75.86 ± 0.000

De acuerdo con Aila- Suárez *et al.*, (2013), el tubérculo de chayote presenta un contenido de humedad de 74.2% mientras que de sólidos tiene una cantidad aproximada de 25.8%. Del porcentaje de sólidos existentes en el tubérculo de chayote, Ramírez-Rangel en 2012, reportó que 85.5% de estos corresponden a carbohidratos. En lo referente al contenido de lípidico y proteico esta reportado en la literatura que los porcentajes se encuentran en 0.16 y 0.29% respectivamente (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007). Adicional a lo anterior existen reportes de que el contenido proteico de chayotextle es de 10.35% en base seca (Ramírez-Rangel, 2012), lo cual es consistente con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, con un contenido proteico de 9.19%, 1.03% de grasa y 75.86% de carbohidratos. A través de los resultados obtenidos se genera la posibilidad de elaborar una botana con chayotextle, debido a que generalmente los alimentos tipo botana son elaborados con materias primas con alto contenido de carbohidratos, mientras que por otra parte al tener un contenido proteico elevado (9.19%), esto en comparación con Hoover en 2001, ya que reporta que generalmente los tubérculos usados en la elaboración de botanas presentan un

contenido proteico de <4%, por lo cual se crea la posibilidad de emplear una materia prima con ventajas nutricionales por una parte, y por otra, esta adición proteica, permite la mayor retención de humedad (Cuadro 8), lo cual puede ayuda a la expansión de productos tipo botana al momento de ser horneados.

Previo al análisis químico proximal, fue realizada la determinación de humedad y actividad de agua a las mezclas de harina realizadas, utilizando como control harina de papa (Cuadro 8), estadísticamente no existe diferencia significativa en lo referente la humedad y tampoco a la actividad de agua entre las diferentes sustituciones de harina de chayotextle con harina de soya, a diferencia de la humedad y actividad de agua con la harina de papa, sin embargo, estos influyen en las propiedades reológicas de las alimentos tanto en estado sólido como líquido, en estado líquido afecta la viscosidad y consistencia, mientras que en estado sólido afecta el comportamiento del alimento a la aplicación de fuerzas (Lewicki, 2004; Marzec *et al.*, 2007), además de influir en la calidad textural final de productos horneados, modificando su porosidad, suavidad, (Primo-Martín *et al.*, 2009). A través de los resultados obtenidos de las harinas, se generan masas más viscosas y menos consistentes a mayor contenido de humedad y actividades de agua más elevadas, mientras que con la disminución de contenido de humedad y actividades de agua más pequeñas, las masas son más duras y difíciles de manejar, lo cual se ve reflejado a través del análisis de perfil de textura de masas (Cuadro 9).

Cuadro 8. Humedad y actividad de agua de las mezclas de harinas.

Harina	Humedad %	$a_w$
Papa	12.03 ± 0.131 <sup>c</sup>	0.415 ± 0.002 <sup>a</sup>
Chayotextle-soya 5%	7.55 ± 0.146 <sup>a</sup>	0.315 ± 0.003 <sup>b</sup>
Chayotextle-soya 10%	7.88 ± 0.192 <sup>a</sup>	0.322 ± 0.000 <sup>b</sup>
Chayotextle soya 15%	8.24 ± 0.183 <sup>a</sup>	0.325 ± 0.003 <sup>b</sup>
Chayotextle-soya 20%	8.43 ± 0.153 <sup>ab</sup>	0.333 ± 0.003 <sup>b</sup>
Chayotextle-soya 25%	9.30 ± 0.154 <sup>b</sup>	0.342 ± 0.002 <sup>b</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan (p<0.05)).

## 8.2 Análisis de perfil de textura de masas.

El Cuadro 9 muestra que existe una tendencia a incrementar la dureza y la adhesividad, por otra parte la cohesividad disminuye en lo que concierne a las masas de chayotextle; conforme se aumenta el contenido de harina de soya en las masas.

Cuadro 9. Análisis de perfil de textura en masas.

Masa	Dureza (kgf)	Adhesividad (mJ)	Cohesividad (-)
<b>Papa</b>	2.997 ± 0.439 <sup>a</sup>	14.260 ± 0.678 <sup>a</sup>	0.025 ± 0.021 <sup>a</sup>
<b>5%</b>	1.654 ± 0.060 <sup>b</sup>	5.835 ± 0.007 <sup>b</sup>	0.350 ± 0.003 <sup>b</sup>
<b>10%</b>	1.683 ± 0.016 <sup>bc</sup>	7.135 ± 0.318 <sup>b</sup>	0.330 ± 0.028 <sup>b</sup>
<b>15%</b>	2.023 ± 0.102 <sup>bc</sup>	9.760 ± 0.791 <sup>c</sup>	0.325 ± 0.007 <sup>b</sup>
<b>20%</b>	2.128 ± 0.017 <sup>bc</sup>	10.740 ± 1.152 <sup>c</sup>	0.325 ± 0.007 <sup>b</sup>
<b>25%</b>	2.289 ± 0.011 <sup>c</sup>	10.985 ± 0.742 <sup>c</sup>	0.320 ± 0.014 <sup>b</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan (p<0.05)).

En cuanto a la dureza, la que presentó una mayor dureza (2.289 kgf), fue aquella con una sustitución de 25%; mientras que en la adhesividad, de igual manera, la que mostró mayor adhesividad (10.985 mJ) fue aquella sustituida con 25%; para la cohesividad, caso contrario a lo observado en cuanto a dureza y adhesividad, existió un ligero decremento en la cohesividad conforme aumentaba la sustitución de harina de soya, siendo la sustitución de 5 % la que exhibió cohesividad más elevada (0.350 (-)). Nath y Chattopadhyay en 2007, reportan que al aumentar harina de soya en la elaboración de una botana a base de papa aumenta la dureza del producto final, estos autores en su investigación presentan valores de 3.605 kgf y 3.150 kgf para botanas de papa con 20% y 15% de harina de soya respectivamente, esto lo explican de acuerdo al modelo matemático usado en su estudio, indicando una dependencia lineal con la dureza con respecto al incremento en el contenido de harina de soya, atribuyendo este incremento de

dureza por la formación de una estructura fibrosa de la proteína de soya y su alineamiento (Bressani *et al.*, 1974). Lo cual es consistente con los resultados obtenidos en el presente estudio, al incrementar el contenido de harina de soya, se incrementó la dureza de las masas, indicando una formación estructural mas organizada por el posible alineamiento de las proteínas presentes en la soya, lo cual es consistente con Kulkarni *et al.*, (2007), ya que reporta que al incrementar harina de soya, aumenta la dureza (0.076 a 0.122 kgf) de la materia prima para elaborar extrudidos. Sin embargo, en la presente investigación conforme los datos obtenidos experimentalmente, no existe diferencia estadística en cuanto a dureza en las masas con una sustitución de 5 a 20% de harina de soya, y en aquellas con una sustitución de 10 a 25% de harina de soya, mientras que existe una diferencia estadística entre la masa de papa con todas las masas de chayotextle sustituidas en las diferentes porcentajes con harina de soya. Por lo que es de esperar que al aumentar la dureza de las masas, el producto final obtenido también presentará mayor dureza conforme tiene mayor contenido de harina de soya.

### **8.3 Caracterización de las botanas.**

#### **8.3.1 Humedad y actividad de agua de botanas.**

El Cuadro 10 presenta los resultados obtenidos de la humedad y  $a_w$  de las botanas, observando que al incrementar el contenido de harina de soya, tanto la humedad como la  $a_w$ , aumentan.

Cuadro 10. Humedad y actividad de agua de botanas.

Chip	Humedad %	$a_w$
<b>Papa</b>	12.03 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.415 ± 0.002 <sup>a</sup>
<b>5%</b>	7.55 ± 0.44 <sup>b</sup>	0.315 ± 0.003 <sup>b</sup>
<b>10%</b>	7.88 ± 0.89 <sup>bc</sup>	0.322 ± 0.005 <sup>bc</sup>
<b>15%</b>	8.24 ± 0.18 <sup>bc</sup>	0.325 ± 0.003 <sup>cd</sup>
<b>20%</b>	8.43 ± 0.25 <sup>c</sup>	0.333 ± 0.003 <sup>d</sup>
<b>25%</b>	9.30 ± 1.15 <sup>c</sup>	0.342 ± 0.002 <sup>e</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan (p<0.05)).

Desde este enfoque, además de que existen diversos estudios en donde relacionan a la humedad y la  $a_w$  con parámetros como crujencia y crocancia, coincidiendo estos trabajos de investigación en que al aumentar la cantidad de humedad en un alimentos horneados, su crujencia y crocancia disminuyen. De acuerdo con Salvador *et al.*, en 2009, al evaluar botanas con humedades de 1.5 a 3.0%, encontraron que conforme la humedad era menor, al momento de evaluar la textura se generaban curvas de deformación con mayor número de fracturas (8.4(-)) en comparación con aquellas de menor humedad que exhibieron menor cantidad de fracturas (2.0(-)); desafortunadamente no evaluaron como incrementaba la humedad al adicionar algún aditivo, ya que su estudio se enfocó en la evaluación de botanas comerciales. En otro estudio hecho por Mazumder *et al.*, en 2007, reporta que el contenido de humedad en botanas esféricas de maíz, afecta la fracturabilidad de estas, este autor menciona que la firmeza y el número de fracturas están en función de la humedad de la botana, de manera similar a Salvador *et al.*, 2009, encontraron que el incremento de humedad (9%) generó menor firmeza (3.5 N/mm) en las botanas, sin embargo, al aumentar el contenido de humedad (9%) disminuyó el número de fracturas (2.0(-)); tanto el trabajo de Salvador *et al.*, en 2009, como el de Mazumder *et al.*, en 2007, exhiben concordancia con los resultados obtenidos en la evaluación de crujencia y

crocacia a través de la evaluación de las botanas de chayotextle, conforme la humedad fue disminuida, tanto la crujencia como la crocancia se percibieron más.

La determinación de actividad de agua, tiene la utilidad de predecir las propiedades mecánicas de las botanas, al estar afectadas por el contenido de humedad. Gondek y Lewicki en 2006, reportan que el contenido de agua en botanas afecta a la crujencia, en este estudio evaluaron cereal tipo hojuela, y obtuvieron que a actividades de agua de 0.2 la firmeza era de 25 N, mientras que en actividades de agua de 0.8 la firmeza era de 0.25 N, y esto se lo atribuyen al efecto plastificante del agua; en este aspecto nuevamente existe similitud en la evaluación de la firmeza de las botanas de chayotextle, ya que el incremento de actividad de agua exhibe decremento en la dureza de estas.

### 8.3.2 Índice de Expansión.

El Cuadro 11 presenta los resultados del índice de expansión, observando que al incrementar el contenido de harina de soya, este disminuye.

Cuadro 11. Resultados obtenidos del parámetro de Índice de expansión.

Botana	Índice de expansión (-)
5%	1.45 ± 0.204 <sup>c</sup>
10%	1.32 ± 0.141 <sup>b</sup>
15%	1.31 ± 0.051 <sup>b</sup>
20%	1.30 ± 0.070 <sup>b</sup>
25%	1.28 ± 0.050 <sup>ab</sup>
Papa	1.18 ± 0.038 <sup>a</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan (p<0.05)).

Dentro de los factores principales que afecta la expansión de botanas, se encuentran la temperatura de horneado, contenido inicial del material y el contenido de almidón nativo en la materia prima; la expansión es el resultado de la conversión de agua en vapor de agua, causando el inflado del material al momento de ser horneado (Nath y Chattopadhyay, 2008). Sin embargo, lo anterior no se ve reflejado conforme al incremento en la cantidad de humedad con la adición de harina de soya, generando materia prima con mayor disponibilidad de agua que pueda ser transformado a vapor de agua, esto puede ser explicado debido a que al incorporar harina de soya en la formulación de la materia prima para fabricar la botana, se incrementa el contenido proteico, lo cual genera botanas con menor expansión, de acuerdo con Lazou y Krokida en 2010, la expansión de botanas elaboradas con maíz y leguminosa (lenteja), el índice de expansión disminuye al aumentar el contenido de humedad y al incrementar el contenido de leguminosa. De manera similar Nath y Chattopadhyay en 2008, reportan que se obtienen productos con índices de expansión menores al adicionar mayor cantidad de harina de soya en la fabricación de botanas a partir de harinas de papa y soya. El índice de expansión se encontró en un intervalo de 1.28 (-) (chayotextle adicionado al 25%) a 1.45 (-) (chayotextle adicionado al 5%). Adicional a lo anterior, la calidad de expansión de botanas es juzgada a través de la crujencia de estas (Saeleaw *et al.*, 2012). Esto es atribuido a la propiedad funcional de las proteínas, de hidratación, a través de los aminoácidos presentes en estas, por medio de interacciones moleculares ion-dipolo, donde el agua ( $H_2O$ ), interactúa de manera polar ( $H^+$ ,  $OH^-$ ) con los grupos cargados ( $NH_2^+$ ,  $COO^-$ ) de los aminoácidos presentes en las proteínas, lo cual puede explicar que el incremento en el contenido de harina de soya genera botanas con mayor humedad, pero a la vez una menor expansión de los productos debido a que el agua que interactúa con los aminoácidos presentes en ésta, no permiten su total evaporación y por ende una menor expansión.

### 8.3.3 Densidad Aparente.

Si se contrastan los resultados obtenidos del índice de expansión y de la densidad aparente, es posible visualizar que son parámetros inversos, es decir, al aumentar la densidad aparente, el índice de expansión tiende a disminuir, con lo cual se puede interpretar, que productos menos expandidos son productos con mayor compactación y por ende más densos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resultados obtenidos del parámetro de Densidad aparente.

<b>Botana</b>	<b>Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>5%</b>	1.51E-02 ± 0.003 <sup>a</sup>
<b>10%</b>	1.87E-02 ± 0.003 <sup>ab</sup>
<b>15%</b>	2.09E-02 ± 0.005 <sup>ab</sup>
<b>20%</b>	2.28E-02 ± 0.006 <sup>b</sup>
<b>25%</b>	3.06E-02 ± 0.010 <sup>c</sup>
<b>Papa</b>	3.08E-02 ± 0.008 <sup>c</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan ( $p < 0.05$ )).

De acuerdo con Anton *et al.*, (2009), materiales con alto contenido proteico, adicionados en la elaboración de productos almidonosos, aumenta la densidad del producto final (Onwulata *et al.*, 2001; Veronica *et al.*, 2006). Además Lazou y Kokrida en 2010, reportan que la soya es la leguminosa mayormente empleada para incrementar el contenido proteico de productos alimenticios, por otra parte estos autores también mencionan de acuerdo a su estudio, que al aumentar la cantidad de harina de lenteja, la densidad de las botanas obtenidas fue mayor en comparación con aquellas de menor contenido de harina de lenteja, y estos

autores atribuyen este efecto al hecho de que la lenteja es rica en proteínas, y por ende aumenta el contenido proteico de los productos finales.

### 8.3.4 Índice de absorción de agua.

Los valores experimentales obtenidos para el índice de absorción de agua, muestran un valor máximo de 6.47 g para la botana hecha con harina de papa y 6.40 g para la botana hecha con harina de chayotextle sustituida con 5% harina de soya, y un valor menor de 6.04 g para la botana hecha con harina de chayotextle sustituida con 25% harina de soya (Cuadro 13).

Cuadro 13. Resultados obtenidos del parámetro de índice de absorción de agua.

Chip	Índice de absorción de agua (g)
Papa	6.47 ± 0.308 <sup>a</sup>
5%	6.40 ± 0.486 <sup>a</sup>
10%	6.34 ± 0.235 <sup>ab</sup>
15%	6.33 ± 0.294 <sup>ab</sup>
20%	6.16 ± 0.392 <sup>ab</sup>
25%	6.04 ± 0.258 <sup>b</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan (p<0.05)).

Lo cual indica cual es la integridad del almidón después de un tratamiento, por lo que la morfología y el tamaño de gránulo de almidón después de un proceso térmico pueden tener efecto en la capacidad de absorber agua. De acuerdo con Hernández-Uribe *et al.*, en el 2011, existe una amplia similitud entre el almidón de los tubérculos de chayote y papa, observándose discrepancias solamente en lo

referente a morfología y tamaño de los gránulos de almidón, donde su tamaño varía entre 7 y 50 micrómetros, más pequeños, en comparación con gránulos de almidón obtenidos de papa, por lo que sería conveniente evaluar el tamaño del gránulo de almidón previa y posteriormente al tratamiento por microondas, además se observa que el índice de absorción de agua disminuye conforme aumenta el contenido de harina de soya en la botana, sin embargo, estadísticamente solo existe diferencia significativa en la botana con 25% por lo que el contenido de harina de soya no parece afectar significativamente al parámetro de índice de absorción de agua, además mientras aumenta la humedad en la botana disminuye el índice de absorción de agua, y esto puede ser explicado debido a que la presencia de grupos  $\text{NH}_2^{+2}$  del contenido proteico de la harina de soya, coadyuvan a la retención de humedad al interactuar con los grupos  $\text{OH}^-$  del agua, e interactuar con los grupos  $\text{OH}^-$  de las glucosas terminales del almidón presente, generando botanas con mayor humedad y por consiguiente menor capacidad de estas a absorber agua. Por lo que matrices expandidas muestran una mayor habilidad para absorber agua (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). Sin embargo no existe diferencia estadística en ninguno de los casos evaluados en este estudio.

### **8.3.5 Índice de solubilidad en agua.**

Los valores obtenidos para el índice de solubilidad en agua (Cuadro 14) presentaron un mínimo de 5.14% para la botana hecha con harina de papa y 6.00% para la botana elaborado con harina de chayotextle sustituida con 5% harina de soya, y un valor máximo de 6.78% para la botana hecha con harina de chayotextle sustituida con 25% harina de soya, existiendo solamente diferencia estadística en las botanas hechas con harina de papa en relación a las botanas de chayotextle, indicando que no existe efecto significativo al agregar harina de soya.

Cuadro 14. Resultados obtenidos del parámetro índice de solubilidad de agua.

Chip	Índice de solubilidad de agua (%)
<b>Papa</b>	5.14 ± 0.631 <sup>a</sup>
<b>5%</b>	6.00 ± 0.559 <sup>ab</sup>
<b>10%</b>	6.27 ± 1.111 <sup>b</sup>
<b>15%</b>	6.32 ± 1.685 <sup>b</sup>
<b>20%</b>	6.54 ± 0.483 <sup>b</sup>
<b>25%</b>	6.78 ± 0.832 <sup>b</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan ( $p < 0.05$ )).

Mostrando una tendencia que el incremento de harina de soya aumenta el índice de solubilidad en agua, probablemente a que el existir menor contenido de almidón, este es más susceptible a ser fragmentado, probablemente al mecanismo de rotación dipolar de las moléculas de agua presentes en la materia prima sometida a radiación por microondas para la elaboración de las botanas, debido a que existe rotación de estas moléculas, generando fricción y probablemente la fragmentación molecular del almidón presente. Por otra parte probablemente existió la desorganización de las zonas cristalinas del almidón presente, a una forma amorfa, y en condiciones de temperaturas elevadas existe la fragmentación molecular causando incremento en la solubilidad (Ozcan y Jackson, 2004).

### 8.3.6 Color de las botanas.

Debida al hecho de que el primer impacto de calidad sujeto a juicio por parte de la mayoría de los consumidores es la apariencia visual, la determinación de color de las botanas horneadas es de importancia, se obtuvieron los parámetros

colorimétricos  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , para las botanas obtenidas de las diferentes mezclas, los cuales se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Parámetros colorimétricos de las botanas.

Chip	L	$a^*$	$b^*$
<b>Papa</b>	$73.04 \pm 2.288^a$	$0.619 \pm 0.313^a$	$13.86 \pm 1.118^a$
<b>5%</b>	$54.63 \pm 2.190^b$	$3.155 \pm 0.338^b$	$11.52 \pm 0.776^b$
<b>10%</b>	$52.47 \pm 2.384^b$	$3.152 \pm 0.301^b$	$11.58 \pm 1.330^b$
<b>15%</b>	$50.80 \pm 2.211^{bc}$	$3.785 \pm 0.317^c$	$11.71 \pm 0.979^b$
<b>20%</b>	$50.34 \pm 2.262^{bc}$	$3.801 \pm 0.731^c$	$12.64 \pm 0.628^c$
<b>25%</b>	$49.01 \pm 2.962^c$	$3.842 \pm 0.245^c$	$12.84 \pm 0.755^c$

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan ( $p < 0.05$ )).

Los valores experimentales muestran un valor máximo  $L^*$  73.04 para las botanas hechas con harina de papa y un valor máximo de  $L^*$  54.63 para aquellas elaboradas con harina de chayotextle sustituida con 5% harina de soya, y una luminosidad mínima de  $L^*$  49.01, indicando que la luminosidad de las botanas disminuye conforme se incrementa el contenido de harina de soya en la formulación, en lo que respecta a la tendencia ( $a^*$ ) de verde (-60) a rojo (+60), existe ligeramente la tendencia al rojo con un mínimo de 0.619 y 3.155 para las botanas de papa y chayotextle sustituidas con 5% harina de soya y un máximo de  $a^*$  3.801 para las botanas elaboradas con harina de chayotextle sustituidas con 25% harina de soya, mientras que en lo referente a la tendencia ( $b^*$ ) de azul (-60) a amarillo (+60), encontrando dirección hacia al amarillo con máximos de  $b^*$  13.86 y 12.84 en las botanas fabricadas con harina de papa y harina de chayotextle

sustituídas con 25% harina de soya y un parámetro inferior de  $b^*$  11.52 en el producto elaborado con harina de chayotextle sustituido con 5% harina de soya. Generando botanas de papa notoriamente más luminosas que las elaboradas con harina de chayotextle con sus diferentes sustituciones de harina de soya, sin embargo al incrementar la sustitución de harina de soya, la luminosidad de los productos disminuía, esto concuerda con estudios previos, como es el caso del efectuado por Senthil *et al.*, (2002), donde se evaluó la calidad de botanas fritas de trigo adicionadas con harina de soya, y en lo que concierne a la evaluación de color reportan que existió una ligera variación en la luminosidad, mostrando una luminosidad  $L^*$  de 59.02 a 62.82; también mostraron dirección hacia el rojo con valores  $a^*$  de 11.65 a 12.42 e inclinado hacia el amarillo con parámetros  $b^*$  de 26.71 a 27.92, si bien se disminuyó la luminosidad conforme se aumento el contenido de soya, no existió diferencia marcada en el decremento de esta, resultados comparables con los obtenidos en este trabajo (Figura 10).

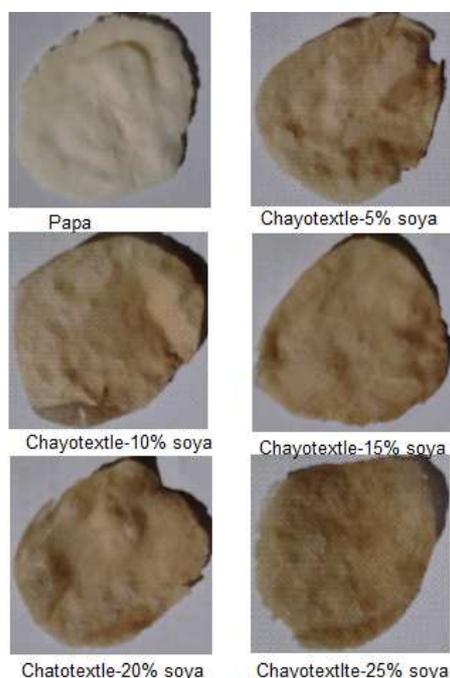


Figura 10. Fotografías de las botanas.

### 8.3.7 Análisis químico proximal de botanas.

En lo que respecta al análisis químico proximal de botanas de harina de chayotextle sustituidas con soya, solamente se realizó en aquellas elaborada con el 10% de harina de soya, esto debido al hecho que a través de los resultados experimentales de los parámetros texturales (dureza y fracturas), las botanas elaboradas con 5 y 10% harina de soya, fueron las que presentaron un comportamiento comparable con las botanas elaboradas con harina de papa y los chips comerciales de acuerdo al análisis estadístico; por otra parte al sustituir con un 10% harina de soya existe la posibilidad de generar un producto con mayor contenido proteico, motivos que direccionaron al análisis químico proximal de los chips de chayotextle con 10% harina de soya. El Cuadro 16, muestra los resultados obtenidos de la botana de chayotextle sustituida con 10% harina de soya a través del análisis químico proximal. Conforme con los resultados, es posible observar que la sustitución de harina de soya en un 10% generó un incremento proteico en el producto final (11.33%), debido a que la harina de chayotextle de este estudio presentó 9.19% de contenido proteico, otro aspecto interesante es el hecho de que la raíz tuberizada de chayote al presentar un contenido lípidico bajo (1.03%), su utilización en la elaboración de botanas tipo chip, genera productos con bajo contenido lípidico (0.58%) en comparación con las botanas tipo chip comerciales, ya que por lo regular son fritas en lugar de horneadas. Lo cual es de importancia, ya que Shimizu *et al.*, (2010) reporta que las personas actualmente perciben a las botanas como una comida en vez de un saciador de hambre.

Cuadro 16. Químico proximal de botanas de chayotextle con sustitución de 10% harina de soya.

Humedad	Proteína	Grasa	Ceniza	Hidratos de carbono	Fibra cruda
7.88 ± 0.892	11.33 ± 0.351	0.58 ± 0.017	7.08 ± 0.810	73.12 ± 0.000	2.87 ± 0.276

### 8.3.8 Prueba de fractura en las botanas, acoplada a la evaluación acústica.

El Cuadro 17, presenta la fuerza necesaria para realizar la fractura de las botanas evaluadas en el presente trabajo de investigación, además de mostrar la cantidad de fracturas generadas en cada una de las botanas. El contenido de harina de soya en las botanas afecta la dureza de estas, encontrando que el incremento de harina de soya genera botanas con mayor dureza y mayor número de fracturas; la dureza ha sido utilizada en diversos estudios para determinar las características de crujencia de productos alimenticios. Con la ventaja de ser metodologías relativamente fáciles y rápidas, no obstante no generan una correlación robusta con la crujencia, ya que pueden existir desventajas dado el hecho de que por lo regular los productos crujientes presentan formas y tamaños irregulares, o partes que no son crujientes (Saeleaw y Schleinig, 2011). Es por ello que, recientemente una manera diferente para realizar la investigación de productos crujientes a través de su naturaleza acústica ha emergido, la cual consiste en realizar la fractura mecánica y el análisis sonoro de los eventos tanto mecánicos como acústicos en productos crujientes (Salvador *et al.*, 2009).

Cuadro 17. Resultados obtenidos de parámetros de texturales de botanas.

<b>Chip</b>	<b>Dureza (kgf)</b>	<b>Fracturas (-)</b>
<b>Papa</b>	0.372 ± 0.141 <sup>a</sup>	5.53 ± 1.726 <sup>b</sup>
<b>Comercial</b>	0.560 ± 0.150 <sup>ab</sup>	3.40 ± 1.323 <sup>a</sup>
<b>5%</b>	0.572 ± 0.209 <sup>ab</sup>	3.13 ± 1.922 <sup>a</sup>
<b>10%</b>	0.577 ± 0.309 <sup>ab</sup>	3.13 ± 1.302 <sup>a</sup>
<b>15%</b>	0.642 ± 0.268 <sup>b</sup>	3.26 ± 1.279 <sup>a</sup>
<b>20%</b>	0.690 ± 0.279 <sup>b</sup>	3.33 ± 1.632 <sup>a</sup>
<b>25%</b>	0.700 ± 0.271 <sup>b</sup>	4.06 ± 1.791 <sup>ab</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan (p<0.05)).

A través de los datos experimentales de fuerza necesaria para fracturar a las botanas en este trabajo de investigación, es visible que el incremento de harina de soya genera botanas con mayor dureza con valores mínimos de 0.372 kgf y 0.572 kgf para las botanas hechas con harina de papa y con harina de chayotextle sustituida con 5% harina de soya, mientras que en lo referente a la cantidad de fracturas estas botanas presentaron 5.53 y 3.13 respectivamente, y un valor máximo de 0.700 kgf y 4.06 fracturas para las botanas hechas con harina de chayotextle sustituidas con 25% harina de soya; aun que la dureza es evidentemente menor en las botanas hechas con harina de papa en comparación con las botanas realizadas con harina de chayotextle en las diferentes sustituciones, estas generan mayor número de fracturas, y esto puede ser explicado debido a que el contenido de humedad es mayor con un 12.03%, ya que existe mayor disponibilidad de agua para ser evaporada al momento del horneado, lo cual puede generar mayor número de celdas dentro de la estructura de la botana, y por ello permitir la posibilidad de llevar acabo más fracturas en

comparación con productos con menor disponibilidad de agua a ser evaporada durante un horneado y por ello generar menor cantidad de fracturas, como fue el caso de las botanas elaboradas con harina de chayotextle. Airimi *et al.*, (2010) aplico con éxito un sistema de medición acústica en lo relacionado a crujencia en costras de pan, en lo que respecta al uso de microondas para la fabricación de botanas (queso expandido). Arimi *et al.*, (2012) nuevamente aplicó un sistema de medición acústica exitosamente, reportando que el evaporar mayor cantidad de agua se generan productos más crujientes, considerando a la crujencia como “la combinación de un tipo de sonidos, como fracturas cortas y “cracks” largos, percibidos después de aplicar fuerza a través de la mordida”, de acuerdo con Saeleaw y Schleing (2011), se puede relacionar al número de fracturas con la cantidad de celdas presentes en las botanas evaluadas en la presente investigación, lo cual puede explicar el mayor número de fracturas en las botanas de papa. A pesar del número de fracturas un producto crujiente se caracteriza por ser fracturado a través de fuerzas bajas, motivo por el cual surgió la necesidad de evaluar las características texturales de una botana tipo chip comercial horneada para conocer el comportamiento de esta y evaluarla en relación a las botanas fabricadas con chayotextle, mostrando el chip comercial una fuerza para lograr su fractura de 0.560 kgf y 3.4 fracturas, lo cual estadísticamente es comparable con las botanas elaboradas con harina de chayotextle sustituida con 5% y 10% harina de soya. Al incrementar en mayor porcentaje la sustitución de harina de soya, se generan botanas con mayor dureza, y estos resultados son consistentes con la investigación realizada por Nath y Chattopadhyay (2007), en el cual agregaron harina de soya a una botana de papa, reportando que incrementar la cantidad de harina de soya genera productos con mayor dureza, y con menor índice de expansión, estos autores mencionan que la sustitución de 6.59% y 10% fueron las que generaron productos con mayor aceptación en su estudio de investigación. En otro estudio realizado por Lazou y Krokida (2010), reportan que la adición de harina de lenteja aumenta la dureza de las botanas que fabricaron, además hacen mención que el incremento de dureza en los productos, afecta negativamente al índice de expansión, lo cual se ve reflejado en la densidad aparente de sus

productos; esto tiene concordancia con los resultados obtenidos en el presente trabajo, ya que a mayor dureza de la botana (700 kgf) es menor el índice de expansión (1.28(-)) y esto se ve reflejado en la densidad aparente (3.06E-02 g/cm<sup>3</sup>). La correlación de los parámetros de textura con los resultados obtenidos experimentalmente en este trabajo de investigación se explica a continuación, el Cuadro 18 muestra los valores obtenidos para los parámetros acústicos de las botanas evaluadas en este trabajo de investigación.

Cuadro 18. Resultados obtenidos de parámetros acústicos de botanas.

<b>Chip</b>	<b>Decibel máximo (db)</b>	<b>Incidentes sonoros</b>	<b>Media sonora (db)</b>
<b>Papa</b>	65.50 ± 5.063 <sup>a</sup>	5.53 ± 1.726 <sup>b</sup>	54.51 ± 3.603 <sup>a</sup>
<b>Comercial</b>	57.90 ± 7.130 <sup>b</sup>	3.40 ± 2.323 <sup>a</sup>	52.29 ± 7.423 <sup>a</sup>
<b>5%</b>	65.52 ± 8.451 <sup>a</sup>	3.13 ± 1.922 <sup>a</sup>	56.97 ± 8.606 <sup>ab</sup>
<b>10%</b>	65.53 ± 7.827 <sup>a</sup>	3.13 ± 1.302 <sup>a</sup>	57.90 ± 9.104 <sup>ab</sup>
<b>15%</b>	66.20 ± 6.104 <sup>a</sup>	3.26 ± 1.279 <sup>a</sup>	57.91 ± 3.837 <sup>ab</sup>
<b>20%</b>	66.26 ± 6.417 <sup>a</sup>	3.33 ± 1.632 <sup>a</sup>	58.97 ± 6.700 <sup>ab</sup>
<b>25%</b>	70.98 ± 8.576 <sup>a</sup>	4.06 ± 1.791 <sup>ab</sup>	61.71 ± 7.423 <sup>b</sup>

El superíndice que aparece en los valores, indica la diferencia significativa por columna según el anova (prueba de Duncan (p<0.05)).

Drake en 1963 fue el primer investigador en estudiar los sonidos generados al deformar alimentos para obtener mayor información de la textura del alimento, encontrando que las fracturas de un producto alimenticio durante un proceso de masticación eran paralelas a la generación de sonidos sucesivos al momento de la masticación (De Belie *et al.*, 2003).

Dado el hecho de que la masticación es un proceso altamente destructivo, las pruebas mecánicas son las más populares para emular una mordida, por lo que las propiedades mecánicas son usadas para conocer las características estructurales de materiales a través de las mediciones de resistencia a compresión mediante una sonda u otro dispositivo que genere tensión en la estructura de un alimento por medio de una maquina de tensión universal o un texturómetro (Saeleaw y Schleining, 2011).

Un aspecto general de la mayoría de productos con naturaleza crujiente y crocante, es que presentan celdas en su estructura, los productos crujientes secos contienen aire llenando estas cavidades, que son rodeadas de paredes quebradizas; al momento de aplicar una fuerza continua o deformación a estas paredes, estas se rompen, y esta fractura genera la liberación del aire dentro de las celdas a través de vibraciones, las cuales crean presión por medio de ondas sonoras (Duizer, 2001). Una técnica reciente para investigar la naturaleza de productos crujientes está siendo usada, la cual se basa en el análisis del sonido emitido simultáneamente cuando se aplican fuerzas mecánicas a un producto crujiente (Salvador *et al.*, 2009). Por lo tanto, en productos crujientes y crocantes con gran cantidad de celdas, el sonido producido es debido a la fractura de las celdas, por otra parte en productos crujientes y crocantes con poca presencia de celdas como los chips, las fracturas consecutivas del espesor delgado de los chips son los principales contribuyentes del sonido (Saeleaw y Schleining, 2011), lo cual es consistente con los resultados obtenidos en este estudio, ya que se encontraron de 3.40 a 4.06 incidentes sonoros consecutivos, responsables del sonido generado.

De acuerdo a los resultados experimentales obtenidos en el presente trabajo de investigación, es vislúmbre el hecho de que al aumentar la dureza de las botanas de chayotextle analizadas, el nivel de sonido en cuanto al decibel máximo detectado fue incrementando con un mínimo de 65.52 db a un máximo 70.58 db,

en lo que concierne a la botana elaborado con papa no presenta un comportamiento similar ya que esta presentó una dureza inferior (0.372 kgf) en comparación con las botanas hechas con chayotextle, aun que su emisión de decibel máximo fue similar (65.50 db) en relación a las botanas de chayotextle, esto puede ser explicado al hecho de que presente mayor número de fracturas (5.53 (-)) y por ello pueden presentar mayor cantidad de celdas con, las cuales pueden contener aire, y al momento de que este es liberado en forma de onda, genera a través de las fracturas, se genera una vibración mayor lo que puede favorecer el desplazamiento de aire en forma de onda sonora y por ello obtener a través del decibelímetro la intensidad del sonido en decibeles. En lo que tiene que ver con la botana comercial analizada, la cual mostro un máximo de decibel de 57.90 db, perceptiblemente menor a las botanas de papa y chayotextle, hay que hacer mención que en su materia prima de elaboración existen diferentes ingredientes (mostrados en anexos) que pueden afectar la calidad de vibración de aire a través de ondas sonoras; en relación a esto Salvador *et al.*, (2009) reportó que existe influencia de grasa presente en las botanas, ya que estos investigadores evaluaron chips comerciales, sin embargo, no pudieron realizar la correlación de este parámetro, debido a las diferencias desconocidas de la materia prima y los diferentes tipos de proceso de los diferentes chips.

Adicional a lo anterior, es posible observar que la cantidad de incidentes sonoros es altamente similar a la cantidad de fracturas percibidas a través del texturómetro, aun que Kaoru y Kohyama en 2012, reportan que la mayoría las caídas de fuerza se encuentran acompañadas de un evento acústico, estos autores también reportan que el número de eventos acústicos es mayor en relación a las caídas de fuerza, lo cual puede ser correlacionado con los gráficos obtenidos en este trabajo de investigación (mostrados en anexos), ya que existen algunos incrementos de fuerza con su posterior caída de fuerza en los cuales no existe evento acústico, y esto puede ser explicada, ya que al ser una prueba destructiva, se crean pedazos pequeños del chip evaluado, lo cuales pudieron

generar interferencia en la sonda del texturómetro Brookfield usado en esta investigación.

Finalmente los investigadores han asociado fuertemente el hecho de que la duración e intensidad del sonido es importante en la percepción de la crujencia y crocancia, y han usado a la media o promedio de la intensidad de los eventos acústicos producidos como un criterio para el análisis sensorial de productos crujientes (Saeleaw y Schleinig, 2011). Por esta razón este parámetro fue investigado en este estudio, encontrando que conforme incrementa la dureza de las botanas elaboradas con chayotextle, esta medición acústica también incrementa de 56.97 db a 61.71 db, haciendo la comparación con la botana comercial examinada, la cual presento 52.29 db para este parámetro, es posible determinar que tanto la dureza, como el decibel máximo, así como la cantidad de incidentes sonoros, influyen en la percepción de los productos crujientes, Taniwaki y Kohyama (2012), reportan que la fuerza máxima para la fractura de chips utilizadas en su trabajo de investigación, se ve incrementada conforme aumenta el espesor de los chips, además de que los chips con mayor espesor generaron parámetros sonoros con mayor intensidad, aun que también hacen mención que el espesor de los chips no afecta los incidentes sonoros, lo cual es comparable con los resultados obtenidos en este trabajo, ya que al aumentar la dureza se generan sonidos con mayor intensidad.

### **8.3.9 Análisis sensorial.**

En lo que respecta al análisis sensorial de botanas de harina de chayotextle sustituidas con soya, solamente se realizó en aquellas elaborada con el 10% de harina de soya, esto debido al hecho que a través de los resultados experimentales de los parámetros texturales (dureza y fracturas), las botanas elaboradas con 5 y 10% harina de soya, fueron las que presentaron un comportamiento comparable con las botanas elaboradas con harina de papa y los

chips comerciales de acuerdo al análisis estadístico. En este trabajo de investigación se analizó la cantidad de fracturas percibidas en las botanas elaboradas con papa y las botanas hechas con harina de chayotextle con sustitución de 10% harina de soya, esto debido a que de acuerdo a la comparación con la botana comercial tipo chip analizada en esta investigación, se encontró que esta era la formulación que genero botanas tipo chip de harina de chayotextle con buenos parámetros mecánicos y acústicos.

De acuerdo con los datos obtenidos a través del análisis sensorial descriptivo, los cuales se muestran en la Figura 11 A para el caso de la crujiencia y en la Figura 11 B en lo referente a la crocancia, es notorio que la dureza del producto juega un papel importante en la percepción auditivo de parámetros de crujiencia y crocancia, ya que en ambos casos, los jueces entrenados percibieron mejores características. Con una percepción de 3.77 fracturas para el caso de chayotextle en comparación de 2.60 fracturas para las botanas de papa, lo cual sugiere que existió una percepción sonora con una duración ligeramente más prolongada en las botanas de chayotextle, relacionándolas con una mejor crocancia, en lo que se refiere a la crujiencia de igual manera existió una percepción de mejor atributo hacia las botanas fabricadas con harina de chayotextle.

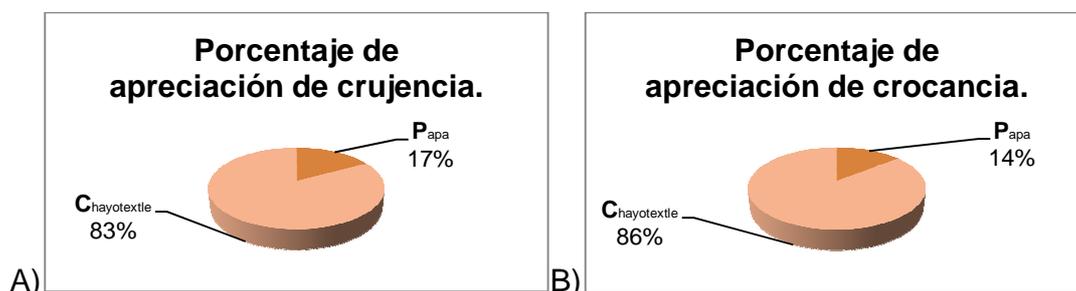


Figura 11. Porcentaje de apreciación de crujiencia (A) y crocancia (B) en chips de chayotextle-soya 10% y papa.

Sin embargo, hay que mencionar que diversos factores pueden ser responsables de la variación que puede existir en los consumidores comunes en la percepción de crujencia y crocancia, por ejemplo, los sonidos emitidos al momento de la masticación dependen de la persona que la efectuó, particularmente por el volumen de su cavidad bucal y tamaño de mandíbula, la superficie de contacto entre las piezas dentales y el alimento, además de que la cantidad de incidentes sonoros percibidos dependerán de la geometría de las piezas dentales y si la boca se encuentra abierta o cerrada (Chauvin *et al.*, 2008). La información obtenida mediante análisis simultáneo de deformación y emisión acústica al fracturar botanas tipo chip, constituye una herramienta que puede permitir la predicción de los atributos sensoriales de crujencia y crocancia de estos chips.

#### **8.3.10 Digestibilidad del almidón.**

Las botanas son hechas predominantemente de almidones (Ainsworth *et al.*, 2007), y debido al hecho de que las botanas a menudo son elaboradas de fuentes almidonosas; los tubérculos o raíces tuberizadas, son una buena fuente de este polisacárido, que pueden ser utilizadas para fabricar estos productos, además de que se usan en la alimentación, también presentan efectos benéficos nutricionales como presencia de almidón resistente y actividad antioxidante (Kavya-Reddy *et al.*, 2014). Ramírez-Rangel en 2012, reporta que en almidón nativo de chayotextle existe un 62.2% en forma disponible y un 33.5% en forma resistente, de acuerdo a los resultados obtenidos que se muestran en el cuadro 19, en la caracterización del almidón de la botana de chayotextle elaborada en este estudio, se observa que 55.45% es disponible y 0.53% es resistente.

Cuadro 19. Almidón de chayotextle y almidón chips de chayotextle.

<b>Fuente</b>	<b>Disponible</b>	<b>Resistente</b>
<b>Almidón nativo de chayotextle</b>	62.2%	33.5%
<b>Botana de chayotextle</b>	55.45%	0.53%

El contenido total del almidón presente en la botana fue de 55.98% del total de sus constituyentes, del cual, prácticamente el 99 % es almidón disponible y el resto es almidón resistente, lo cual evidencia claramente que el someter una masa hecha con harina de chayotextle a radiación por microondas, disminuyó la cantidad de almidón resistente de 33.5% a 0.53%. Esto pudiera ser atribuido a que durante el calentamiento con microondas, las moléculas polares rotan billones de veces por segundo, dando como resultado una gran fricción intermolecular, colisiones y vibraciones, generando calor, durante este proceso microscópico (Fan *et al.*, 2013). Tiene como resultado la pérdida de cristalinidad del almidón, dando una estructura más amorfa que es más susceptible al ataque enzimático y por ello el aumento en el contenido de almidón disponible.

Por otra parte el contenido de humedad de los gránulos nativos de almidón generalmente es del 10% (Copeland *et al.*, 2009), y la humedad presente en estos también es afectada por los fenómenos mencionados previamente, y estos cambios en la orientación pueden modificar la estructura granular del almidón (AR<sub>2</sub>) que resiste la digestión enzimática, en gránulos de almidón crudos o almidón nativo. De acuerdo con Fan *et al.*, (2013) almidón de arroz al que se estudio su distribución de agua, reporta que el rápido incremento de temperatura no es responsable de ruptura de enlaces, sin embargo, el movimiento vibratorio de las moléculas polares promueve la destrucción de enlaces, lo cual da pauta a la

dextrinación del almidón presente en la botana evaluada en este trabajo de investigación.

## 9. CONCLUSIONES.

---

- Conforme la dureza de las botanas tipo “chip” aumenta, la cantidad de incidentes sonoros no se ve incrementada significativamente, además la intensidad de las emisiones acústicas tampoco es afectada para los chips de chayotextle. La percepción de la dureza asociada a la generación de sonido, se encuentran ampliamente relacionadas con los parámetros sensoriales de crujencia y crocancia, ya que durezas bajas y emisión consecutiva de sonidos son característicos de productos crujientes y crocantes.
- Realizando la comparativa textural y acústica de las botanas elaboradas con una botana tipo “chip” comercial, la botana hecha con harina de chayotextle sustituida con 10% de harina de soya, permite la fabricación de “chips” con parámetros de crujencia y crocancia, además de dureza similares a los exhibidos por el chip comercial.
- Al utilizar microondas para el horneado de botanas de chayotextle tipo “chip”, se genera mayor disponibilidad del almidón, en comparación con el almidón nativo de chayotextle, extendiéndose hasta 99.02% de almidón disponible en el chip.
- La sustitución de 10% harina de soya en la formulación para la elaboración de la botana, genera un chip con un contenido proteico de 11.33%, lo cual conduce a una botana que puede incrementar la energía en corto tiempo después de su ingesta, con un contenido proteico que puede funcionar como saciador de apetito.

## 10. REFERENCIAS

---

Aguilera-Ortiz M., Reynoso-Camacho R., Gómez-Aldapa C., Uresti-Marín R.M., Ramírez-De León J.A. (2014). Los alimentos en México y su relación con la salud. Primera edición. México. Pp. 177-179.

Aila-Suárez S., Palma-Rodríguez H. M., Rodríguez-Hernández A.I., Hernández-Uribe J.P., Bello-Pérez L.A., Vargas-Torres A. (2013). Characterization of films made with chayote tuber and potato starches blending with cellulose nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*. 98. 102-107.

Ainsworth P., Ibanoglu S., Plunkett A., Ibanoglu E., Stojceska V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*. 81. 702-709.

Alvani K., Qi X., Tester R.F., Snape C.E. (2011). Physico-chemical properties of potato starches. *Food Chemistry* 125.958–965.

Anon (1993). New developments in fat mimetic technology for bakery products. *Confectionery Production*. 59. 418–419.

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

Arimi J.M., Duggan E., O' Riordan E.D., O' Sullivan M., Lyng J.G. (2008). Microwave expansion of imitation chesse containig resistant starch. *Journal of Food Enginnering*. 88. 254-262.

Arimi J.M., Duggan E., O'Sullivan M., Lyng J.G., O'Riordan E.D. (2010). Effect of water activity on the crispiness of a biscuit (Crackerbread): Mechanical and acoustic evaluation. *Food Research International* 43. 1650–1655.

Arimi J.M., Duggan E., O'Sullivan M., Lyng J.G., O'Riordan E.D. (2012). Crispiness of a microwave-expanded imitation cheese: Mechanical, acoustic and sensory evaluation. *Journal of Food Engineering*.108. 403–409.

Bhattacharyya, D., Singhal, R. S., Kulkarni, P. R. (1996). Carboxymethyl starch: an extrusion aid. *Carbohydrate Polymers*. 31. 79–82.

Bovell-Benjamin A.C. (2007). Sweet potato: A review of its past, present and future role in human nutrition. *Adv. Food Nutr. Res.* 52. 1-59.

Bressani, R., Murillo, B., Elias, G. (1974). Whole soybeans as a means of increasing proteins and calories in maize-based diets. *Journal of Food Science*. 39. 577–580.

Canacintra (2014). Cámara Nacional de la Industria y la Transformación. Gobierno Federal. México. <http://canacintra.gob.mx> (accesado octubre 2014).

Carey, J. M., Moisey, M. J., Levine, H., Slade, L. (1998). Production of crispy wheat-based snacks having surface bubbles. United States Patent US 5, 747,092.

Copeland L., Blazek J., Salman H., Chiming-Tang M. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*. 23. 1527-1534.

Chandrasekaran S., Ramanathan S., Basak T. (2013). Microwave food processing- A review. *Food Research International*. 52. 243. 261.

Cha-um W., Rattanadecho P., Pakde W. (2011). Experimental and Numerical Analysis of Microwave Heating of Water and Oil Using a Rectangular Wave Guide: Influence of Sample Sizes, Positions, and Microwave Power. *Food Bioprocess Technology*. 4. 544–558.

Chauvin M. A., Younce F., Ross C., Swanson B. (2008) Standard scales for crispness, crackliness and crunchiness in dry and wet foods: relationship with acoustical determinations. *Food Science and Human Nutrition*. 345-368.

Cruz-León A., y López-Rueda M.T. (2005). Dinámica de la formación de la raíz tuberizada del Chayote (*Sechium edule Sw.*) en su primer año de cultivo. *Horticultura*.11. 13-19.

Debet M.R., Gidley M.J. (2007). Why do gelatinized starch granules not dissolve completely? Roles of amylase, protein, and lipid in granule “ghost” integrity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55. 4752-4760.

De Belie N., Sivertsvik M., De Baerdemaeker J. (2003). Differences in chewing sounds of dry-crisp snacks by multivariate data analysis. *Journal of Sound and Vibration*. 266. 625–643.

Duizer, L., 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in Food Science & Technology*. 12. 17–24.

El Financiero (2013). <http://www.alfaeditores.com/index.php/template/boletin-electronico/notialfa/noticias-notialfa/item/2807-las-botanas-ganaran-terreno-en-mexico-euromonitor>. (accesado Agosto 2013).

Fan D., Ma S., Wang L., Zhao H., Zhao J., Zhang H., Chen W. (2013). H NMR studies of starch–water interactions during microwave heating. *Carbohydrate Polymers*. 97. 406-412.

Feng H., Yin Y., Tang J. (2012). Microwave Drying of Food and Agricultural Materials: Basics and Heat and Mass Transfer Modeling. *Food Engineering Review*. 4. 89–106.

Gimpler, N., Levine, H., Slade, L., Faridi, H. A., Sauer, R. M. (1996). Juice-based expanded snacks and process for preparing them. United States Patent 5 523 106.

Gondek E., Lewicki P.P (2007). Antiplasticization of cereal-based products by water. Part II: Breakfast cereals. *Journal of Food Engineering*. 77. 644–652.

Güemes-Vera N. (2004). Características Reológicas, Sensoriales y Nutricionales de Masas y Productos de Panificación Fortificados con Lupinus. Tesis Doctoral. ENCB-IPN. México D.F.

Gutcho, M. (1973). Potato chips. En M. Gutcho. Prepared snack foods. 14–15. England.

Hernández-Uribe J., Agama-Acevedo E., González-Soto R., Bello-Pérez L., Vargas-Torres A. (2011). Isolation and Characterization of Mexican chayote tuber (*Sechium edule* Sw.) starch. *Starch/Stärke*, 63. 32-41.

Hoover R. (2001). Composition, molecular structure and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate polymers*. 45. 253-257.

Huang, D. P., Rooney, L. W. (2001). Starches for snack foods. En E. W. Lusas, L. W. Rooney. *Snack foods processing*. Basel: Technomic Publishing Co. 115-116.

INEGI. (2014). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Gobierno Federal. México. <http://inegi.gob.mx> (accesado octubre 2014).

Jenkins P.J., Donald A.M. (1998). Gelatinisation of starch-a combined WAXS/SAXS/DSC and SANS study. *Carbohydrate Research*. 308. 133-147.

Jiménez-Hernández J., Salazae-Montoya J.A., Ramos-Ramírez E.G. (2007) Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymers*. 68. 679-686.

Kanbara, I., Mori, M. (1989). Expansive food and its preparation by microwave cooking. *Japan Kokai Tokkyo Koho JP 01*. 168, 242.

Kavya-Reddy M., Aparna-Kuna., Lakshmi-Devi N., Krishnaiah N., Charanjit-Kaur., Nagamalleswari Y.(2014). Development of extruded Ready-To-Eat (RTE) snacks using corn, black gram, roots and tuber flour blends. *J Food Sci Technol*. DOI 10.1007/s13197-013-1251-0

Kong B. W., Kim J. I., Kim M. J., Kim J. C. (2003). Porcine pancreatic  $\alpha$ -amylase hydrolysis of native starch granules as function of granule surface area. *Biotechnology Progress*, 19. 1162-1166.

Krokida M.K., Oreopoulou V., Maroulis Z.B., Marinos-Kouris D. (2001). Viscoelastic behaviour of potato strips during deep fat frying. *Journal of Food Engineering* 48. 213-218.

Kulkarni S.K. Joshi K.C. Venkatraj, J. Venkatraghavan U. (1997). Extrusion cooking of soy-cereal and tuber blends: Product properties. *Journal of Food Science and Technology*. 34. 509–512.

Lambert L.P. Gordon J. Davis E.A. (1992). Water loss and structure developments in model cake systems heated by microwave and convection methods. *Cereal Chemistry*. 69. 303–309.

Langan, R. E. (1987). Food industry. En R. E. Langan (Ed.), *Modified starches properties and uses* 3rd ed. 199–212. Boca Raton, FL: CRC Press.

Lazou A., Krokida M. (2010). Structural and Textural characterization of corn-lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*. 100. 392-408.

Lewicki P. P. (2004). Water as the determinant of food engineering properties. A review. *Journal of Food Engineering*. 61. 483–495.

Marzec A. Lewicki P.P. Ranachowski Z.(2007). Influence of water activity on acoustic emission of flat extruded bread. *Journal of Food Engineering* 79. 410–422

Mazumder P., Roopa S., Bhattacharya S. (2007). Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. *Journal of Food Engineering*. 79. 511-516.

Megahey E.K. McMinn A.M. Magee R.A. (2005). Experimental study of microwave baking of Madeira cake batter. *Food and Bioproducts Processing*. 83. 277–287.

Miller R.A. Hosney R.C. (1997). Method to measure microwave-induced toughness of bread. *Journal of Food Science*. 62. 1202–1204.

Moore, C. O., Tuschhoff, J. V., Hastings, C. W., Schanefelt, R. V. (1984). Applications of starches in foods. In R. L. Whistler, J. N. BeMiller, E. F. Paschall. *Starch- chemistry and technology* (2nd ed.) (pp. 575–591). Orlando: Academic Press Inc..

Nakano, S., Sato, Y. (1998). Starch-based puffed foods and dough for them. *Japan Kokai Tokkyo Koho JP*. 10. 191, 877.

Navarro-Cortez R. (2010). Caracterización fisicoquímica y estructural de botanas de tercera generación elaboradas a partir de harina de maíz (*Zea Mays L.*) azul utilizando la tecnología de extrusión. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Sinaloa. México.

Nath A., Chattopadhyay P.K. (2008). Effect of process parameters and soy flour concentration on quality attributes and microstructural changes in ready-to-eat potato–soy snack using high-temperature short time air puffing. *Journal of Food Engineering*. 41. 707-715.

Nugent A.P. (2005). Health properties of resistant starch. *Nutritional Bulletin*, 30. 27-54.

Onwulata, C. I., Konstance, R. P., Smith, P. W., & Holsinger, V. H. (2001). Co-extrusion of dietary fiber and milk proteins in expanded corn products. *LWT – Food Science and Technology*. 34. 424–429.

Ozcan S., Jackson D. S. (2004). Functionality Behavior of Raw and Extruded Corn Starch Mixtures. *Cereal Chem*. 82. 223–227

Oviedo, P., Manuel, S. V. (2001). Process for preparation of expandable cassava starch. *Braz. Pedid. PIBR*. 02, 805.

Pei DCT, inventor; Bettendorf Stanford, Inc. (1983). Method of baking bread. US patent 4,419,374.

Perera A., Meda V., Tyler R.T. (2010). Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International*. 43. 1959–1974.

Pocztaruk R. L., Abbink J. H., Wijk R. A., Fontoura-Frasca L. C., Duarte-Gavião M. B., Andries Bilt A. (2011). The influence of auditory and visual information on the perception of crispy food. *Food Quality and Preference* 22. 404–411.

Primo-Martin C. Sozer N. Hamer R.J. Van-Vliet T. (2009). Effect of water activity on fracture and acoustic characteristics of a crust model. *Journal of Food Engineering*. 90. 277–284.

Radley J. A. (1976). The Food Industry. In J. A. Radley (Ed.), *Industrial uses of starch and its derivative*. 51–116. London: Applied Science Publishers Ltd.

Ramírez-Rangel K. (2012). Caracterización de almidón modificado de Chayotextle (*Sechium edule* Sw): formación de complejos amilosa-lípidos. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.

Ranhotra G.S., Vetter J.L. (1991). Food considered for nutrient addition. Snacks and confectionaries. Food and Nutrition Press, Inc. 319-345.

Ribotta P.D., Tadini C.C. (2009). Alternativas tecnológicas para la elaboración y la conservación de productos panificados. Primera edición. Argentina. 93-100.

Rodríguez-Miranda J., Ruiz-López I.I., Herman-Lara E., Martínez-Sánchez C.E., Delgado-Licon E., Vivar-Vera M.A. (2011). Development of extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. LWT – Food Science and Technology, 44. 673-680.

Saeleaw M., Schleining G. (2011). A review: Crispness in dry foods and quality measurements based on acoustic-mechanical destructive techniques. Journal of Food Engineering 105. 387–399.

Saeleaw M., Schleining G. (2011). Effect of frying parameters on crispiness and sound emission of cassava crackers. Journal of Food Engineering. 103. 229–236.

Saeleaw M., Dürschmid K., Schleining G. (2012). The effect of extrusion conditions on mechanical-sound and sensory evaluation of rye expanded snack. Journal of Food Engineering. 110. 532–540.

Sajilata M.G., Singhal R. (2005). Specialty starches for snack foods. Carbohydrate Polymers 59. 131–151.

Sajilata M.G., Singhal R.S., Kulkarni, P.R. (2006). Resistant Starch - A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 5. 1-17.

Salvador A., Varela P., Sanz T., Fiszman S.M. (2009). Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. LWT-Food Science and Technology. 42. 763-767.

Senthil A., Ravi R., Bhat K.K., Seethalakshmi M.K. (2002). Studies on the quality of fried snacks based on blends of wheat flour and soya flour. Food Quality and Preference. 13. 267–273.

Sheppard J.R. (1989). Browning and crisping theory; could microwave brown food? Journal of Packaging Technology and Science. 2. 63–67.

Shukla T.P. (1993). Bread and bread-like dough formulations for the microwave. *Cereal Foods World*. 38. 95–96.

SIAP (2013). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Gobierno Federal. México. SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx/> (accesado Abril 2013).

Singh P., Kumar R., Sabapathy S.N., Bawa A.S. (2008). Functional and Edible Uses of Soy Protein Products. *COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY*. 7. 14-28.

Shimizu M., Payne C. R., Brian Wansink B. (2010). When snacks become meals: How hunger and environmental cues bias food intake. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 7. 1-6.

Smith P.G. (2010). *Introduction to Food Process Engineering*. Second Edition. United Kingdom. 172, 180.

Steinke JA., Frick C., Strassburger K., Gallagher J. (1989). Interaction of flavor systems in the microwave environment. *Cereal Foods World*. 34. 330–332.

Sun H., Mu T., Zhang M., Chen J. (2014). Sweet potato (*Ipomoea batatas*) leaves as nutritional and functional foods. *Food Chemistry*. 380-389.

Taniwaki M., Kohyama K. (2012). Mechanical and acoustic evaluation of potato chip crispness using a versatile texture analyzer. *Journal of Food Engineering*. 112. 268–273.

Tester R.F., Karkalas J., Qi X. (2004). Starch-compositio, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*. 39. 151-165.

Thostenson E.T., Chou T.W. (1999). Microwave processing: fundamentals and applications. *Composites. Part A*. 30. 1055-1071.

Topping D. L., Clifton P. M. (2001). Short –chain fatty and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiological Reviews*, 81. 1031-1064.

Uzzan M., Ramon O., Kopelman I.J., Kesseman E., Mizrahi S. (2007). Mechanism of crumb toughening in bread-like products by microwave reheating. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 55. 6553–6560.

Veronica A. O., Olusola O. O., Adebowale E. A. (2006). Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *Journal of Food Processing Engineering*, 29, 149–161.

Whorton C., Reineccius G. (1990). Current developments in microwave flavors. *Cereal Foods World*. 35. 553–559.

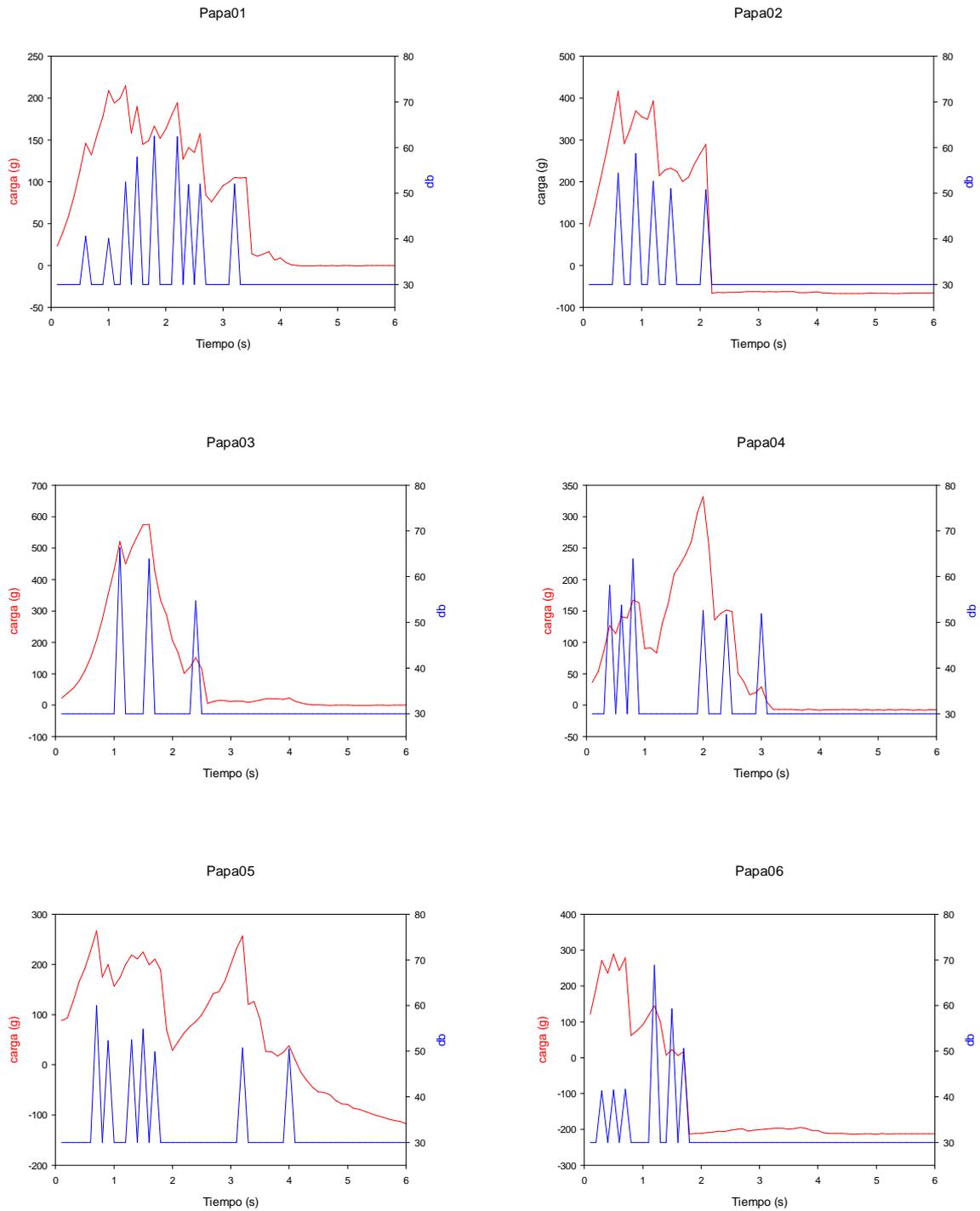
Wu H.C., Sarko A. (1978). The double helical molecular structure of crystalline  $\alpha$ -amylose. *Carbohydrate Research*. 61. 7. En Sajilata M.G., Singhal R.S., Kulkarni, P.R. (2006). Resistant Starch - A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 5. 1-17.

Young, H. K., Won, H. Y., Lim, H. S., Lim, S. T. (2001). Replacement of shortening in yellow layer cakes by corn dextrins. *Cereal Chemistry*. 78. 267–271.

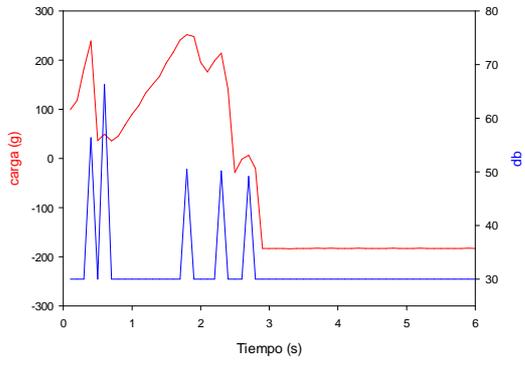
Yu, S. Y., Low, S. L. (1992). Utilization of pregelatinized tapioca starch in the manufacture of a snack food, fish cracker (keropok). *Food Science and Technology*. 27. 593–596.

## 11. ANEXOS

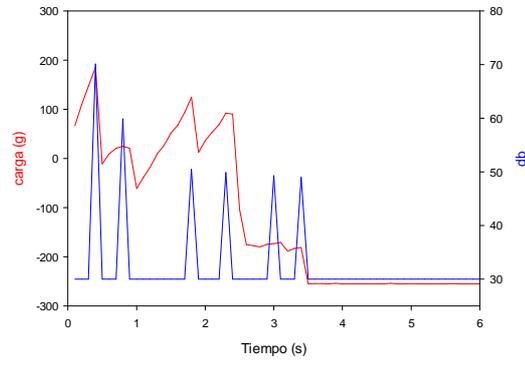
### 1. Gráficos de textura y emisión acústica de chips de papa.



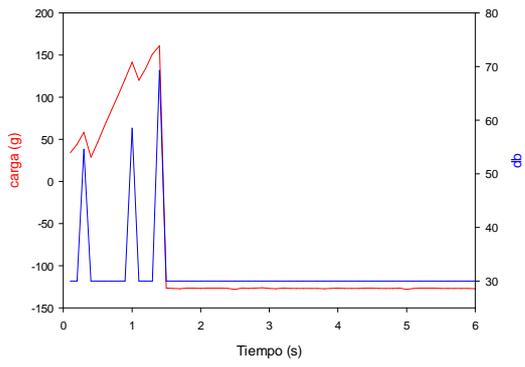
Papa07



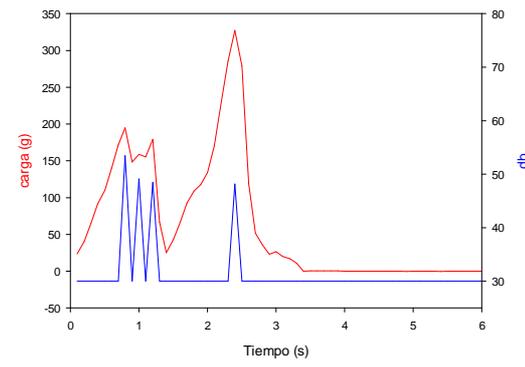
Papa08



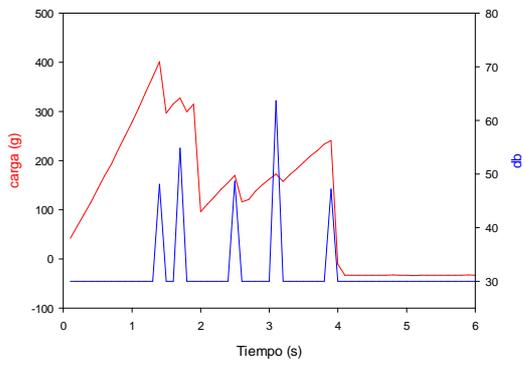
Papa09



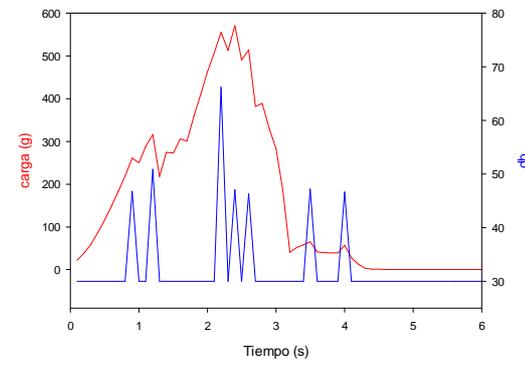
Papa10



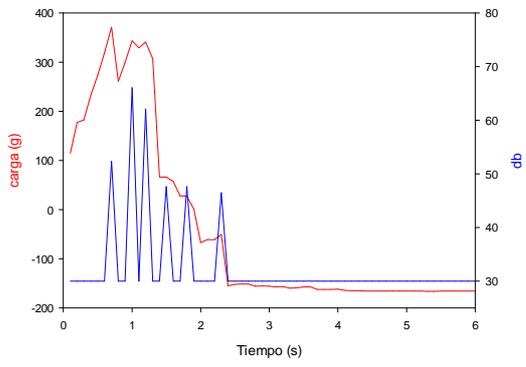
Papa11



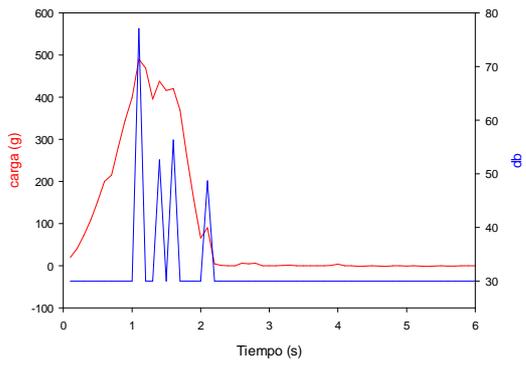
Papa12



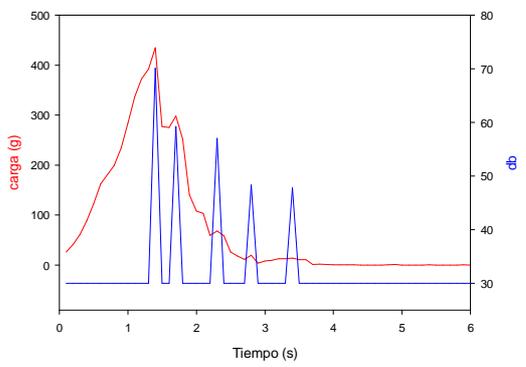
Papa13



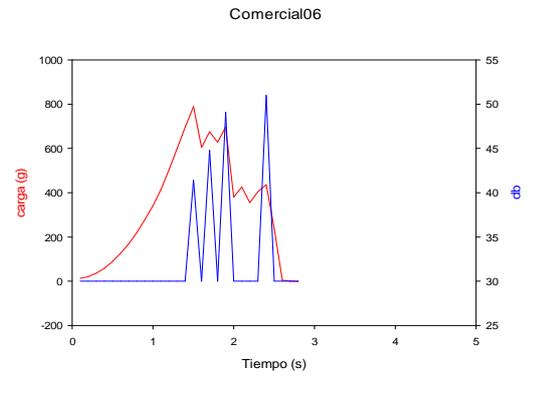
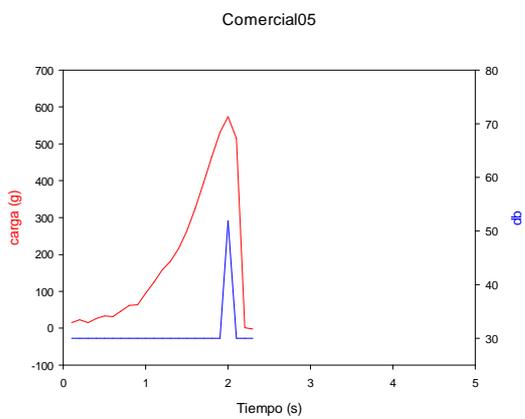
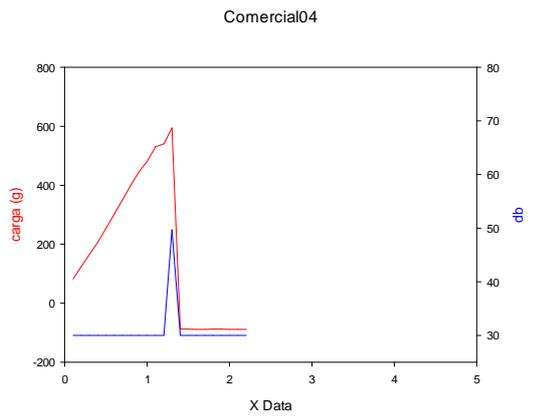
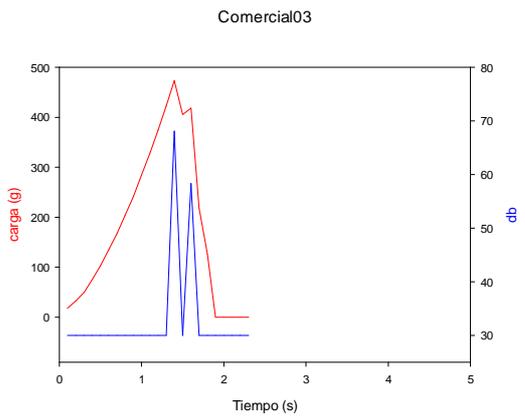
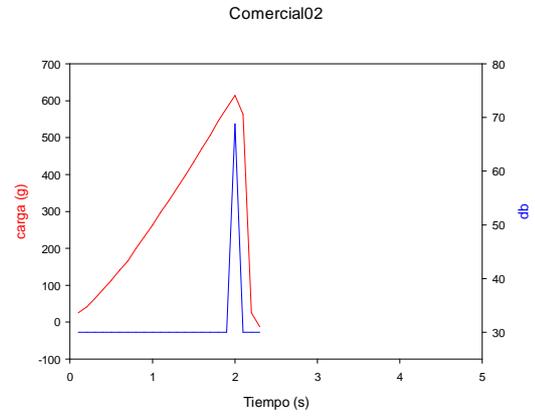
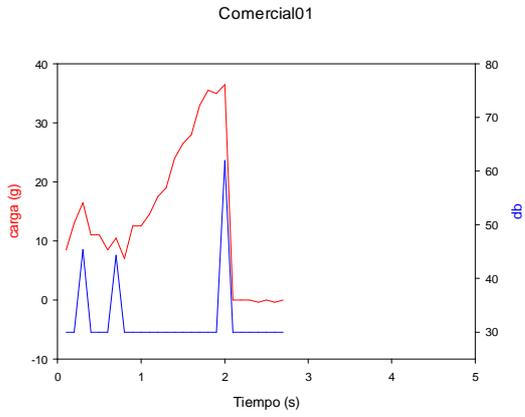
Papa14



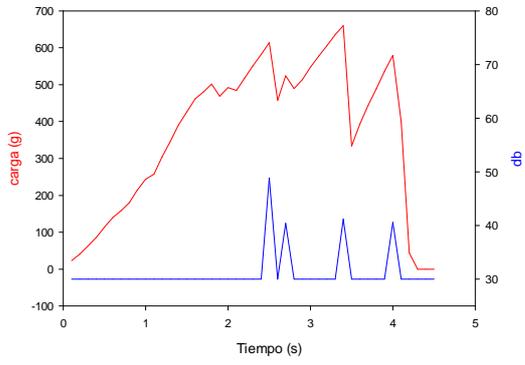
Papa15



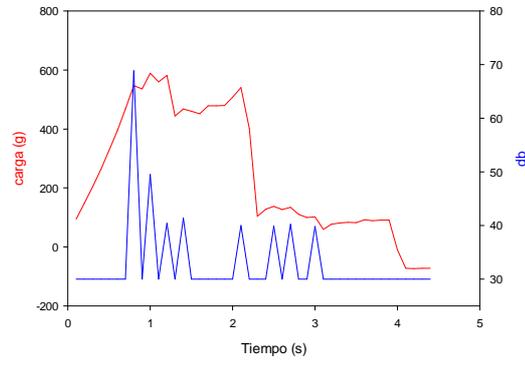
## 2. Gráficos de textura y emisión acústica de chips comerciales.



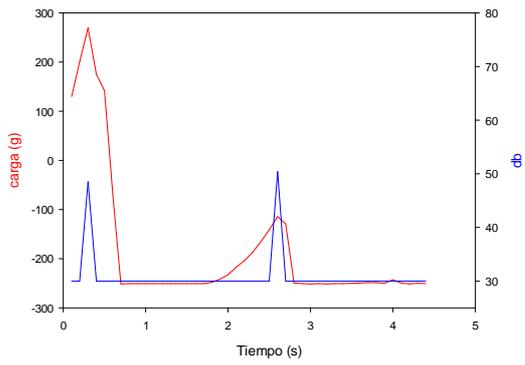
Comercial07



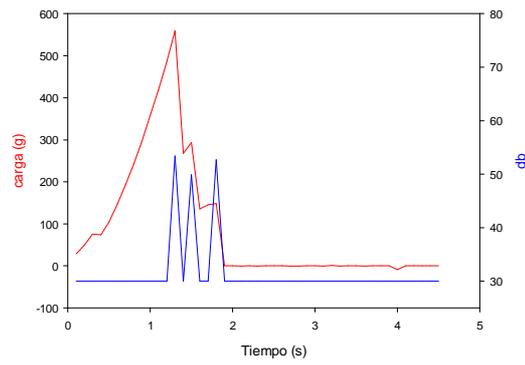
Comercial08



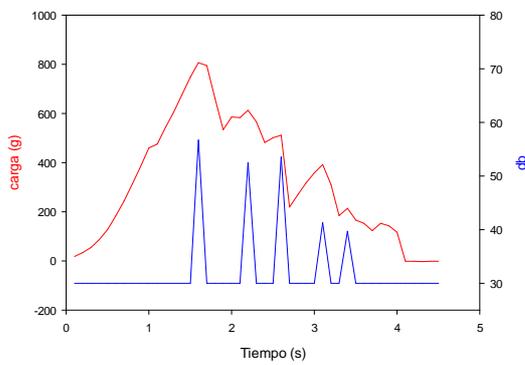
Comercial09



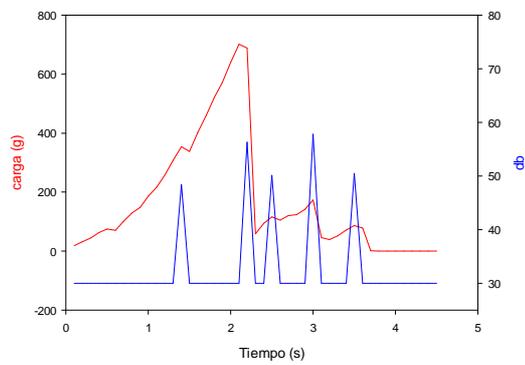
Comercial10



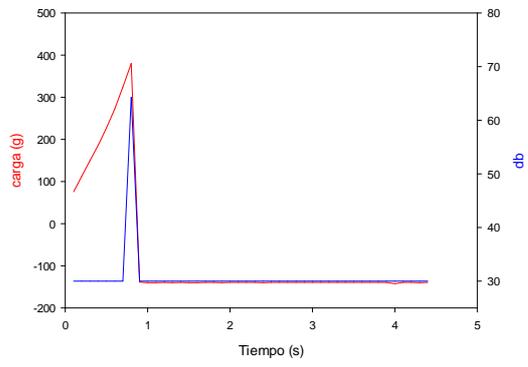
Comercial11



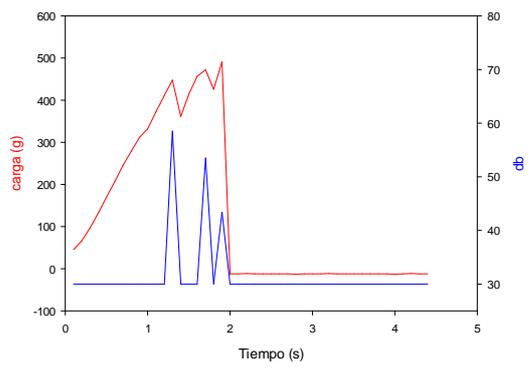
Comercial12



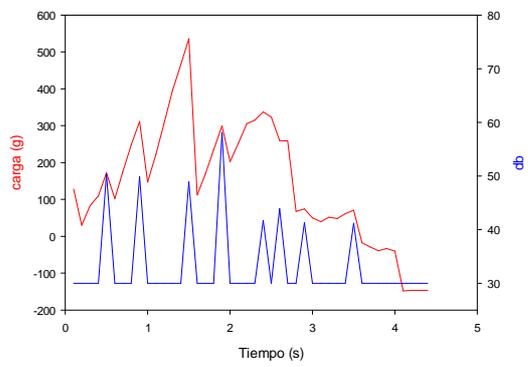
Comercial13



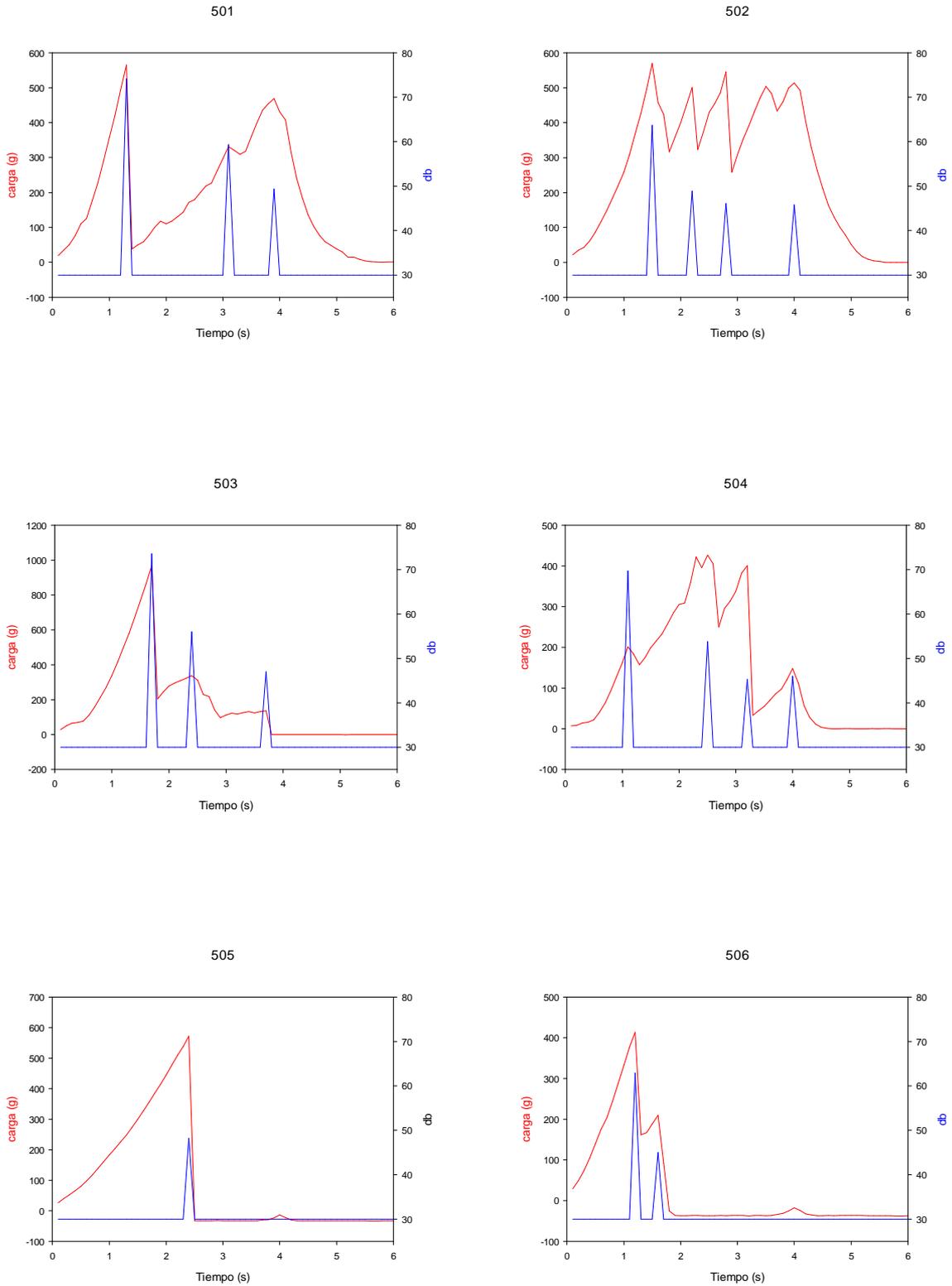
Comercial14



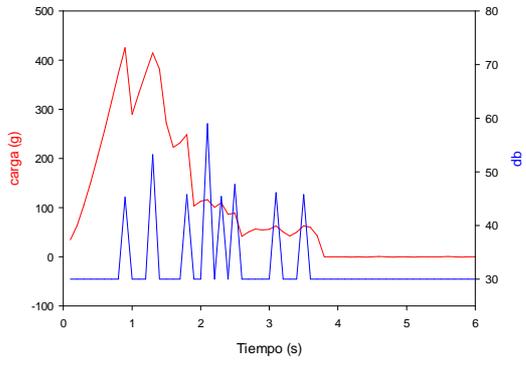
Comercial15



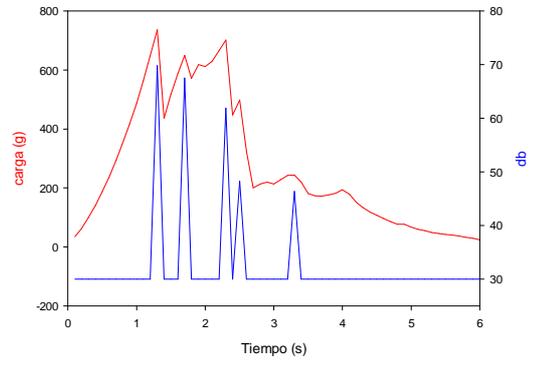
### 3. Gráficos de textura y emisión acústica de chips de chayotextle-soya 5%.



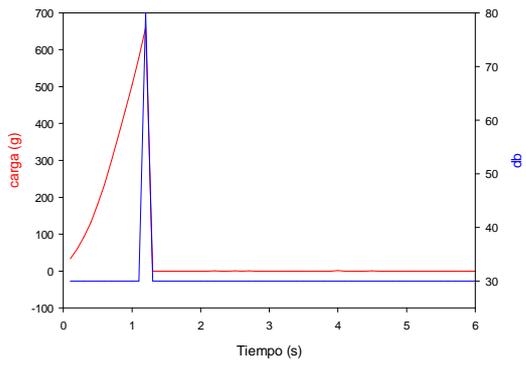
507



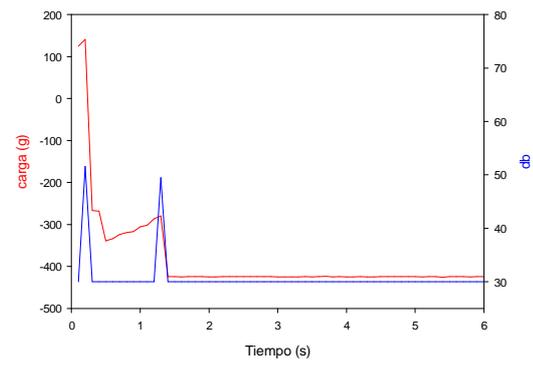
508



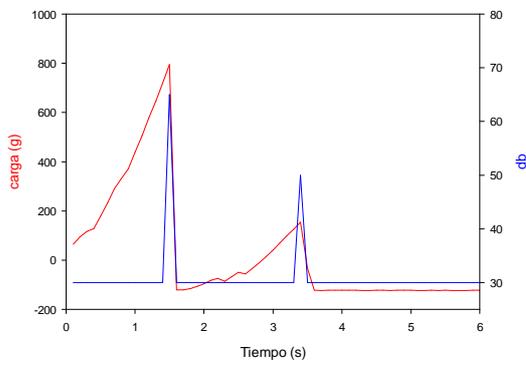
509



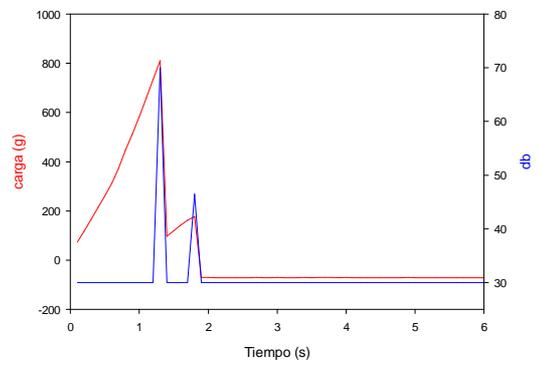
510



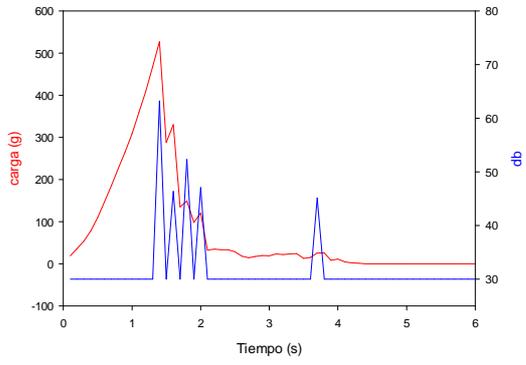
511



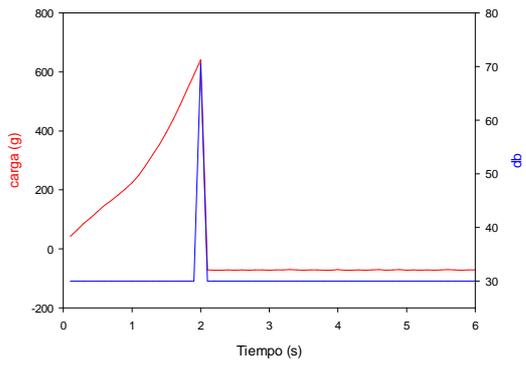
512



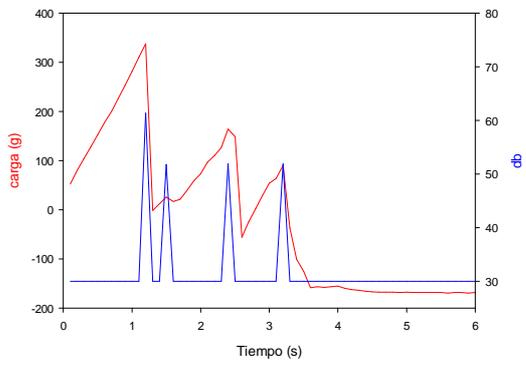
513



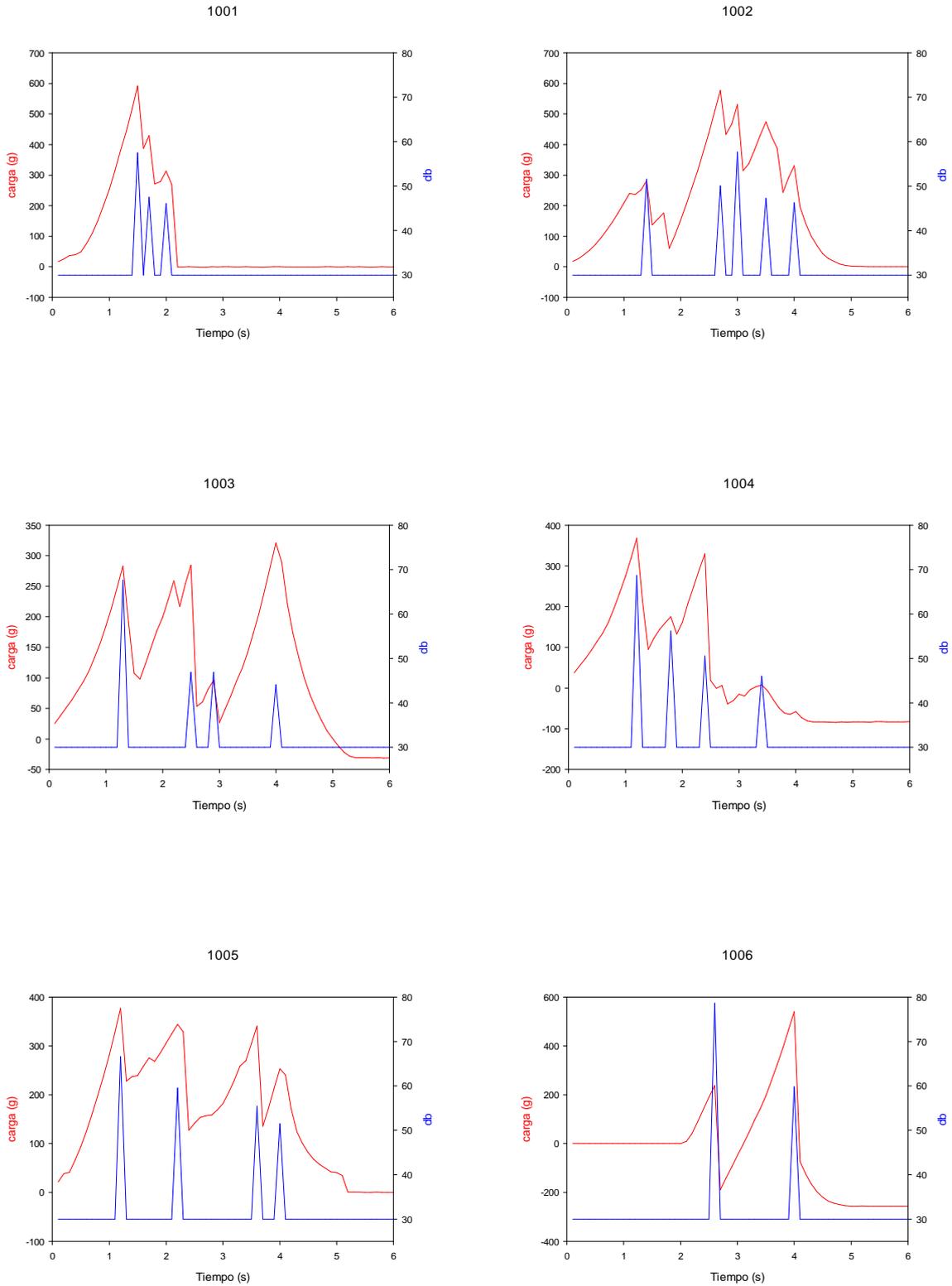
514



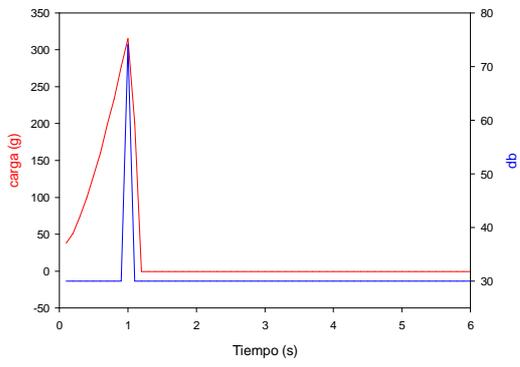
515



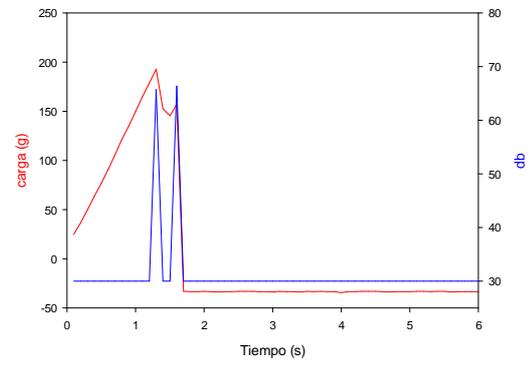
#### 4. Gráficos de textura y emisión acústica de chips de chayotextle-soya 10%.



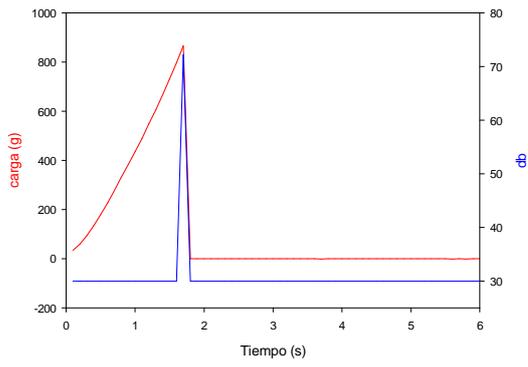
1007



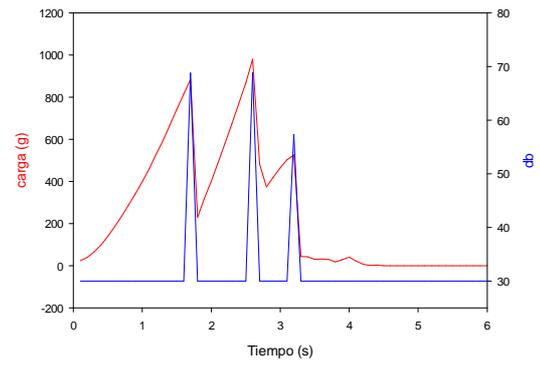
1008



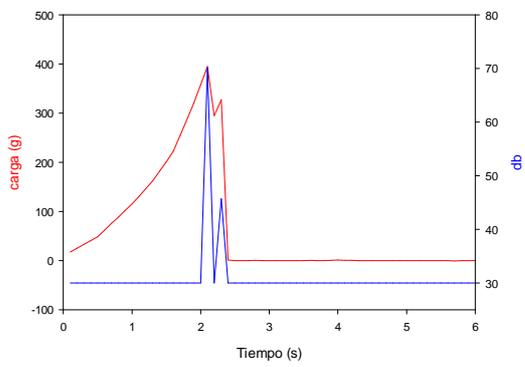
1009



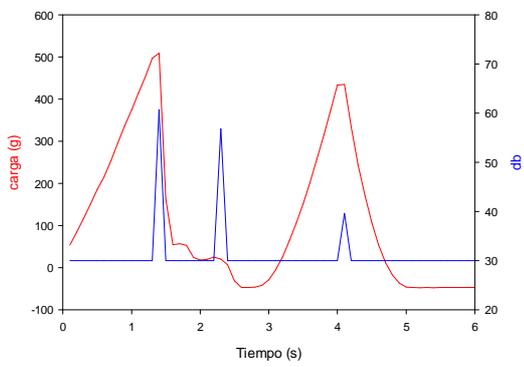
1010



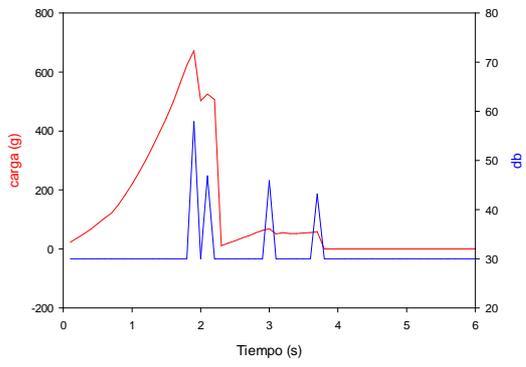
1011



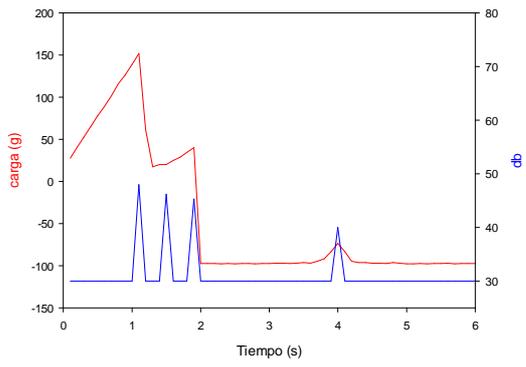
1012



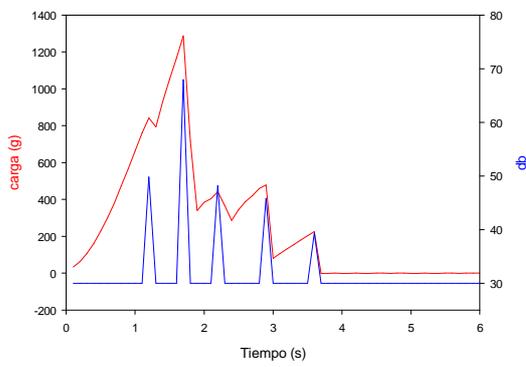
1013



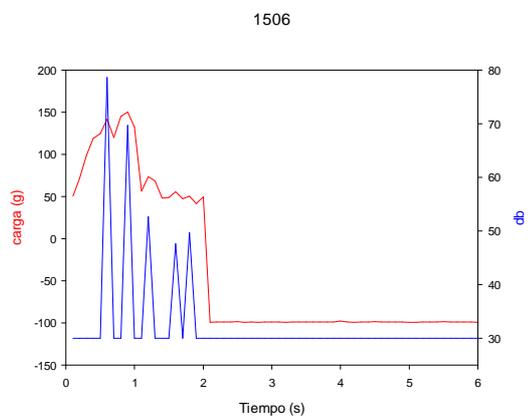
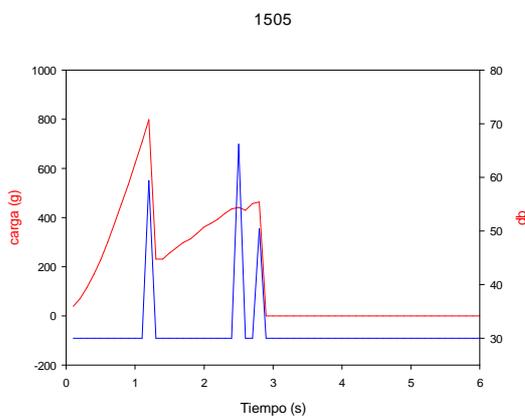
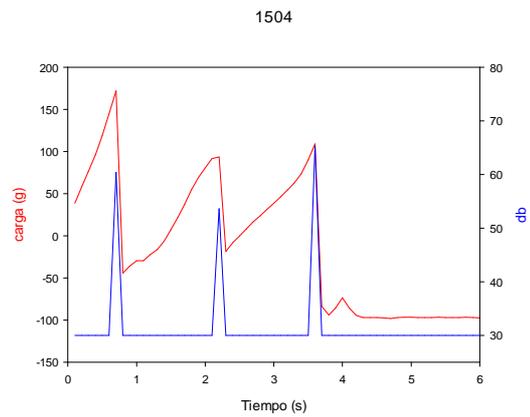
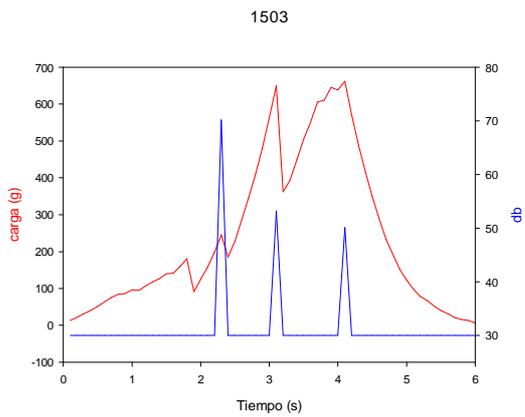
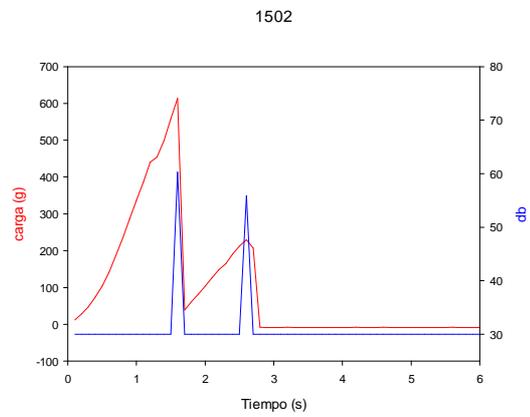
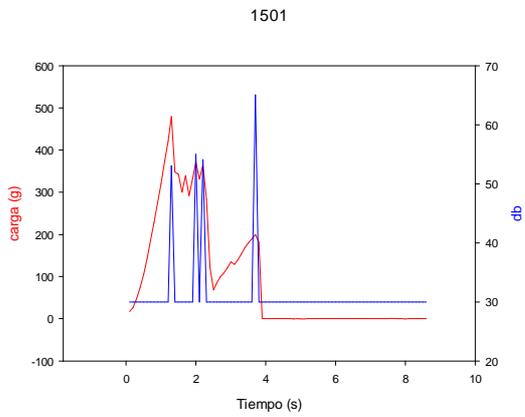
1014



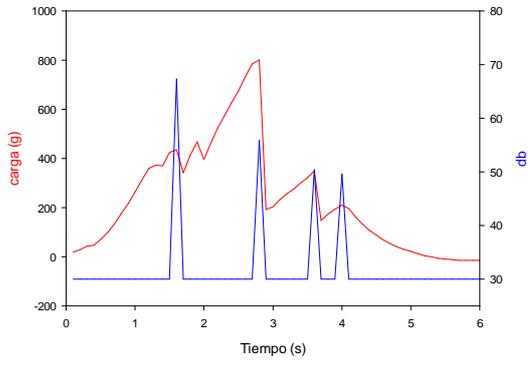
1015



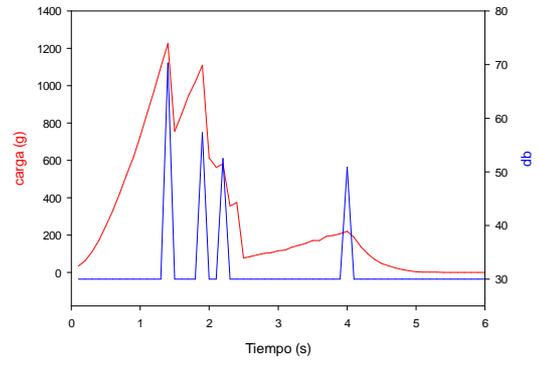
## 5. Gráficos de textura y emisión acústica de chips de chayotextle-soya 15%.



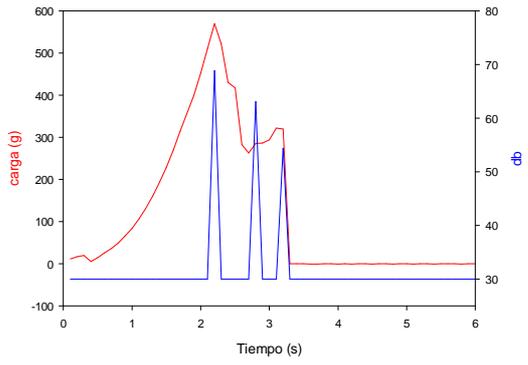
1507



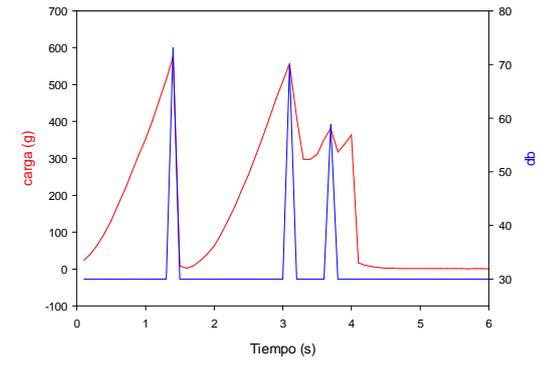
1508



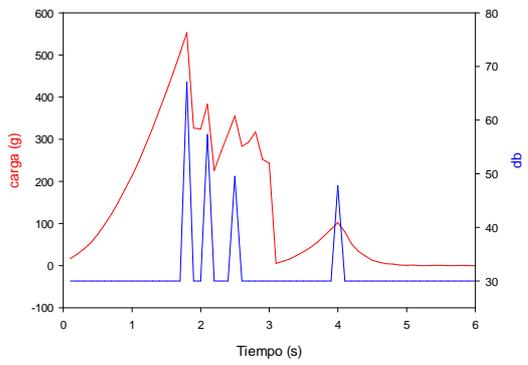
1509



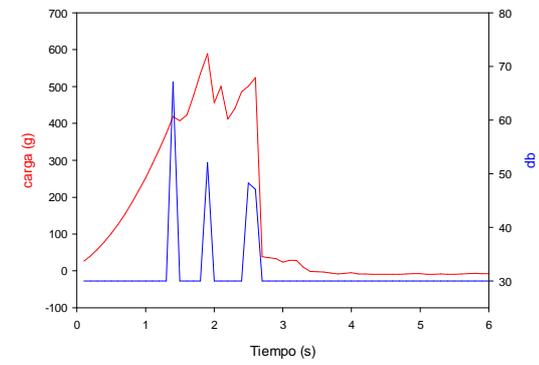
1510



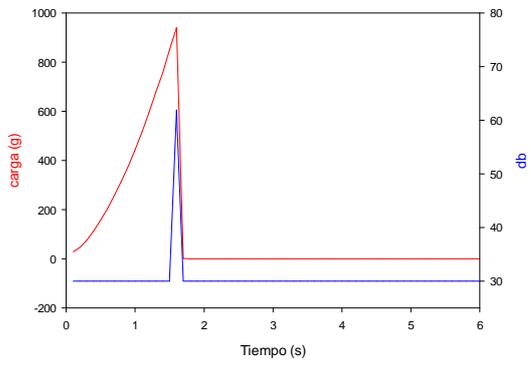
1511



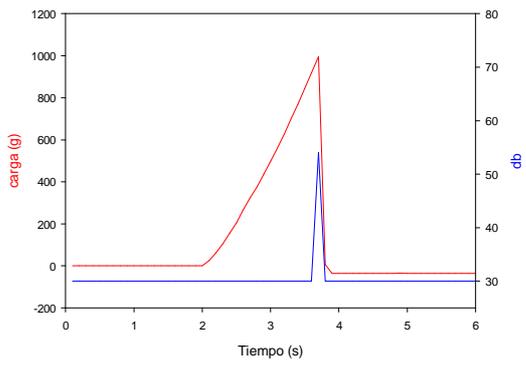
1512



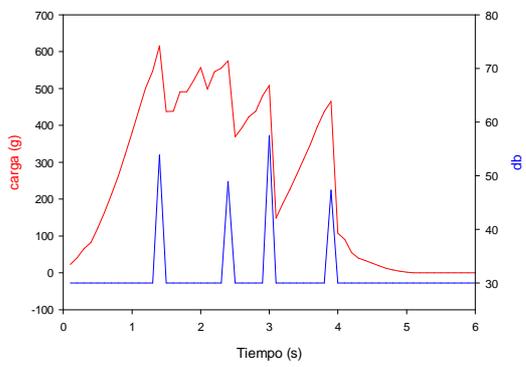
1513



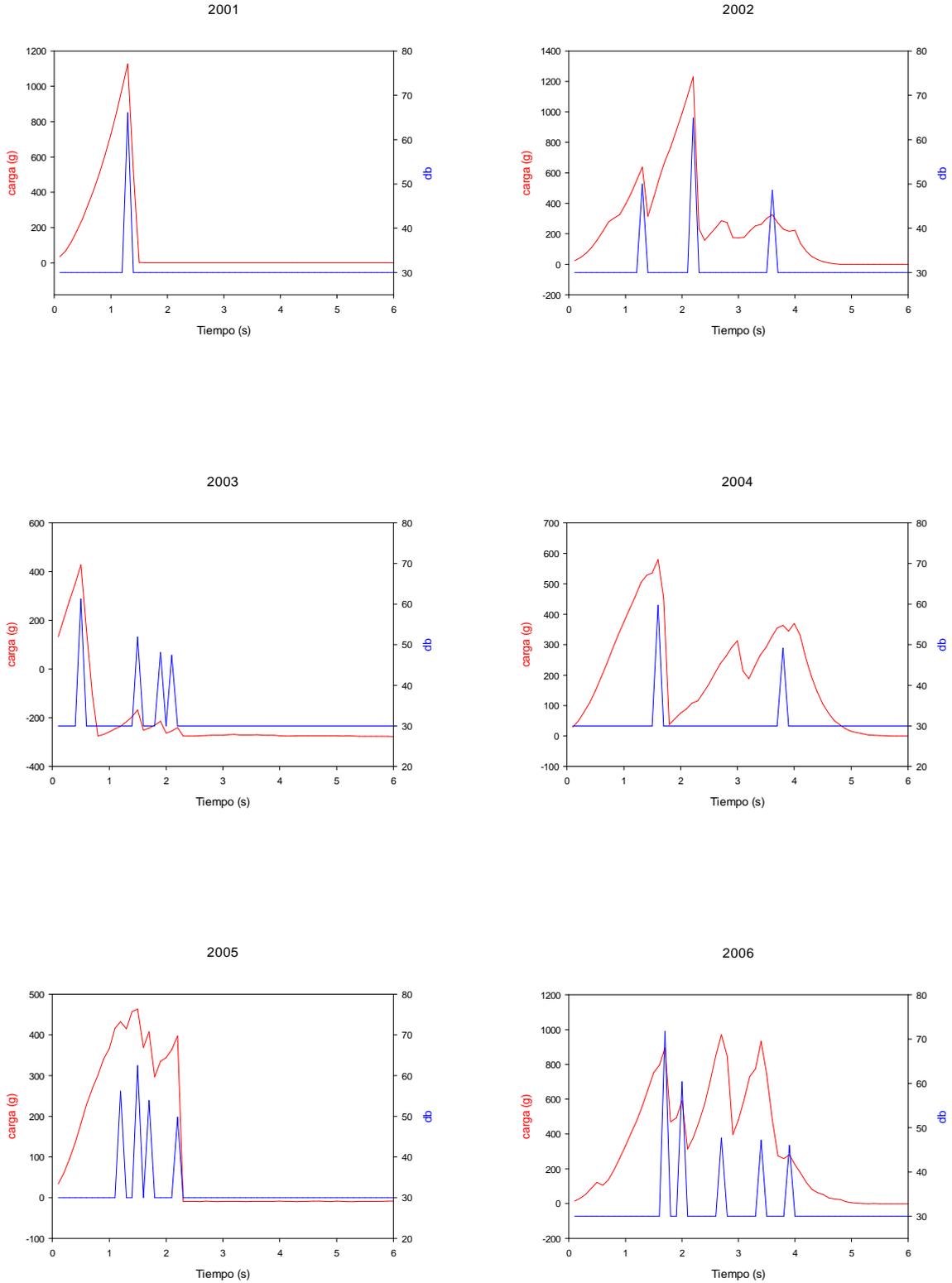
1514



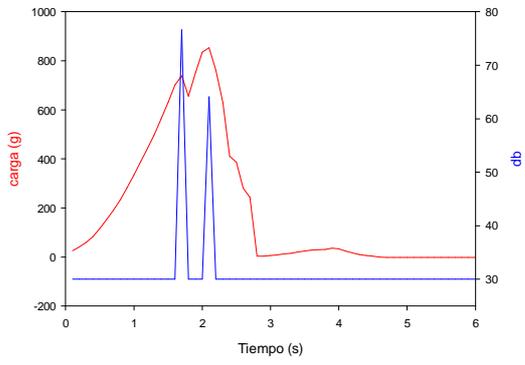
1515



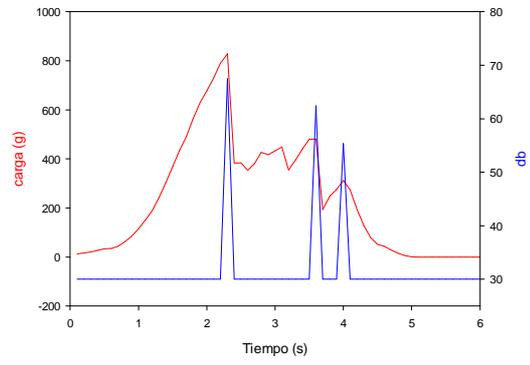
## 6. Gráficos de textura y emisión acústica de chips de chayotextle-soya 20%.



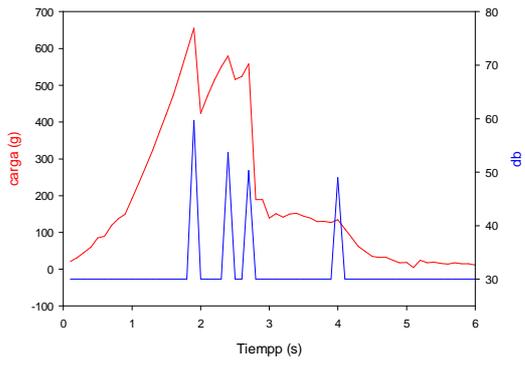
2007



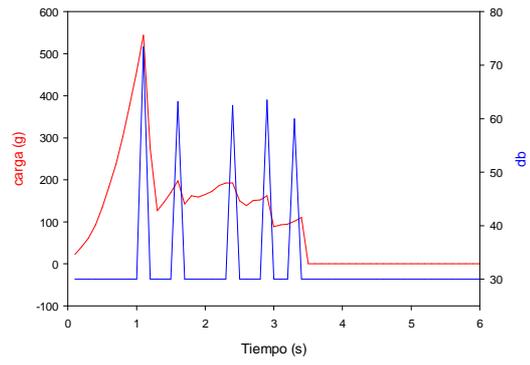
2008



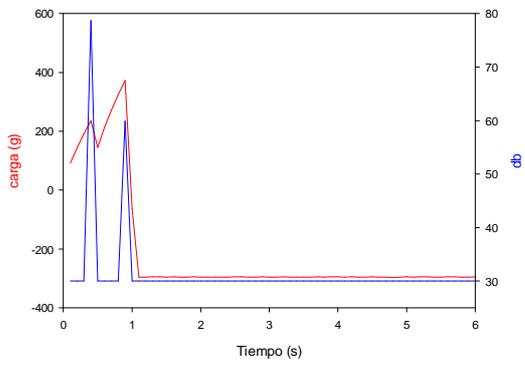
2009



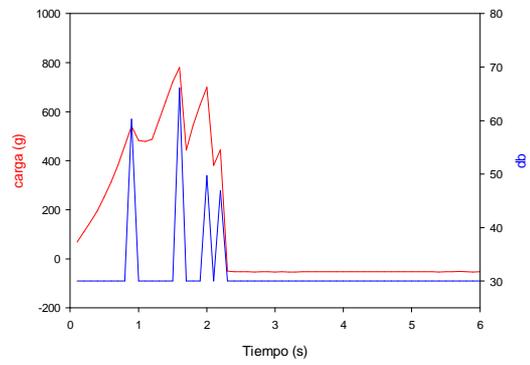
2010



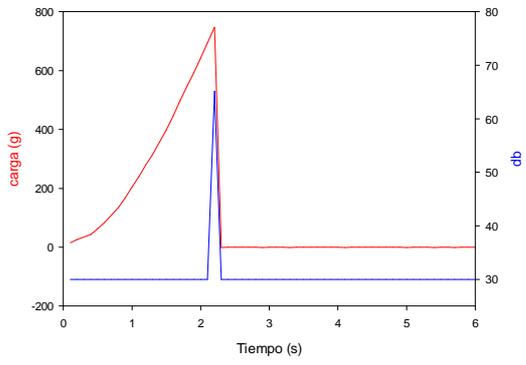
2011



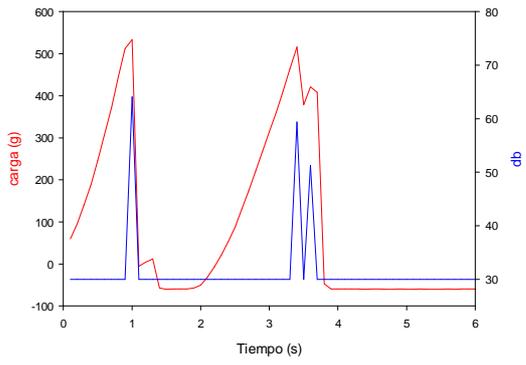
2012



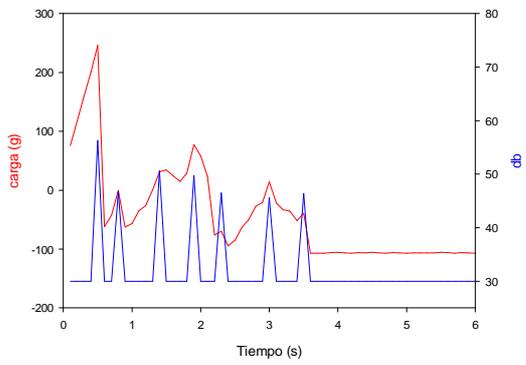
2013



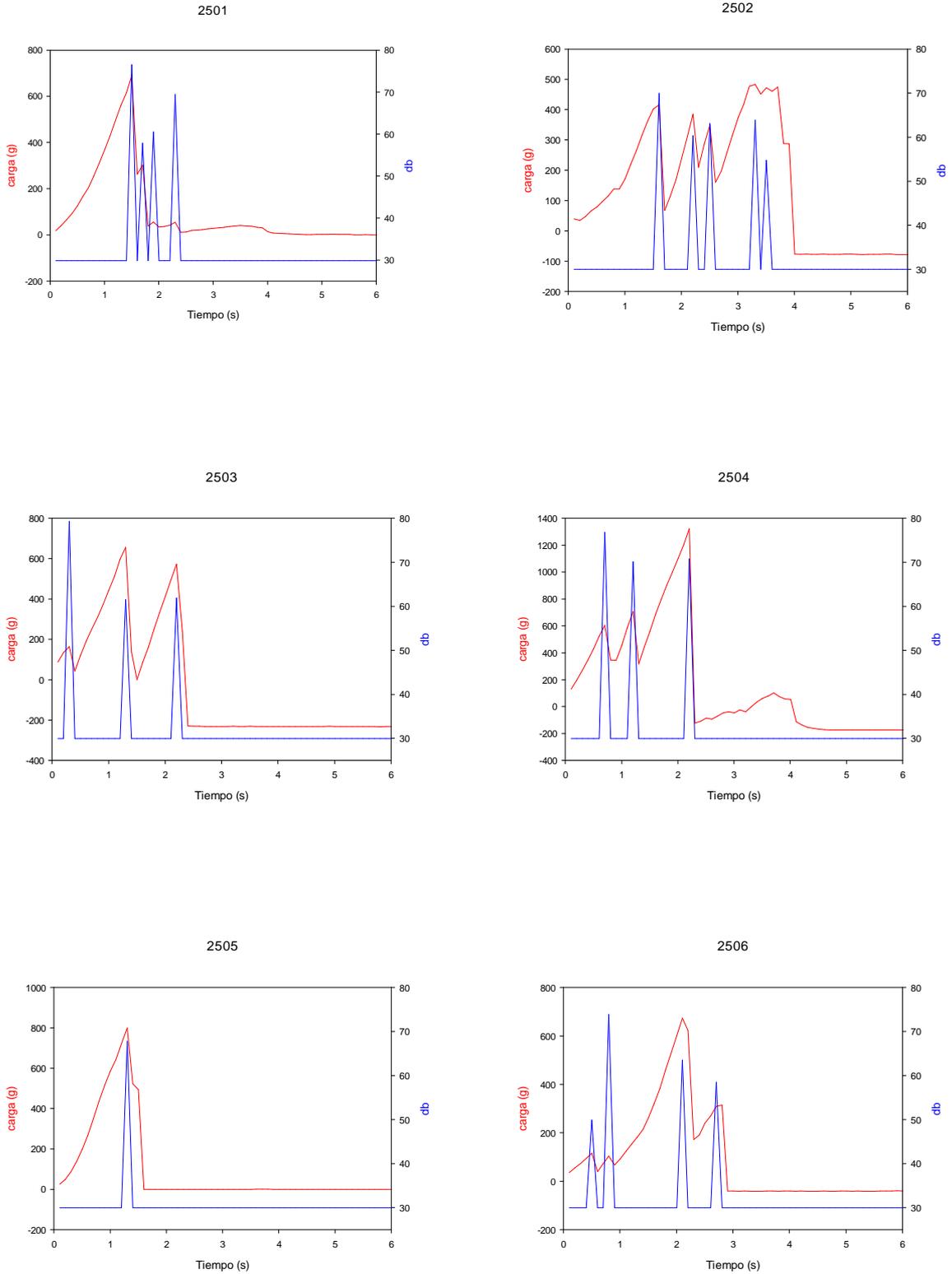
2014



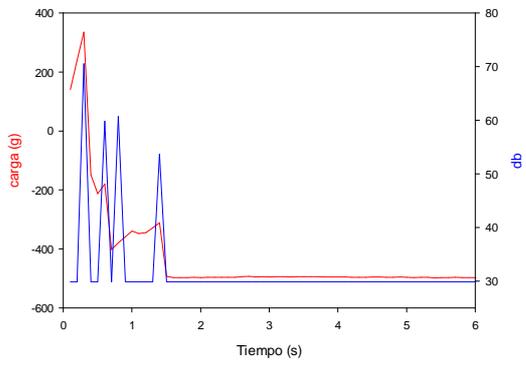
2015



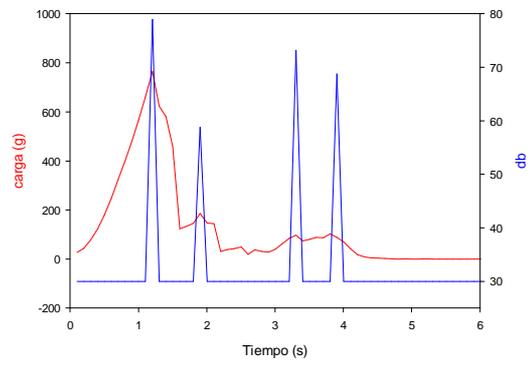
## 7. Gráficos de textura y emisión acústica de chips de chayotextle-soya 25%.



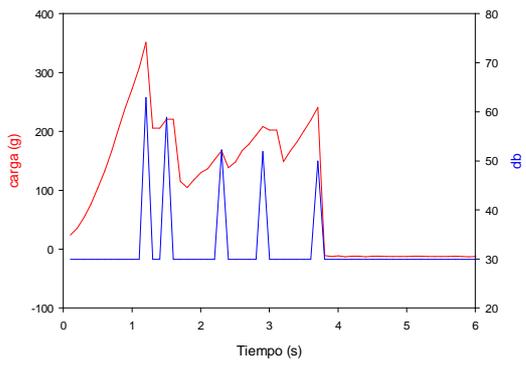
2507



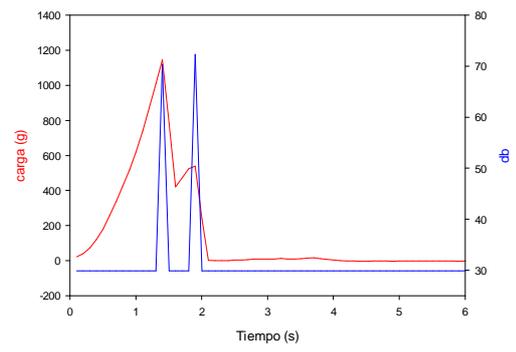
2508



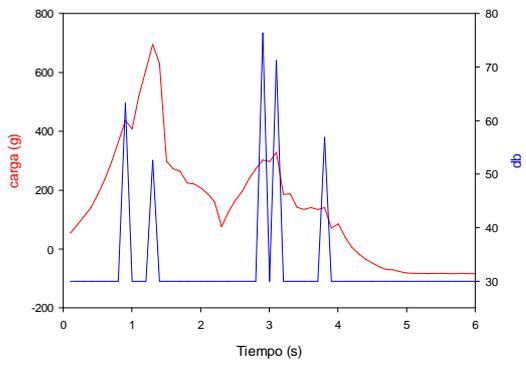
2509



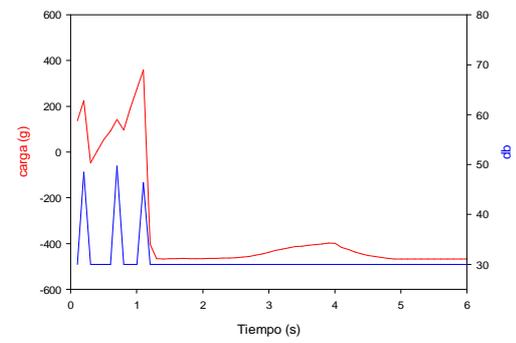
2510



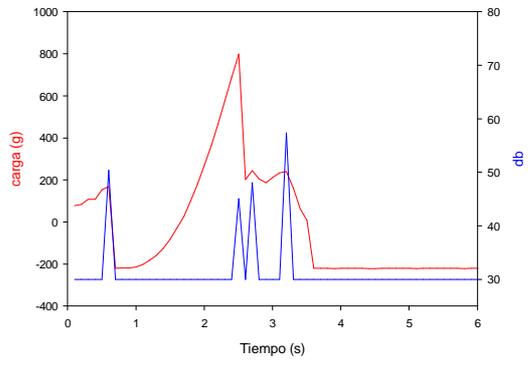
2511



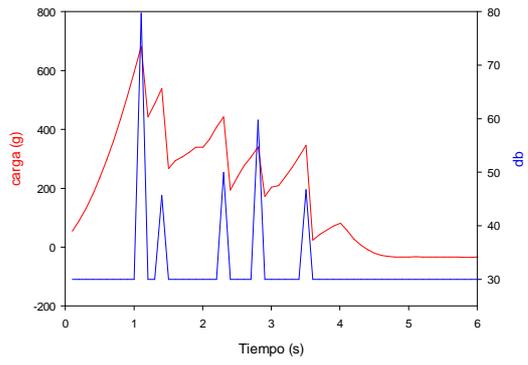
2512



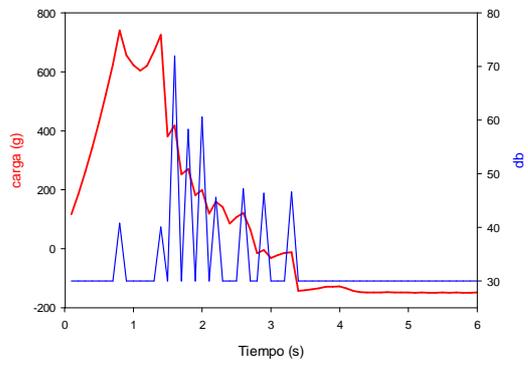
2513



2514



2515



8. Constancias.



1er CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INNOVACIÓN Y TENDENCIAS EN PROCESAMIENTO DE  
XVI CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE

# ¡ALIMENTOS!

28-30 mayo 2014  Guanajuato, Gto.



La Universidad de Guanajuato y  
La Universidad Autónoma de Nuevo León  
otorgan la presente

## CONSTANCIA

a

Cruz-Villegas, R., Hernández-Uribe, J.P. y Güemes-Vera N.

Por su participación con el trabajo

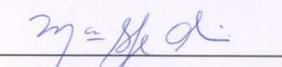
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE BOTANAS HORNEADAS POR RADIACIÓN DE  
MICROONDAS A PARTIR DE HARINAS DE CHAYOTE (SECHIUM EDULE) Y PAPA  
DULCE (IPOMOEA BATATAS)

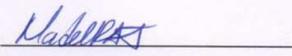
En el 1er. Congreso Internacional sobre Innovación y Tendencias  
en Procesamiento de Alimentos y el  
XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos

# ¡ALIMENTOS!

Del 28 al 30 de mayo de 2014 en la ciudad de Guanajuato, Gto.

  
Dr. Gerardo Martínez Soto  
Director del Departamento de Alimentos  
Universidad de Guanajuato

  
Dra. Ma. Guadalupe Alanís Guzmán  
Jefe del Depto. de Alimentos  
Universidad Autónoma de Nuevo León

  
Dra. Ma. del Rosario Abraham Juárez  
Coordinadora del evento

039 Cruz-Villegas

**6<sup>th</sup> FOOD Science  
Biotechnology  
Safety**

***CERTIFICATE OF PARTICIPATION***

It is certified that the work:

**Analysis of Crunchiness, Crispiness and Texture of Baked Snacks with Chayotextle Flour**

Authored by:

*Cruz V. R., Hernández U. J.P., Quintero L. A., Piloni M. J., Güemes V. N.*

Has been presented in the "6<sup>th</sup> International Congress on Food Science, Biotechnology and Safety" and "Food Safety 2014" held in Monterrey, Nuevo León, México



**Dr. José Santos García Alvarado**  
President of AMECA

**Dr. Hugo Sergio García Galindo**  
President of the Scientific Committee



**AMECA**

ASOCIACIÓN MEXICANA  
DE CIENCIAS DEL PAN  
Y ALIMENTOS S.C.

**Monterrey, N.L. México**  
**08-10 Octubre 2014**

9. Botana comercial evaluada.



INFORMACIÓN NUTIMENTAL/NUTRICIONAL	
UNA PORCIÓN: 1 tarta (30 g)	
Porciones por envase: 1	
<b>Cracker Chips Special K® Sal de Mar de KELLOGG'S® aporta:</b>	
1 PORCIÓN (30 g)	
<b>CONTENIDO ENERGÉTICO</b>	
Kilocalorías (kcal).....	110
Kilojoules (kJ).....	450
<b>PROTEÍNAS (g).....</b>	<b>2</b>
<b>GRASAS (lípidos) (g).....</b>	<b>2,5</b>
• GRASA SATURADA (g).....	0,5
• ÁCIDOS GRASOS TRANS (g).....	0
• GRASA MONOINSATURADA (g)...	0,7
• GRASA POLIINSATURADA (g).....	1,3
<b>COLESTEROL (mg).....</b>	<b>0</b>
<b>CARBOHIDRATOS DISPONIBLES</b>	
(hidratos de carbono) (g).....	19
• AZÚCARES (g).....	0
<b>FIBRA DIETÉTICA (g).....</b>	<b>3</b>
<b>SODIO (mg).....</b>	<b>230</b>
<b>INGREDIENTES DE LA TARTA:</b> Papa deshidratada, almidón de papa, harina de arroz, aceite vegetal, harina de maíz entero, fibra de avena, sal de mar, emulsificante (monoglicéridos y diglicéridos de ácidos grasos), sal, harina de trigo entero, harina de soya, suero de leche.	
<b>CONTIENE GLUTEN. CONTIENE INGREDIENTES DE HUEVO, LECHE Y TRIGO.</b>	