



Universidad Autónoma de Sinaloa

Facultad de Ciencias Químico Biológicas

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Utilización de subproducto de la industria de noni
(*Morinda citrifolia* L) para la elaboración de una
botana con alto valor nutrimental. Estudio de
optimización.**

TESIS

Que presenta

IIA. Samuel Arturo Delgado Murillo

Para obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIA

Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Directores

Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos

Dra. Irma Leticia Camacho Hernandez

Culiacán, Sinaloa, México, marzo de 2019

El presente trabajo de investigación fue realizado en los laboratorios de “Análisis químicos y funcionales de alimentos” y “Procesos Térmicos” de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa, bajo la dirección del Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos y la Dra. Irma Leticia Camacho Hernández y con la asesoría del Dr. Armando Carrillo López y la MC. Xóchitl Ariadna Ruiz Armenta.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán de Rosales, Sinaloa el día 28 del mes febrero del año 2019, el (la) que suscribe I.I.A. Samuel Arturo Delgado Murillo alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos con número de cuenta 16674529, de la Unidad Académica Facultad de Ciencias Químico Biológicas, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos y Dra. Irma Leticia Camacho Hernández y cede los derechos del trabajo titulado “Utilización de subproducto de la industria de noni (*Morinda citrifolia* L) para la elaboración de una botana con alto valor nutrimental. Estudio de optimización”, a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Del c. de M. Samuel A.

I.I.A. Samuel Arturo Delgado Murillo

AGRADECIMIENTO

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado a través de la beca.

Al **Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos** por su dirección, apoyo y confianza que me otorgó a lo largo de la realización del presente proyecto.

A la **Dra. Irma Leticia Camacho Hernández** por su dirección, apoyo y comprensión que me brindó a lo largo de la realización del presente proyecto.

Al **Dr. Armando Carrillo López** por la asesoría, apoyo y confianza que me brindó a lo largo de la realización del presente proyecto.

A la **MC. Xóchitl Ariadna Ruiz Armenta** por su apoyo en todo momento, por compartir su experiencia, por sus consejos y la amistad que me brindó a lo largo de este proyecto.

A mi compañera de laboratorio **MC. Christian Valenzuela Berrelleza** por la ayuda incondicional, por sus consejos y recomendaciones brindados y sobre todo por la amistad brindada.

A mis compañeros de maestría y de laboratorio por la amistad brindada a lo largo de nuestros estudios y el tiempo compartido en los laboratorios.

A mis compañeras y amigas de laboratorio: **Paola Crisabel Reyes Urrea** por sus consejos, recomendaciones y su gran amistad brindada, a **Sarahi Agramón Velázquez** por su apoyo, consejos y amistad brindada, a **Marielos Ayala Cebreros** por todo el apoyo y tiempo invertido en el proyecto, por sus consejos y su amistad y a **Diana Estefany García Patiño** por su apoyo, consejos y amistad brindada

A mi familia con especial mención a mis tres madres, Mi madre **Rosa Murillo Méndez** por creer en mí, apoyarme en las decisiones que tome y su cariño incondicional; a mi tía **Juanis Murillo Méndez** por estar siempre para mí como madre, tía y amiga, por su gran apoyo en las decisiones que tome y su comprensión; a mi abuela **Rosa Méndez Pimentel** por estar siempre ahí para darme palabras de aliento, por sus sabios consejos, pero sobre todo por su apoyo.

A mi hermana **María Guadalupe Delgado Murillo** por su gran apoyo a lo largo del proyecto, por estar ahí para mí a pesar de todo, por ser más que mi hermana mi amiga y confidente.

A mis mejores amigas, **IIA. Mary Andrea Flores Roman, IIA. Jesús Amairany Valdez Gastelum, IIA. Yanira Fierro Leyva, IIA. Teresa de Jesús Valdez López, IIA Ivonne Samay Cervantes Silvas, IIA. Ana Sarahi Ortiz Castillo y IIA. Fátima Roció Corona González** porque a pesar de la distancia y todos los obstáculos que se han presentado en nuestra amistad esta cada día ha crecido y su apoyo incondicional siempre ha estado presente, por sus palabras de aliento que han llegado en los momentos más oportunos, porque siempre me motivan a ser mejor profesionalista, persona y amigo, y sobretodo por ser uno de los pilares principales de mi vida. Muchas gracias.

Al **Arq. Takeshi Beltrán Aguilar** porque a pesar del poco tiempo de conocernos me otorgaste el último impulso necesario para cumplir mis metas y siempre dar lo mejor de mí.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN.....	3
III. REVISIÓN LITERARIA.....	5
A. ALIMENTOS BOTANA	5
1. Generalidades.....	5
2. Clasificación de los alimentos botana	7
3. Producción y consumo de alimentos botana.....	8
B. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS PARA ELABORACIÓN DE BOTANAS..	11
1. Maíz (<i>Zea Mays</i> L)	11
a. Generalidades	11
b. Maíz amarillo	13
2. Noni (<i>Morinda citrifolia</i> L)	14
a. Generalidades	14
b. Descripción de la planta.....	16

c. Composición química.....	17
d. Propiedades biológicas.....	18
e. Productos del noni	20
f. Producción y comercialización del noni	20
C. PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	25
1. Generalidades.....	25
2. Componentes de un extrusor	26
3. Clasificación de los extrusores.....	28
a. Extrusor de tornillo simple.....	28
b. Extrusor de doble tornillo	29
4. Elaboración de alimentos botana por extrusión	29
IV. JUSTIFICACIÓN.....	31
V. HIPÓTESIS.....	33
VI. OBJETIVOS.....	34
A. OBJETIVO GENERAL	34
B. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	34
VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
A. MATERIALES	35
1. Materias primas	35

B. METODOS EXPERIMENTALES	36
1. Proceso de extrusión	36
C. METODOS ANALITICOS	37
1. Características de las materias primas	37
a. Composición proximal	37
b. Tamaño de partículas	37
D. METODOS FISICOS Y FISICOQUIMICOS	38
1. Índice de expansión (IE)	38
2. Densidad aparente (DA)	38
3. Fuerza de penetración (FP)	39
4. Índice de absorción de agua (IAA)	39
5. Solidos solubles en agua	40
6. Parámetros de color	40
E. METODOS FUNCIONALES	41
1. Compuestos fenólicos totales (CFT)	41
a. Extracción de la muestra	41
b. Preparación de curvas de calibración	42
c. Determinación de contenido de compuestos fenólicos	42
2. Actividad antioxidante DPPH	43

a. Extracción de la muestra	43
b. Preparación de curvas de calibración	43
c. Medición de la capacidad antioxidante	44
3. Actividad antioxidante ABTS	44
a. Extracción de la muestra	44
b. Preparación de curvas de calibración	44
4. Carotenoides totales (CT)	46
a. Extracción de la muestra	46
b. Curva de calibración	46
c. Determinación de carotenoides totales	47
5. Fibra	47
a. Fibra dietaría	47
b. Fibra dietaría insoluble y soluble	48
F. METODOS ESTADISTICOS.....	48
1. Diseño experimental	48
2. Análisis de datos	50
3. Optimización de proceso.....	50
G. ANALISIS SENSORIAL.....	50
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	52

A. METODOS ANALITICOS	52
1. Características de las materias primas	52
a. Composición proximal	52
b. Tamaño de partículas de la materia prima	52
c. Índice de absorción en agua y solidos solubles de materias primas....	55
B. METODOS EXPERIMENTALES	55
1. Estudio preliminar de extrusión	55
C. PARAMETROS FISICOQUIMICOS	58
1. Índice de expansión (IE)	58
2. Densidad aparente (DA)	62
3. Fuerza de penetración (FP)	65
4. Parámetro de color L*	68
5. Parámetro de color a*	69
6. Parámetro de color b*	71
7. Diferencia total de color (ΔE)	73
8. Energía mecánica específica (EME)	78
D. PARAMETROS FUNCIONALES	81
1. Compuestos fenólicos totales (CFT)	83
2. Compuestos fenólicos libres (CFTLib)	86

3. Compuestos fenólicos ligados (CFTLig)	87
4. Capacidad antioxidante DPPH (DPPH)	91
5. Capacidad antioxidante DPPH de extractos libres (DPPHLib).....	94
6. Capacidad antioxidante DPPH de extractos ligados (DPPHLig).....	96
7. Capacidad antioxidante ABTS (ABTS).....	99
8. Capacidad antioxidante ABTS de extractos libres (ABTSLib)	102
9. Capacidad antioxidante ABTS de extractos ligados (ABTSLig)	104
E. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	107
F. ANÁLISIS SENSORIAL	116
IX. CONCLUSIONES	122
X. BIBLIOGRAFÍA	124
XI. APÉNDICE.....	134
XII. ANEXOS	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pagina
1	Ejemplos de los diferentes tipos de botanas: (A) primera generación, (B) segunda generación y (C) tercera generación.	9
2	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre el Índice de Expansion (IE) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	61
3	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la Densidad Aparente (DA) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	64
4	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la Fuerza de Penetracion (FP) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	67
5	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre el parametro de color L* (Luminosidad) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	70

6	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre el parametro de color a^* de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	72
7	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre el parametro de color b^* de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	74
8	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la diferencia total de color (ΔE) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	75
9	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la Energía Mecánica Específica (EME) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	80
10	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre los Compuestos Fenolicos Totales (CFT) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	85

11	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre los Compuestos Fenolicos Libres (CFLib) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	88
12	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre los Compuestos Fenolicos Ligados (CFLig) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	90
13	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante por el metodo DPPH (DPPH) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	92
14	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante por el método DPPH en extractos Libres (DPPHLib) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	95
15	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante por el método DPPH en extractos Ligados (DPPHLig) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	98

16	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante medido por el método ABTS (ABTS) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	100
17	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante medido por el método ABTS en los extractos Libres (ABTSLib) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	103
18	Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante medido por el método ABTS en los extractos Ligados (ABTSLig) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.	105
19	Deseabilidad individual y global (combinada) de las variables de proceso y respuestas analizadas durante las condiciones Óptimas 1 (O1).	110
20	Deseabilidad individual y global (combinada) de las variables de proceso y respuestas analizadas durante las condiciones Óptimas 2 (O2).	111

21	Análisis de frecuencia de la edad (A) y frecuencia de consumo (B) de los evaluadores, en el análisis sensorial de productos directamente extrudidos adicionados con HBN.	117
22	Análisis de frecuencia del lugar de consumo (A) y frecuencia de la ocupación de los consumidores (B), en el análisis sensorial de productos directamente extrudidos adicionados con HBN	118

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pagina
1	Descripción taxonómica de <i>Morinda. citrifolia</i> .	15
2	Minerales presentes en la harina de fruto de noni.	19
3	Producción anual de noni en México.	21
4	Superficie cosechada y producción de noni por estado.	22
5	Diseño experimental central compuesto rotatable, de dos variables independientes: Contenido Harina de Bagazo de Noni (HBN) y Velocidad de Tornillo (VT) ($\alpha= 1.682$).	49
6	Composición química de las materias primas utilizadas para la elaboración de botanas directamente expandidas con bagazo de noni.	53
7	Distribución de tamaño de partícula de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión (A: harina de maíz amarillo y B: harina de bagazo de noni).	54
8	Índice de absorción en agua y sólidos solubles en agua de las materias primas (Harina de Maíz Amarillo (HMA) y Harina de Bagazo de Noni (HBN)) utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de botanas directamente expandidas.	56

9	Análisis de varianza de las respuestas fisicoquímicas en la elaboración de alimentos botana directamente expandidas adicionados con harina de bagazo de noni.	59
10	Análisis de varianza de las respuestas funcionales en la elaboración de alimentos botana directamente expandidas adicionados con harina de bagazo de noni.	82
11	Criterios y límites para la optimización del proceso de extrusión.	108
12	Valores predichos y experimentales de propiedades fisicoquímicas y funcionales de O1 y O2.	113
13	Valores experimentales de propiedades fisicoquímicas y funcionales de botanas directamente expandidas obtenidas de las condiciones de procesamiento O1 y O2.	115
14	Frecuencia de aceptabilidad general y de los atributos de la botana O1, O2 y blanco.	119
15	Frecuencia de posibilidad de compra de la botana O1, O2 y blanco.	121

I. RESUMEN

Actualmente la población mundial tiene un grave problema debido a una alimentación inadecuada y los problemas que esta conlleva. Y México no es la excepción este problema lamentablemente afecta a todos en general. Debido principalmente al estilo de vida que hoy en día se lleva, no se cuenta con suficiente tiempo para comer en casa. La aceptabilidad botana se ha incrementado al ser considerados como un producto listo para su consumo y por su practicidad.

Considerando la alta aceptabilidad de los productos botana, estos productos pueden utilizarse como un vehículo de incorporación de nutrientes que aporten beneficios a la salud del consumidor dándole un valor agregado. Una alternativa podría ser la adición de subproductos, como es el caso del bagazo de noni (*Morinda citrifolia* L.) para la elaboración de una botana directamente expandida con alto valor nutrimental y con gran contenido de compuestos fenólicos totales que pueden favorecer la salud del consumidor. El objetivo principal del estudio fue elaborar una botana directamente expandida, por extrusión. con alto valor funcional a partir de bagazo de la industria de noni utilizando la metodología de superficie de respuesta para su optimización.

Se definieron, mediante estudios preliminares, los límites de contenido de harina de bagazo de noni (HBN:0-12 %) y velocidad de tornillo (VT: 223- 335 rpm) así como la mezcla base (70:30 MA y AM) a utilizar para la preparación de los diferentes tratamientos. Se utilizó un diseño experimental central compuesto rotatable para el análisis de datos. Se aplicó la metodología de superficie de respuesta como herramienta para la obtención de las condiciones óptimas de procesamiento, con

las cuales se obtuvieron los mayores valores de Compuestos Fenólicos Totales (CFT), y los menores valores de Densidad Aparente (DA), Fuerza de Penetración (FP) obteniendo así dos condiciones óptimas (O1 y O2) de procesamiento (condiciones óptimas 1, HBN= 0.52 %, VT= 332.44 rpm y condiciones óptimas 2, HBN= 11.23 % y VT=303.18 rpm). El paquete estadístico arrojó valores predichos para las condiciones óptimas 1. para las variables de respuesta evaluadas de DA= 132.83 kg/m³, FP= 2.3 N, CFT=2551.25 mg EAG/100 g. b.s., obteniendo una deseabilidad global de 0.95; mientras que, para las condiciones óptimas 2: DA=156.52kg/m³, FP=2.8N y CFT=2419. 73 mg EAG/100 g. b.s. obteniendo una deseabilidad global de 0.69. Una vez obtenida la botana óptima 1 y 2, se evaluaron sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, incluyendo las variables con las que se optimizó el proceso, obteniendo valores de DA= 136.77 ± 7.90 kg/m³, FP= 2.35 ± 0.91 N y CFT= 2526.38 ± 0.95 mg EAG/100 g. b.s para O1, y de DA=158.47 ± 7.98 kg/m³, FP= 2.81 ± 1.08 N y CFT= 2418.03 ± 0.97 mg EAG/100 g. b.s para O2 los cuales son similares a los valores predichos por el diseño. Los resultados obtenidos indican que es posible elaborar mediante el proceso de extrusión, alimentos botana directamente extrudidos con buenas características fisicoquímicas, nutrimentales, además de poseer la ventaja de contener compuestos bioactivos.

II. INTRODUCCIÓN

Los alimentos son imprescindibles para la vida y suministran al organismo los nutrientes y energía necesarios para mantener nuestro organismo saludable. Para mantener la salud debemos conocer nuestras necesidades nutricionales, así como la composición de los alimentos. De este modo podremos analizar si nuestra forma de alimentarnos es la correcta y modificar nuestra dieta si fuera necesario.

Sin embargo, actualmente la población mundial tiene un grave problema con la mala alimentación y los problemas que esta conlleva. En México la población sufre de males causados por la mala alimentación, y lamentablemente este problema afecta a todos en general. En la sierra las comunidades indígenas sufren de una hambruna terrible y por ende desnutrición; mientras tanto, en zonas urbanas se encuentra la problemática de personas con obesidad, hipertensión, diabetes, entre otras enfermedades crónico degenerativas (Figueroa y col, 2010).

Por lo cual, la población en general está creando conciencia de consumir alimentos con beneficios adicionales al suministro de energía y nutrientes, con tendencia hacia la nutrición óptima que se refleje en la mejora de la salud. Debido a ello, estudios se han enfocado en descubrir o diseñar alimentos que demuestren contener componentes bioactivos, o que por transformación y/o modificación (adición o sustracción) de sus componentes, ofrezcan la posibilidad de mejorar el bienestar físico y mental, así como reducir el riesgo a contraer enfermedades o padecimientos (González-Aguilar y col 2014).

Considerando la alta aceptabilidad de los productos botana, estos productos pueden utilizarse como un vehículo de incorporación de nutrientes que aporten beneficios a la salud del consumidor dándole un valor agregado, gracias al aporte de diversas características nutrimentales y/o funcionales. Una alternativa podría ser la incorporación de compuestos que previenen problemas tipo crónico degenerativo como lo son el cáncer y enfermedades cardiovasculares. Esto mediante la adición de subproductos, como es el caso del bagazo de noni (*Morinda citrifolia* L.) para la elaboración de una botana directamente expandida con alto valor nutrimental y con gran contenido de compuestos fenólicos totales que pudieran favorecer la salud del consumidor.

Existen pocos trabajos científicos publicados sobre la elaboración de botanas directamente expandidas con la adición de subproductos de frutos o vegetales que permitan enriquecer el producto teniendo como resultado botanas con potencial funcional.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

A. ALIMENTOS BOTANA

1. Generalidades

Los alimentos tipo botana siempre han sido una parte importante en la vida y dieta de las personas. Un sin número de alimentos son utilizados como botanas, siendo las más populares las papas fritas, frituras de maíz, semillas y botana extrudidas (Maga, 2000).

Los alimentos botana son generalmente utilizados para satisfacer el hambre temporalmente, proporcionan gran cantidad de energía, están elaboradas para ser más apetecibles que los alimentos convencionales, contienen importantes cantidades de edulcorantes, saborizantes y sal. Son alimentos que no son consumidos como parte de las comidas principales diarias (desayuno, comida y cena). La palabra “snack” comúnmente se traduce del idioma inglés como “botana”. Pérez-Navarrete y col (2006) definen las botanas como “una porción pequeña e individual de comida, ligera, fácil de manipular, lista para comerse, económica, ya sea sólida o líquida y, lo más importante, debe satisfacer la sensación de hambre por un momento”. Por lo general, las botanas no se consideran como verdaderos alimentos, ya que son cuestionadas por su bajo valor nutritivo. Sin embargo, han evolucionado de acuerdo a las exigencias de los consumidores.

Hoy en día, la industria alimentaria tiene como reto tecnológico presentar los alimentos de forma tal que conserven las características nutritivas y sensoriales para ser aceptados por el consumidor. La diferencia entre alimentos convencionales

y los productos alimenticios fabricados es que en estos últimos los componentes básicos; proteínas, grasas y carbohidratos pueden obtenerse de cualquier fuente natural y combinarse junto con otros nutrimentos, sabores y colores a fin de obtener como resultado final un producto atractivo en cuanto a su composición y sus propiedades sensoriales. La innovación tecnológica ha hecho esto posible, lo que permite crear nuevos productos alimenticios a partir de diferentes procesos y materias primas (Arias–García y col 2007).

Además de lo anteriormente mencionado se busca, que los productos no pierdan el atractivo que los productos botana tienen, es decir, el motivo por el cual los consumidores prefieren este tipo de alimentos. Es por ello que existe una gran diversidad de alimentos botana, basándose en sus características de textura, color, sabor, forma, palatabilidad, etc. De acuerdo con Barrett y Peleg (1992) gran parte de la popularidad de los alimentos botana es gracias a su textura crujiente, la cual se debe a la estructura celular tipo “panal de abeja”, que es impartida al material durante la extrusión. Asimismo, el color es una de las características más importantes ya que es uno de los factores que más influye sobre la aceptabilidad del alimento (Maga y Kim 1990).

Los alimentos botana se pueden rediseñar para aumentar su valor nutrimental, adicionando micro y/o macronutrientes, componentes fitoquímicos, vitaminas, antioxidantes, etc.; ingredientes que los hacen atractivos al consumidor (Van Hulle y col 1983). También se pueden elaborar a partir de mezclas de granos con frutas, hortalizas y algunos concentrados o aislados proteínicos con el fin obtener productos de alto valor nutricional (Shukla 1994).

Existen actualmente muchas técnicas para el desarrollo de alimentos botana con características y textura apropiadas y de éstas la extrusión térmica viene a ser una de las más importantes (Arias–García y col 2007).

2. Clasificación de los alimentos botanas

Las botanas se pueden agrupar, en términos generales, con base en las materias primas utilizadas para su elaboración, encontrándose el grupo de las botanas elaboradas a base de harina de trigo, el grupo de las papas fritas y las elaboradas con maíz nixtamalizado (Benítez-Aguilar, 1998).

Debido a la variabilidad en las técnicas de elaboración, las botanas han sido clasificadas en tres generaciones. La primera generación considera los productos convencionales elaborados a partir del grano entero usando combinaciones de humedad y temperatura (papas fritas, cacahuates enchilados, pepitas, etc.).

Las botanas de segunda generación son productos, en los cuales la materia prima se ve involucrada en distintas etapas de preparación para la obtención de una masa, la cual es sometida a un proceso de cocción para obtener el producto final. Mientras que, las botanas de tercera generación (3G), también conocidas como botanas semi-terminadas (*Semi-products*), productos intermediarios (*half-products*), “pellets”, comprimidos, frituras o “viejas”, los cuales son parecidos a los productos de segunda generación, sin embargo, el producto obtenido no se encuentra listo para ser consumido. Su presentación final comúnmente viene después de un freído en aceite caliente o expansión usando aire caliente o microondas, asimismo, se

puede emplear radiación infrarroja. En la **Figura 1** se muestra una ilustración sobre ejemplos de las diferentes generaciones de botana.

A pesar de que existen 3 generaciones diferentes de alimentos botana, la más importante o la que ha tenido mayor producción y consumo son las botanas de segunda generación.

3. Producción y consumo de alimentos botana

Un incremento en la producción y consumo de alimentos botana se ha presentado año con año, esto debido en parte a la difusión de los hábitos alimentarios occidentales a otras partes del mundo, lo que ha ocasionado que la tradicional comida familiar llegue a convertirse en una cosa del pasado. (Hodgen, 2004).

El mercado más grande de los alimentos botana en el mundo es Estados Unidos, lo que representa aproximadamente un tercio del total mundial, mientras que Japón y el Reino Unido, juntos, representan otra cuarta parte del total mundial. El mercado de botanas tuvo en 2016 un valor total de 3,400 millones de dólares, y se espera que para el año 2020, el valor de este mercado superé los 4,000 millones de dólares. Dentro de la diversidad del mercado la mayoría de las ventas del mercado de botanas corresponde a chips, botanas extrudidas y tortillas con un 65%. (Euromonitor, 2016).

A



B



C



Figura 1. Ejemplos de los diferentes tipos de botanas: (A) primera generación, (B) segunda generación y (C) tercera generación.

Respecto a la producción de alimentos botana en México, del 2014 al 2015 se incrementó aproximadamente un 5.3%, con una producción de 23,762 toneladas en 2015. Mientras que, el consumo de alimentos botana en México en 2015 osciló alrededor de los 4 kg per cápita siendo aproximadamente 100g mayor que en años anteriores. (Euromonitor, 2016). Los mexicanos, desde los dos primeros años de vida, empiezan a tener gusto por las botanas, las cuales pueden ser consumidas a cualquier hora del día como antojo para niños o adultos, siendo las de mayor éxito las que tienen picante. El negocio de botanas tiene un crecimiento constante en estos últimos años, sin embargo, el consumo sigue siendo bajo si se compara con países desarrollados (Latin American markets 2008).

El sector de snacks o botanas es uno de los más relevantes entre los consumidores mexicanos. A lo largo de los últimos años, existe una tendencia por parte del consumidor hacia los snacks más saludables, y de acuerdo con un estudio realizado por Labastida (2017), el 50% de consumidores mexicanos ha aumentado su consumo de snacks saludables. El estudio también recalca que el 86% de los consumidores mexicanos compra snacks varias veces por semana. Y de éstos, un 62% los consume varias veces por semana, a diario un 23% y sólo un 12%, una vez por semana. Esta preferencia de los consumidores está marcando el desarrollo de productos por parte de los procesadores de alimentos que buscan cada vez más, tanto en snacks salados como dulces, utilizar este tipo de ingredientes.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi, 2016) de México, los snacks fritos generan en el país un mercado con valor total de USD \$3.232 millones y una producción de 22.558 toneladas.

B. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS PARA LA ELABORACIÓN DE BOTANA

Existe una gran diversidad de materias primas utilizadas para la elaboración de botanas expandidas, siendo la mayoría de ellas cereales dentro de estos se puede destacar el maíz debido a las características que le confiere a la botana al someterse a el proceso de extrusión. De igual manera se ha buscado la incorporación de compuestos bioactivos esto mediante la incorporación de frutos, vegetales o subproductos de las mismas.

1. Maíz (*Zea Mays* L)

a. Generalidades

El maíz, es una de las principales materias primas utilizadas para la elaboración de botanas, sin embargo, las tendencias actuales del consumo de alimentos más saludables han fomentado la incorporación de otro tipo de materias primas ya sea para incrementar su valor nutricional o para que traiga un aporte a la salud de los consumidores.

La palabra “maíz” proviene de una lengua del Caribe; los españoles tomaron el vocablo de un dialecto de la isla de Haití, cuyos aborígenes le llamaban “mahíz” (Reyes-Castañeda, 1990). El maíz es originario de México, evolucionando de la hierba silvestre “teosinte” (*Zea mays* sp. *mexicana*). Evidencias arqueológicas indican que el maíz fue domesticado y cultivado por los nativos americanos a principios del año 5000 A. de C. en el valle de Tehuacán en el estado de México (Johnson 2000).

Las especies del género *Zea* presentan una inflorescencia masculina terminal en el extremo superior de la planta y una o más inflorescencias femeninas colocadas, generalmente, en forma lateral en la parte media del tallo (Kiesselbach, 1980).

El maíz (*Zea mays L.*) pertenece a la familia *Poaceae* (ricas en almidón y gluten), es una planta anual que posee una gran importancia en el comercio internacional siendo uno de los principales cultivos sembrados alrededor del mundo, los más comunes son el de color blanco y amarillo, sin embargo, existen variedades de color negro, rojo y jaspeado. Hay varios tipos de grano, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él (FAO 1993).

En algunos países, como en el caso de México, este producto es la base de la dieta diaria. En el año 2013, México tuvo una producción de maíz de 22.6 millones de Ton; donde Sinaloa fue el principal productor aportando el 16% (SIAP-SAGARPA 2014).

El grano de maíz está compuesto principalmente por el endospermo, el cual incluye el 82% del grano y ahí se encuentra la mayor cantidad del almidón (el 86.6% promedio del almidón total del grano) y contiene, además, las proteínas: albúminas, globulinas, prolamina (zeínas) y glutelinas (gluten del maíz), y en escasas cantidades grasas (aceite), cenizas y azúcares. También, está compuesto en un 12% por el embrión o germen, el cual contiene la mayor cantidad de grasa (aceite del grano) (34.4% promedio), almidón, cenizas y azúcares. Mientras que el restante

6% corresponde al pericarpio, el cual contiene almidón, grasas, proteínas, cenizas, azúcares y fibra (carbohidratos no amiláceos como celulosa y hemicelulosa) (Reyes-Castañeda 1990).

b. Maíz amarillo

En el mundo existen una gran variedad de maíces, los cuales presentan múltiples colores como blanco, amarillo, rojo, morado, café, verde y azul, la coloración de estos, se debe a los compuestos que están presentes principalmente en el pericarpio, capa de aleurona o en ambas estructuras del grano (Agama-Acevedo y col 2004).

Según Vielma (1998) el maíz amarillo es una importante fuente de nutrientes como lo son niacina, riboflavina, carotenos y xantófilas. Algunos de estos dos últimos son precursores de la vitamina A.

Los maíces amarillos contienen además de estos 2 compuestos precursores, más carbohidratos y producen mayor energía en los animales que las variedades de maíz blanco. Sin embargo, con excepción del color amarillo no hay información que indique que los colores tengan influencia en el valor nutrimental del grano (Reyes-Castañeda 1990).

Se ha reportado que los carotenoides presentes en el maíz protegen contra la degeneración macular relacionada con la edad, la principal causa de ceguera en personas de edad avanzada en el mundo industrializado (Krinsky y col 2003).

2. Noni (*Morinda citrifolia* L)

a. Generalidades

El noni es el nombre hawaiano que recibe la fruta de *Morinda citrifolia* L. (Rubiaceae). El noni es originario de la región comprendida desde el sureste asiático hasta Australia y se cultiva en Polinesia, India, el Caribe, México, América Central y la parte sur de América del Sur. La descripción taxonómica del noni se encuentra en el **Cuadro 1**. Los polinesios han usado durante más de 2000 años la planta de noni con propósitos alimenticios y medicinales. En la farmacopea tradicional, la fruta es recomendada para prevenir y curar diversas enfermedades; principalmente se usa para estimular el sistema inmune y de esa forma combatir bacterias, virus, parásitos e infecciones fúngicas, así como para prevenir la formación y proliferación de tumores, incluyendo algunos de tipo maligno. Del árbol de noni se consume principalmente el fruto en forma de jugo, aunque también se pueden utilizar las hojas, flores, corteza y raíz de la planta (Ulloa y col, 2012). Dos estudios clínicos reportan el alivio de la artritis y diabetes asociados al consumo de noni debido al efecto benéfico de la presencia de ciertos compuestos como la escopoletina, alcaloides y esteroides, así como también su potencial antioxidante (Elkins 1998; Salomon 1998).

El noni se emplea tradicionalmente en forma de jugo, como tónico, en cataplasmas y como té. El té se confecciona con las hojas de la planta como remedio para la tuberculosis, la artritis, el reuma y el envejecimiento. Las hojas y la

Cuadro 1. Descripción taxonómica de *Morinda. citrifolia* L.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida (Dicotiledoneae)
subclase	Asteridae
Orden	Rubiales
Familia	Rubiaceae
Género	Morinda
Especie	<i>citrifolia</i>
Nombre vulgar	Noni

(Cauti y col 2010)

corteza sirven para preparar un tónico para problemas urinarios y musculares o para el dolor en las articulaciones. El jugo, que tiene un sabor y olor desagradables, se usa en el cuero cabelludo para la eliminación de los piojos y la fruta verde se macera junto con sal y se aplica en las heridas profundas y los huesos rotos, mientras que la madura se utiliza como cataplasma para las manchas faciales o como un remedio para la irritación de la piel, furúnculos o infecciones (Torres y Toranza 2006)

b. Descripción de la planta

El género *Morinda* (*Rubiaceae*), que incluye la especie de *Morinda citrifolia* L., está formado por alrededor de 80 especies. *Morinda citrifolia* es un arbusto o árbol pequeño, de 3 a 10 m de altura, con abundantes hojas anchas elípticas (5-17 cm de largo, 10 a 40 cm de ancho). Sus flores aromáticas están dispuestas en cabezuelas globosas, con el cáliz truncado y la corola tubular de color blanco. El fruto de noni (3-10 cm largo, 3-6 cm de ancho) es oval, su color varía de verde a amarillo hasta casi blanco al momento de su recolección, con una cáscara cubierta de pequeñas protuberancias, cada una de las cuales contiene una semilla. El fruto maduro despide un fuerte olor a rancio semejante al del ácido butírico; la pulpa es jugosa y amarga, de color amarillo opaco o blanco y aspecto gelatinoso, presentando numerosas cavidades triangulares de color marrón rojizo los cuales contienen cuatro semillas (Ulloa 2012).

Morinda citrifolia L. es una planta perenne y es posible encontrar frutos en diferentes estados de madurez sobre la misma planta y al mismo tiempo. Esta

especie generalmente se encuentra a 400 m de altitud sobre el nivel del mar, sin embargo, se adapta mejor a las regiones costeras. Bajo condiciones favorables, el arbusto tiene fruta alrededor de los nueve a los doce meses después de plantada. En esa etapa, los frutos pueden cosecharse, pero generalmente son pequeños y el rendimiento por árbol es bajo. Algunos productores deciden no cosechar en el primer año y podan el arbusto con el fin de que se desarrolle de una forma más vigorosa (Torres y Toranza 2006).

c. Composición química

Aproximadamente 160 compuestos fitoquímicos se han identificado en la planta de noni, de los cuales los principales son compuestos fenólicos, ácidos orgánicos y alcaloides. Entre los compuestos fenólicos más importantes están las antraquinonas, acubina, ácido asperulósido y escopoletina; los principales ácidos orgánicos son el caproico y caprílico mientras que el principal alcaloide reportado es la xeronina. Sin embargo, la composición química varía grandemente dependiendo de la parte de la planta que se analice. La composición fisicoquímica completa del fruto aún no está disponible y sólo se cuenta con información parcial del jugo de noni. La fruta contiene 90% de agua y los componentes mayoritarios de la materia seca son sólidos solubles, fibra dietética y proteínas. El contenido proteínico de la fruta es de 11.3% de la materia seca del jugo y los principales aminoácidos son el ácido aspártico, el ácido glutámico y la isoleucina (Ulloa 2012).

El contenido de minerales es de 8.4% de la materia seca y los más importantes son potasio, azufre, calcio y fósforo, además de trazas de selenio. En

el **cuadro 2** se muestra el contenido de minerales presentes en la harina de fruto de noni (Soler-Morales y col, 2014). Por otra parte, de los compuestos fenólicos con propiedades funcionales identificados en el jugo de noni destacan: damnacantal, escopoletina, morindona, alizarina, acubina, nor-damnacantal, rubiadina. También se han identificado aproximadamente 51 compuestos del aroma en la fruta madura de noni, incluyendo ácidos orgánicos, alcoholes, esteres, cetonas y lactonas (Farine y col 1996).

d. Propiedades biológicas

La actividad biológica de *Morinda citrifolia* ha quedado de manifiesto a través de sus efectos antimicrobiano, anticancerígeno, antioxidante, antiinflamatorio y en la actividad cardiovascular (Chang-Blanco y col 2006).

Existen evidencias de que el noni inhibe el crecimiento de ciertas bacterias como *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Shigella*. Se estima que el efecto antimicrobiano puede ser debido a ciertos compuestos fenólicos como la acubina, alizarina, escopoletina y otras antraquinonas (Atkinson, 1956). Al jugo de noni también se le atribuyen propiedades inmunomodulatorias, es decir, capacidad para mejorar el sistema inmune (Hirazumi y col 1996).

También, polisacáridos del jugo de noni compuestos de ácido glucurónico, galactosa, arabinosa, y ramnosa han demostrado contar con efectos inmunomodulatorios y anti tumor contra el carcinoma pulmonar de Lewis, así como

Cuadro 2. Minerales presentes en la harina de fruto de noni.

Indicadores	Valores (%)
Ca	0.38
P	0.29
Mg	0.2
Na	0.14
K	1.5

(Soler-Morales y col,2014)

con efectos estimuladores de ciertas sustancias como las citocinas las cuales disminuyen el ciclo celular en tumores, incrementan la respuesta de células a otras células inmunizadas que luchan contra el crecimiento del tumor y ejercen una actividad macrófaga potente que supone un papel importante en la muerte de tumores (Hirazumi y col. 1994).

Las propiedades antioxidantes o de capacidad de captación de radicales libres del jugo, han quedado demostradas al ejercer una fuerte inhibición de la oxidación de lípidos comparable al mismo peso de α -tocoferol e butil-hidroxi-tolueno puros (Yang y col. 2007; 2010)

e. Productos del noni

Los productos comerciales derivados del noni se obtienen a partir de la pulpa de la fruta, siendo los principales el jugo natural, jugo fermentado, jugo natural o fermentado mezclado con otros jugos de frutas y el polvo de pulpa de la fruta (sin semilla, el cual se utiliza para preparar bebidas, tabletas o cápsulas). Sin embargo, el jugo de noni fermentado mezclado con el jugo de otras frutas constituye el producto más importante en el mercado internacional.

f. Producción y comercialización del noni

Por su amplia distribución y su sistema de producción (no tecnificado) no se cuenta con datos certeros sobre áreas y volúmenes de producción a nivel mundial. Mientras que a nivel nacional se presentó una producción de 552 toneladas en el año 2016 (**Cuadro 3**) siendo el mayor productor con 36.2 hectáreas cosechadas con una producción de 228.6 toneladas (**Cuadro 4**) de acuerdo a lo reportado por

Cuadro 3. Producción anual de noni en México

Año	Producción (Ton)
2012	255.49
2013	392.71
2014	398.09
2015	501.34
2016	552.36

(Sagarpa, 2016)

Cuadro 4. Superficie cosechada y producción de noni por estado

Estado	Superficie Cosechada (HA)	Producción (Ton)
Guerrero	18	224.64
Jalisco	8	54.94
Michoacán	3	9.27
Nayarit	38.3	239.49
Tabasco	1	7.5
Veracruz	3	16.5

(Sagarpa, 2016)

SIAP-SAGARPA 2016. El uso del noni como medicina se remonta a 2000 años atrás, en las Islas de la Polinesia, pero fue hasta inicios de la década de los noventa cuando comenzó su comercialización de forma masiva alrededor del mundo, este producto logró ser admitido en el mercado europeo en 2003 (Merret 2008).

El crecimiento de este producto en el mercado tiene un inicio similar en todos los países productores. En estos, el consumo inicia de forma básica no tecnificada en donde los productores con sus conocimientos empírico cosechaban los frutos y en algunos casos elaboraban el jugo (mediante la fermentación) para venderlo en ferias o mercados locales. Por el aumento de la demanda y los precios pagados por los consumidores se incentiva la tecnificación de la industria y se ofrecen más productos con mejores presentaciones y mezclas (Escobedo 2012).

Según Potterat y Hamburger (2007), no existen datos fidedignos de las ventas de noni, pero se calcula que pueden alcanzar ventas anuales de US\$ 1.3 billones. A nivel mundial son muchos los países que están comercializando los productos tanto a nivel local como internacional.

La producción comúnmente está en manos de pequeños productores agrupados o no y la comercialización en empresas nacionales que compran el noni a los productores. A diferencia de otros productos, la comercialización del noni a nivel mundial ha crecido rápido en poco tiempo y muestra de ello es la presencia de innumerables empresas que ofrecen sus productos tanto al mercado internacional como al nacional (Escobedo, 2012).

Según Flores (2010) el noni ingresa en el mercado en los años noventas creando un nuevo nicho de mercado que pagaba altos precios (77% más que los actuales) por las propiedades curativas que se asocian a su consumo. Por estas razones, las empresas que al inicio dominaron el mercado pudieron crecer y obtener mayores beneficios que los actuales. Por el crecimiento de la oferta y la presencia de nuevas empresas (fuerte competencia) que quieren aprovechar el boom de esta fruta, se amplía la gama de productos derivados del noni apareciendo nuevas líneas que van desde el uso medicinal hasta el cosmético.

Escobedo (2012) reporta que conforme aumenta la demanda por productos de noni, la línea de nuevas creaciones que usan como base a esta fruta se amplía, no sólo a productos comestibles, si no que se está llegando a comercializar productos de belleza, para animales, para plantas y para limpieza.

En México con la incorporación de una mayor gama de productos se busca abrir el mercado que se encontraba saturado. Pero por efectos de la sobre producción y oferta, los precios cayeron a partir de 2006-2007 (aunado a esto la crisis mundial). Este efecto se percibió en la mayoría de los países productores como es el caso de México, en el cual se ha tenido problemas para colocar las 750 Ton. que se producen actualmente, esto ha provocado que los productores y productoras abandonen los cultivos (Escobedo 2012).

C. PROCESO DE EXTRUSIÓN

1. Generalidades

La palabra extrudir proviene del latín “*extrudere*”, significa empujar hacia afuera. La extrusión es un proceso que combina varias operaciones unitarias, incluyendo mezclado, cortado, calentamiento, enfriamiento y formación del producto. Involucra compresión y trabajo sobre un material para formar una masa semisólida bajo condiciones controladas y, finalmente, se fuerza a pasar esta masa semisólida a través de un área diminuta a una velocidad determinada (Fellows 1990).

La extrusión ha sido definida de acuerdo a Dziekak (1989) como un proceso que involucra el flujo forzado de un material a diferentes condiciones controladas de mezclado, cocimiento, amasado, formado, expansión y secado.

La extrusión de alimentos es un proceso en el que se fuerza un material alimenticio a fluir, en virtud de una o más variedades de condiciones de calentamiento de mezclado, y cizallamiento, a través de una boquilla que está diseñada para formar y/o expandir los ingredientes. La extrusión de alimentos se considera una técnica de “altas temperaturas, tiempos cortos (HTST)”, y puede transformar una variedad de ingredientes en bruto en productos intermedios y finales. Durante la extrusión, la temperatura de cocción puede ser tan alta como 180-190 °C, pero el tiempo de residencia es generalmente de 20 a 40 s (depende de los tipos de extrusores y velocidad del eje). Por esta razón, el proceso de extrusión podría ser llamado, como anteriormente se mencionó, un proceso HTST (Maga 2000). El cocimiento por

extrusión, específicamente en alimentos, ha sido definido como el proceso por el cual materiales húmedos, almidonosos y/o proteicos son plastificados y cocidos en un tubo por una combinación de presión, calor y esfuerzo mecánico.

El proceso de cocimiento por extrusión representa una de las tecnologías de mayor impacto en el área de alimentos, ésta es importante en la producción de hojuelas de maíz, arroz inflado, cereales para desayuno, proteínas texturizadas, bebidas instantáneas, análogos de carne, alimentos para mascotas y alimentos botana, entre muchos otros productos (Martínez-Bustos,1999).

El procesamiento por extrusión ofrece ventajas significativas, tales como: procesamiento continuo, alta productividad, alta calidad de producto, versatilidad, bajos requerimientos de espacio y trabajo, así como una minimización de tiempo, energía y costos, una producción continua en gran escala, alta capacidad de producción por unidad de área y sin generación de efluentes (Maga 2000).

El producto extrudido puede ser afectado por muchas variables como el tipo y las características de la materia prima, velocidad y configuración del tornillo, temperatura del cañón, velocidad de alimentación tipo y diámetro de la matriz (Della-Modesta 1999).

2. Componentes de un extrusor

El extrusor básico de tornillo, consiste en un tornillo o tornillos rotando en un cilindro al cual encajan casi exactos, siendo movilizadas por un motor a través de una transmisión para variar la velocidad. El mecanismo de alimentación está

compuesto por una tolva para recibir el material a ser extrudido y de un tornillo alimentador (Harper 1998).

El tornillo es el componente principal de un extrusor, consta de tres secciones cada una con una función: (1) sección de alimentación, (2) sección de compresión y (3) sección de medición o cocimiento. La sección de alimentación se caracteriza por poseer alabes hondos que adaptan fácilmente los ingredientes crudos y los transportan hacia delante. Durante el proceso de transporte los materiales alimentados son trabajados en una masa continua, el aire es expulsado y los espacios vacíos son eliminados, haciendo que los alabes se llenen completamente (Harper 1998).

En la sección de compresión o transición los ingredientes húmedos son convertidos en una masa termoplástica por la gelatinización parcial del almidón y desnaturalización parcial de la proteína; esta zona se caracteriza por la disminución de la altura de las hélices o restricciones internas consistentes de platos que restringen el área de sección transversal del tornillo al flujo. La sección de medición o cocimiento es aquella en donde el flujo se somete a fuerzas de presión, compresión y velocidad de corte altas. Esta zona se caracteriza por hélices poco profundas y con una disminución de tornillo. En esta sección la masa termoplástica se transforma en una masa plástica, como resultado de la conversión de la energía mecánica en energía térmica, la acción de corte en esta zona se homogeniza y adiciona más calor a la mezcla (Fellows 1990).

3. Clasificación de los extrusores

Los extrusores se pueden clasificar en tres tipos principales: pistón, rodillos y tornillo. Los extrusores de pistón, son los más simples en diseño, comúnmente usadas en la industria de confitería, por ejemplo, para depositar el relleno en los chocolates. Los extrusores de rodillos son utilizados para dar forma, consisten en dos rodillos contra-rotatorios que giran a velocidades iguales o diferentes y que tienen superficies lisas o perfiladas. Los extrusores de tornillo constan de tornillos sencillos, dobles o múltiples, los que rotan en el interior de un cañón estacionario para empujar el material hacia y a través de un orificio de un dado (Dziezack, 1989). Los extrusores se clasifican también de acuerdo con el tipo de construcción en extrusores de tornillo simple y extrusor de tornillos gemelos. Los principios de operación son similares en los dos tipos.

a. Extrusor de tornillo simple.

En éste, el canal del tornillo no se encuentra dividido, sino que es continuo a lo largo del tamaño del tornillo. En lugar de ser empujado por las aletas del tornillo, el producto es arrastrado por el canal del tornillo por movimiento relativo del tornillo y la superficie de barril-presión y el flujo es generado por el corte. El resultante “flujo de arrastre” es más o menos la mitad de la capacidad volumétrica del tornillo, la mitad del producto es dejado atrás. Las aletas del tornillo redirigen la mayoría del flujo tangencial de arrastre a una dirección hacia abajo.

La porción restante del flujo de arrastre se mueve a lo largo de la dirección del canal, originando una circulación del producto en el canal, importante para la

transferencia de calor y mezcla. Cuando se genera presión en el tornillo, otro flujo se combina con el flujo de arrastre; debido a que el canal es continuo a lo largo del tornillo, la presión en la descarga hace que el producto quiera fluir hacia atrás, substrayéndolo del flujo de arrastre. Por lo tanto, la capacidad actual de un extrusor de tornillo simple oscila de la mitad de la capacidad volumétrica a mucho menos a presiones altas. La eficiencia de bombeo está afectada por la geometría del tornillo y por la viscosidad del material (Dziezack,1989).

b. Extrusor de doble tornillo.

Los extrusores de doble tornillo están compuestos de dos tornillos que tienen rotación dentro de un cilindro simple. De este modo, es posible tener cuatro configuraciones para la dirección de la rotación y posición de los tornillos. La configuración entrelazada es más eficiente ya que la función de los dos tornillos es la de una bomba de desplazamiento positivo, incrementa el flujo y reduce los depósitos de material en el extrusor (Fellows1990).

4. Elaboración de alimentos botana por extrusión

La extrusión de alimentos se ha desarrollado rápidamente durante los últimos 50 años, implementando continuamente aplicaciones diversas en nuevas áreas del procesamiento de alimentos (Harper, 1998).

Los productos alimenticios producidos por extrusión se encuentran con mayor frecuencia en la dieta diaria en forma de una gran variedad de productos tales como cereales para desayuno, alimentos texturizados, pastas, dulces,

galletas, alimentos botana, harinas precocidas e instantáneas, etc. (Gómez y Aguilera,1984).

La extrusión está ganando popularidad debido a que se obtiene una amplia variedad de productos debido a la modificación de ingredientes y de las condiciones de operación del extrusor. Además, el proceso es extremadamente flexible y tiene la capacidad de satisfacer la demanda de nuevos productos por los consumidores. Dentro de los factores que contribuyen a la versatilidad se pueden mencionar los diseños específicos del extrusor, las variables de operación, variedad que pueden obtenerse en los productos terminados. La extrusión tiene costos de procesamiento muy bajos y una productividad más alta que cualquier otro proceso de cocimiento y moldeado, ya que sus requerimientos de espacio por unidad de producción son más pequeños (Harper 1998).

En la extrusión se alcanzan tasas de producción de más de 315 kg/h para alimentos tipo botana, 1200 kg/h para alimentos de baja densidad a base de cereales y 9000 kg/h para alimentos expandidos para mascotas. No produce efluentes en el proceso, con lo que disminuye la contaminación por aguas residuales. A su vez, este procesamiento minimiza la degradación de nutrimentos por la acción de calor y mejora la digestibilidad por la gelatinización del almidón y la desnaturalización de proteínas. También destruye la mayoría de los factores antinutricionales del alimento. Por otro lado, los extrusores operan a humedades relativas bajas lo cual permite que la cantidad de energía requerida para la cocción del alimento sea mínima (Fellows 1990).

IV. JUSTIFICACIÓN

Debido a la producción de noni (*Morinda citrifolia L*) que existe en México y su uso casi particular de dicho fruto para la elaboración de jugo da como resultado una gran cantidad de subproducto o bagazo de la industria de noni (*Morinda citrifolia L*) que no es aprovechado para la elaboración de ningún otro producto y de acuerdo con la caracterización de dicho fruto este contiene altos contenidos de compuestos fitoquímicos que pudieran tener un efecto nutricional y/o funcional. Es por esto por lo que la utilización del bagazo de noni es una gran opción para adicionar beneficios adicionales a diversos tipos de alimentos.

Por otro lado, las botanas directamente expandidas año con año han ido incrementado su demanda, esto principalmente a diferentes factores entre los cuales destacan su fácil consumo, que no necesitan ningún tipo de preparación y sus diferentes presentaciones; todo esto facilita que los consumidores se inclinen por este tipo de alimentos sin embargo estas botanas no aportan ningún beneficio además del calórico a nuestro organismo, es por todo esto que se ha estado buscando la utilización o adición de ingredientes que incremente su valor nutricional y con ello traer un beneficio para los consumidores, por esto una opción viable es la adición de bagazo de noni (*Morinda citrifolia L.*) a las botanas directamente expandidas ya que debido a su contenido de fenólicos y su capacidad antioxidante podría tener ciertos beneficios para sus consumidores.

Este producto le daría un valor agregado a los subproductos (principalmente bagazo) generados por la industria productora de jugo a base de noni (*Morinda*

citrifolia L); además existe información muy limitada en el aprovechamiento de los subproductos derivados del proceso de obtención del jugo de este fruto por lo que el presente estudio pretende utilizar estos subproductos como fuente de compuestos fitoquímicos y fibra dietaria en la elaboración de las botanas directamente expandidas generando información científica básica y tecnológica, lo cual le dará mayor valor agregado a estos productos.

V. HIPÓTESIS

La adición de la harina de noni (*Morinda citrifolia* L) mejora el contenido de compuestos fenólicos y el valor nutrimental de botanas directamente expandidas con características fisicoquímicas similares a productos comerciales.

VI. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Elaborar una botana directamente expandida con alto valor funcional a partir de bagazo de la industria de noni (*Morinda citrifolia L*) y optimizar el proceso de extrusión.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar químicamente y determinar el contenido de compuestos fenólicos totales en la Harina de Bagazo de Noni (HBN).
2. Estudiar el efecto de los factores independientes sobre características físicas, fisicoquímicas y funcionales de las botanas directamente expandidas con harina de bagazo de noni.
3. Optimizar el proceso de extrusión de botanas directamente expandidas con harina de bagazo de noni.
4. Determinar el contenido de carotenoides totales y fibra dietaria de la botana directamente expandida con harina de bagazo de noni, obtenida del proceso de extrusión optimizado.
5. Realizar un análisis sensorial de la botana directamente expandida con harina de bagazo de noni, obtenida del proceso de extrusión optimizado.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

A. MATERIALES

1. Materias primas

Se utilizaron como materias primas para la elaboración de las mezclas a extrudir almidón de maíz comercial (Industrializadora de maíz (IMSA), S.A. de C.V., México), harina de maíz amarillo integral (*Zea mays* L.), la cual fue obtenida de la molienda del grano integral obtenido en las bodegas de la región (SACSA S.A. de C.V.) y harina de subproductos de la industria de noni (*Morinda citrifolia* L.).

La harina de subproducto de industria de noni (*Morinda citrifolia*), se obtuvo de la deshidratación del bagazo obtenido de la industria procesadora de jugo fermentado de noni, de acuerdo con el proceso de secado obtenido durante una cinética de secado previamente realizado. El subproducto de noni se obtuvo de una industria procesadora de jugo fermentado de noni ubicada en San Blas, Nayarit. Se separó el jugo, bagazo y semillas del subproducto. El subproducto (bagazo) fue secados a una temperatura de 70 ± 2 °C durante 90 min en un secador de charolas, construcción propia (MCTA-FCQB, UAS) y molido con un molino marca PULVEX modelo mini-100, utilizando una malla de 1 mm seguido de esto se tamizó con una malla #40 (Marca Fisherbrand) para obtener una harina con tamaño de partícula menor a 250µm, para su utilización en las mezclas a extrudir y almacenado en refrigeración (~5 °C) en bolsas de plástico negro para resguardarlo de la luz, hasta su utilización.

B. MÉTODOS EXPERIMENTALES

1. Proceso de extrusión

El proceso de extrusión se llevó a cabo en un extrusor de doble tornillo Shandong Light LT32L. Se empleó un tornillo con una relación de compresión 1:1 y un dado de salida de 4 mm. La mezcla base (Almidón de maíz-harina de maíz amarillo) se determinó mediante un estudio preliminar a 30:70% respectivamente, mientras que la concentración de harina de subproducto de noni fue variada de acuerdo al diseño experimental desde 0 al 12%. Durante todos los tratamientos las temperaturas en las tres zonas del extrusor se mantuvieron constantes a 75°C en la zona de alimentación, 110°C en la zona de mezclado/cocción y 140°C en la zona de salida, la velocidad de tornillo varió de acuerdo al diseño experimental de 223 a 335 rpm. Las muestras de harina utilizadas durante el proceso de extrusión con un peso de alrededor de 1000 g fueron ajustadas a una humedad de 16% utilizando una batidora de laboratorio (KitchenAid, Model K5SS, Michigan, USA) a mínima velocidad, la velocidad de alimentación fue de 20 Hz.

El material extrudido se cortó de manera manual en segmentos de aproximadamente 5.0 cm, los cuales se secaron a temperatura ambiente por 12 h aproximadamente.

C. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Caracterización de las materias primas

a. Composición proximal

Se llevó a cabo el análisis de composición proximal en las materias primas (harina de maíz amarillo (*Zea mays L*) y harina de subproducto de noni (*Morinda citrifolia*)) que se utilizaron para la elaboración de los diferentes tratamientos, estos análisis se realizaron de acuerdo con los métodos oficiales de la AOAC (2012) para proteínas (960.52), grasas (920.39), cenizas (923.03), humedad (925.10), fibra cruda (962.09), mientras que el contenido de carbohidratos se determinó por diferencia.

b. Tamaño de partícula

Se determinó el tamaño medio de partícula de las harinas correspondientes a las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión, de acuerdo al procedimiento descrito por Ortiz-Robles (1998) donde se tamizaba de manera manual la muestra. Se utilizó una cantidad de muestra de 100 g y tamices con diferentes mallas (840, 420, 250, 177, 149 y 74 μm marca Fisherbrand). Se determinó el peso de harina retenida en cada malla y su porcentaje correspondiente. Los resultados se expresan mediante el cálculo matemático del tamaño medio de partícula reportado por el autor anteriormente citado, utilizando la siguiente ecuación:

$$T_{mp} = \frac{\sum_{n=20}^{200} n \cdot P_n}{\sum_{n=30}^{200} P_n}$$

Donde:

T_{mp} = Tamaño medio de partícula,

P_n = Peso del producto retenido en la malla n

n = Número de malla.

D. MÉTODOS FÍSICOS Y FISICOQUÍMICOS

1. Índice de Expansión (IE)

El índice de expansión (IE) se determinó de acuerdo a la AACC (2010) para cada uno de los tratamientos. Para esto se midió el diámetro transversal del producto extrudido por triplicado y del interior del dado de salida del extrusor con la ayuda de un vernier. Se muestrearon 30 piezas al azar por cada tratamiento. Para calcularse el índice de expansión se utilizó la siguiente ecuación:

$$IE = \frac{\text{Diámetro transversal del producto extrudido (mm)}}{\text{Diámetro interior del dado de salida del extrusor (mm)}}$$

2. Densidad Aparente (DA)

Se determinó la Densidad Aparente (DA) de acuerdo a la AACC (2010) de todos los tratamientos. Para esto se pesaron las piezas de entre 4.5 y 5.5 cm, previamente deshidratadas (30-35° C, 12 horas), se midió su diámetro promedio (d) y su longitud promedio (l) por triplicado, Se muestrearon 30 piezas y se realizaron mediciones de pesado, diámetro y longitud de cada uno de los tratamientos. Con los datos obtenidos se calculó el volumen aparente (VA) mediante la siguiente ecuación:

$$VA = \frac{\pi d^2 \cdot l}{4}$$

Posteriormente se calculó la densidad aparente (DA) dividiendo el peso de la botana extruida (Kg) entre su volumen aparente (m³). Obteniendo el resultado en Kg/m³.

3. Fuerza de Penetración (FP)

Se determinó la fuerza de penetración en los productos expandidos de acuerdo a la metodología reportada por Zazueta-Morales y col (2001), utilizando un texturómetro universal INSTRON 3342, registrando la fuerza requerida para penetrar la botana expandida, los valores se reportan en N. Para ello, se utilizó una velocidad de descenso de 0.5 mm·s⁻¹, y una distancia de penetración de 1.5 mm. Para cada tratamiento se realizaron cincuenta mediciones.

4. Índice de Absorción de Agua (IAA)

Se realizó de acuerdo a la metodología 54-21 descrita por la AACC (2010), con algunas modificaciones. Se pesó una muestra de 0.25 g de harina de botana expandida esta se suspendió en 12 mL de agua a 25°C en un tubo tarado para centrífuga de 15 mL, el cual se agitó a una velocidad moderada en un homogeneizador (Vari-Mix Aliquot Mixer, Modelo M48725, Dubuque, Iowa, EUA) por 30 min. Posteriormente la suspensión se centrifugó en un equipo (Eppendorf, 5804R, Hamburgo, Alemania) a 3200 x g por 30 min, a una temperatura de 25°C. El líquido sobrenadante se decantó cuidadosamente en un vaso de precipitado tarado para la determinación del contenido de sólidos. El gel formado se pesó y el índice de absorción de agua se calculó mediante la relación:

$$IAA = \frac{g \text{ de agua absorbida}}{g \text{ de sólidos secos}}$$

Las determinaciones para cada uno de los tratamientos se realizaron por triplicado.

5. Sólidos solubles en agua

Se obtuvo de la cantidad de sólidos secos recuperados por la evaporación del sobrenadante, obtenido de la determinación del IAA. Los sólidos solubles en agua se expresaron como el porcentaje de sólidos secos recuperados en 0.25 g de muestra. La evaluación se realizó por triplicado para cada uno de los tratamientos (AACC 2010).

6. Parámetros de color

Los parámetros de color se determinaron en las mezclas sin procesar y en las botanas extruidas de cada tratamiento, se utilizó un colorímetro triestímulo marca Minolta CR 210. Para la determinación de los parámetros inicialmente la botana extruida se molió con ayuda del molino marca PULVEX modelo mini-100, con una malla de 1 mm, posteriormente se cribó en un tamiz de malla 60 marca Fisherbrand. Se colocaron las muestras en diferentes cajas Petri de laboratorio de 5 cm de diámetro, realizándose 4 mediciones equidistantes y una en el centro. Se reportó el valor promedio de éstos. Se registraron los valores de L* [(luminosidad, de 0 (oscuro) a 100 (claro))], a* [(de -60 (verde) a +60 (rojo))], y de b* [(De -60 (azul) a +60 (amarillo))]. Así mismo se calcularon los parámetros ΔL^* , Δa^* y Δb^* , los cuales

indican la diferencia de color entre los tratamientos, Calculándose la diferencia total de color (ΔE) mediante la siguiente ecuación:

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

E. MÉTODOS FUNCIONALES

1. Compuestos Fenólicos Totales (CFT)

a. Extracción de la muestra

Para la determinación de los Compuestos Fenólicos Totales (CFT) se realizó la extracción de compuestos fitoquímicos libres y ligados. La extracción de fitoquímicos libres se realizó según el procedimiento de Adom y Liu (2002) y Žilič y col (2012), partiendo de muestra desgrasada. Los fitoquímicos libres se extrajeron de 0.5 g de muestra con 10 ml de etanol al 80% (v/v); se agitaron durante 10 min. Después se centrifugaron a 3,000xg/10°C durante 10 min. El sobrenadante se colocó en un tubo cónico, este procedimiento se realizó cuatro veces para obtener alrededor de 40 mL de sobrenadante, posteriormente este se concentró a 45°C a presión baja hasta alcanzar un volumen final de 2 mL en un rotavapor Heidolph (modelo LABOROTA 4011, serie 100500495, Alemania). El concentrado se llevó a sequedad en una estufa y se reconstituyó con metanol al 50%, posteriormente el extracto obtenido se almacenó a 4°C hasta su posterior utilización.

El precipitado obtenido se utilizó para la extracción de fitoquímicos ligados esto según el procedimiento de Adom y Liu (2002). El precipitado se digirió con 10

mL de NaOH 2 M durante 30 min a 95°C en un baño María (Shel Lab, Modelo WS27), posteriormente se llevó a T ambiente (25°C). La mezcla se neutralizará con 2 mL de HCl concentrado, se agitó por 2 min en un vortex (vortex Thermolyne modelo MG3215, USA) y se agito en un agitador por 10 min e inmediatamente después se agrega 10 mL de hexano; se agita nuevamente en vortex y agitador. Se centrifugó a 3,000xg/10°C por 10 min, se agrega acetato de etilo, se agita por 10 min, se centrifugó 3,000xg/10°C por 10 min, se extrae el acetato de etilo y se almacenó en un tubo cónico; cada extracción se realizó 4 veces. La fracción de acetato de etilo se evaporó hasta sequedad. Los compuestos extraídos se reconstituyeron con metanol al 50% y se almacenaron a 4°C hasta su posterior utilización.

b. Preparación de la curva de calibración

Se preparó una solución madre (1000 ppm), pesando 0.01 g de ácido gálico monohidratado y disolviéndolo en 10 mL de metanol. Posteriormente se prepararon diluciones de 10, 20, 40, 60, 80, 100 y 120 ppm, las cuales fueron utilizadas para llevar a cabo el ensayo de Folin-Ciocalteu que se explica en el paso siguiente. La curva de calibración se realizó por triplicado.

c. Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales

Para efectuar el ensayo se adicionaron 100 µL del extracto en tubos eppendorf de 15 mL y se procedió a una homogeneización con vortex. Posteriormente se adicionaron 125 µL del reactivo Folin y 500 µL de H₂O, agitando 30 s con vortex. Se dejó reposar 6 min en la oscuridad y al terminar se adicionaron

1250 μL de Na_2CO_3 al 7% como catalizador y 1000 μL de H_2O , se agitó con vortex y se dejó reposar por 1.5 h en oscuridad y a temperatura ambiente. Finalizado el tiempo se midió la absorbancia a 760 nm utilizando un espectrofotómetro Thermo Spectronic (modelo GENESYS 10 UV, serie 2H7G229001, USA). Los resultados fueron comparados con la curva de calibración y expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g en base húmeda (mg EAG/100 g b.h.).

2. Actividad antioxidante DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)

a. Extracción de la muestra

Para la realización de esta prueba, se emplearon los mismos extractos utilizados en la determinación de compuestos fenólicos.

b. Curva de calibración

Para llevar a cabo la determinación de la CAO (capacidad antioxidante) por el método de DPPH, se utilizó una modificación propuesta por Kim y col (2002) de la metodología de Brand-Williams y col (1994). En dicha metodología modificada se adaptó para llevarla a cabo en tubos de vidrio PYREX de 6 mL. En primera instancia se pesó 2.4 a 3 mg de radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) y se aforó a 100 mL de metanol. Posteriormente, a la solución del radical se le fijó la absorbancia en un rango de 0.76-0.78 a 515 nm, la cual se utilizó para el ensayo. Para la realización de la curva de calibración se relacionó la concentración de las diferentes diluciones contra la absorbancia medida. Para ello, se pesó 0.01 g de trolox y se aforaron a 10 mL de metanol, y se obtuvo una solución madre con una concentración de 1000

ppm, con la cual se formaron distintas diluciones de 0.5, 10.5, 20.5, 30.5, 40.5, 50.5 $\mu\text{L}/10\text{ ml}$. Se midió la absorbancia del control, y la absorbancia de cada dilución.

c. Medición de la capacidad antioxidante

Para la medición de la actividad antioxidante en los diferentes tratamientos se determinó la absorbancia (A_o) de un control que contenía 100 μL de metanol y 2900 μL de radical DPPH. Asimismo, en diferentes tubos PYREX de vidrio se adicionaron 100 μL del extracto de la muestra y 2900 μL del radical DPPH. Se dejaron reposar por 30 min en oscuridad y se leyó la absorbancia a 515 nm. Los valores de capacidad antioxidante fueron reportados en μmol equivalente trolox /g en base seca.

3. Actividad antioxidante ABTS (ABTS)

a. Extracción de la muestra

Para la realización de esta prueba, se empleó el mismo extracto utilizado en la determinación de compuestos fenólicos.

b. Curva de calibración

Para la realización del ensayo se utilizó la metodología propuesta por Pellegrini y col (1999) con algunas modificaciones, la cual consistió en la preparación del radical catión $\text{ABTS}^{\bullet+}$ mediante la mezcla de 5 mL de ABTS (7mM) y 88 μL de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (140 mM). Dicha mezcla se dejó reposar por espacio de 16 horas a temperatura ambiente a total oscuridad para la generación óptima del radical. Ya formado el radical fue ajustado a una absorbancia de 0.70 a una longitud de onda

de 734 nm, el cual fue utilizado para llevar a cabo el ensayo. Se pesó 0.01 g de trolox disolviéndose en 10 mL de metanol, obteniendo una solución madre de 1000 ppm (1 mg/mL). Este stock sirvió para elaborar soluciones de 20, 40, 60, 80, 100 y 120 ppm de trolox para llevar a cabo la curva de calibración. Se tomará 60 µL de cada solución de trolox y se le adicionaron 1940 µL del radical ABTS^{•+} ajustado con la absorbancia de 0.7. De igual manera se determinó la absorbancia (A₀) de un control que contenía 60 µL de metanol y 1940 µL de radical ABTS^{•+}. Posteriormente, cada tubo se mezcló con vortex 10 s y se procedió a la lectura de la absorbancia (A) a 734 nm para cada solución de trolox con el radical ABTS^{•+}. El porcentaje de inhibición por el efecto del radical se calculó mediante la siguiente relación:

$$\% \text{ inhibición} = (A_0 - A / A_0) \times 100$$

Donde:

A₀ = Absorbancia del control

A = Absorbancia del efecto del antioxidante sobre el radical ABTS^{•+}.

Calculado el porcentaje de inhibición, se realizó una gráfica en función de la concentración de la solución de trolox. El valor de la capacidad antioxidante equivalente trolox (CAET) se calculó mediante el análisis de regresión, utilizando la ecuación que relacionó la concentración de trolox con el % de inhibición. Los resultados fueron expresados como µmol ET/100 g en base seca.

4. Carotenoides Totales (CT)

a. Extracción de la muestra

La extracción de la muestra y la determinación de carotenoides totales se realizaron a partir de la metodología espectrofotométrica 970.64 propuesta por la AOAC (1990). Se realizó por triplicado en cada tratamiento, se pesaron 0.2 g de muestra, se homogeneizaron durante 1 min en 30 mL de solución extractora compuesta de hexano:etanol:acetona:tolueno (HEAT) (10:6:7:7 v/v/v/v), para después añadir 2 mL de KOH al 40% p/v en metanol y someter a homogeneización por 1 h. La mezcla homogenizada se colocó en un baño de agua a 56°C por un período de 20 min, a la cual se agitó cada 5 min de forma manual y con cuidado de no derramar el solvente en el baño. Para este último paso se utilizaron tubos de condensado para evitar pérdidas en los solventes y en la extracción. La solución resultante se dejó en reposo por 1 h a una temperatura de 8-10°C en completa oscuridad. Posteriormente se añadió 15 mL de hexano y se homogeneizó por 30 s. Finalmente el homogeneizado se aforó a 100 mL con sulfato de sodio al 10%, se sometió al vortex por 30 s y se dejó en reposo por espacio de 1 h, en el cual se observó un cambio de fases.

b. Curva de calibración

Se pesaron 500 µg β-caroteno, los cuales se aforaron con 50 mL de hexano generando una solución madre de 10 µg/mL. De ella se tomaron 0.15, 0.65, 1.15, 1.65, 2.15, 2.65, 3.15, 3.65, y 4.15 mL y se aforaron a 10 mL de hexano para cada

dilución. La curva de calibración generada fue 0.15, 0.65, 1.15, 1.65, 2.15, 2.65, 3.15, 3.65, y 4.15 µg/mL, utilizando como blanco hexano.

c. Determinación de carotenoides totales

Una vez llevado a cabo el cambio de fases se tomó la alícuota de la fase superior y se determinó la absorbancia a 450 nm en un espectrofotómetro utilizando celdas de cuarzo. Los resultados fueron comparados con la curva de calibración relatada en el apartado anterior y reportados como % de retención de carotenoides de la botana expandida en comparación de la mezcla sin procesar.

5. Fibra

a. Fibra dietaría

Esta determinación se llevó a cabo mediante el método de la AOAC, sección 992.16 (2012) y según el kit de fibra dietaría marca Sigma. El método se basó en la remoción enzimática del almidón y la proteína del material (materias primas sin procesar, pellets sin expandir y pellets expandidos por microondas), y la separación de las fracciones insolubles y solubles por filtración (Martín-Cabrejas y col 1995).

Cálculos:

$$\%FDT = \frac{(W_R - W_P - W_C - W_B)}{PM}(100)$$

Donde:

FDT = Fibra dietaría total (%).

W_R = Peso del residuo de fibra dietaría.

W_P = Peso de proteínas en el residuo de fibra.

W_C = Peso de cenizas en el residuo de fibra.

W_B = Peso del residuo del blanco.

PM = Peso de la muestra (g).

b. Fibra dietaría insoluble y soluble

Para la determinación de la Fibra Dietaría Insoluble (FDI) y Fibra Dietaría Soluble (FDS) se utilizó la metodología adquirida en el kit de fibra marca sigma, el cual corresponde al método oficial 2011.25 de la AOAC (2012). En este ensayo se tomaron muestras (materias primas sin procesar y pellets expandidos por microondas) por cuadruplicado, se gelatinizaron con α -amilasa estable al calor y luego se digirieron enzimáticamente con proteasas y amiloglucosidasas para remover la proteína y el almidón, siguiendo el procedimiento descrito en el apartado anterior. Los resultados se expresan en porcentaje de FDI y FDS.

F. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental central compuesto rotatable de segundo orden con un $\alpha = 1.4142$, teniendo como variables independientes el contenido de harina de bagazo de noni (HBN) y la velocidad de tornillo (VT), con cinco niveles cada una (**Cuadro 5**). Estos niveles de las variables independientes fueron seleccionados de acuerdo con información bibliográfica y pruebas preliminares realizadas.

Cuadro 5. Diseño experimental central compuesto rotatable, de dos variables independientes: Contenido harina de bagazo de noni (HBN) y velocidad de tornillo (VT) ($\alpha = 1.682$).

Factores	- α	- 1	0	+ 1	+ α
Harina de bagazo de noni (%)	0	1.75	6	10.24	12
Velocidad de tornillo (%)	223	239.41	279	318.59	335

Se utilizó la metodología de superficie de respuesta (MSR) para encontrar las condiciones óptimas de procesamiento en los intervalos de las variables anteriormente mencionados.

2. Análisis de datos

Se utilizó un modelo central compuesto rotatable de superficie de respuesta para el análisis y predicción del comportamiento experimental de los datos, utilizando modelos cuadráticos y cúbicos con el programa estadístico Design Expert (Stat-Ease 2008) versión 7.1.6.

3. Optimización de proceso

Para determinar la combinación del proceso de extrusión con el cual se puedan obtener botanas directamente expandidas con buenas características fisicoquímicas y funcionales, las variables independientes a analizar fueron contenido de harina de bagazo de noni (HBN) y velocidad de tornillo (VT); mientras que las variables dependientes fueron densidad aparente (DA), fuerza de penetración (FP), y contenido de compuestos fenólicos totales (CFT). Para encontrar la mejor combinación de las variables de proceso, se aplicó el método numérico, utilizando el software Design Expert (Stat-Ease 2008) versión 7.1.6.

G. ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial se realizó en las muestras extrudidas obtenidas en las mejores condiciones de procesamiento, así como en una muestra blanco (sin harina de bagazo de noni). Se evaluó el efecto de la información del producto sobre su

aceptación general, usando una escala hedónica de 9 puntos (1=me disgusta extremadamente, 9= me gusta extremadamente), y sobre su aceptación por atributos (color, textura y sabor), usando la misma escala. La metodología seguida en el estudio sensorial fue la descrita por Escamilla-Santana 1994, y modificaciones sugeridas por Escamilla-Santana (2001): El material extrudido y expandido se cortó en trozos de aproximadamente 5 cm de longitud y se guardaron en una bolsa oscura hasta el momento de realizar la prueba sensorial (1 a 2 días).

La prueba sensorial, para conocer el efecto de la información en la aceptabilidad de la botana, se realizó con un total de 120 consumidores en diferentes localidades (universidad, diferentes hogares y un abarroto) siendo la mitad de estas mujeres y la otra mitad hombres. El criterio de selección de los consumidores fue el que les gustara consumir botanas. A los consumidores se les presentaron las muestras de manera aleatoria y se les pidió que expresaran sus expectativas en cuanto a nivel de agrado general de cada una de estas. Adicionalmente se les pidió evaluar el nivel de agrado de los atributos de color, textura (crujencia) y sabor, además de la intención de compra. Obtenidos los datos de la evaluación se analizaron y reportaron.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Caracterización de las materias primas

a. Composición proximal

En el análisis de la composición química de las materias primas (**Cuadro 6**) utilizadas en el proceso de extrusión, se encontró que los valores de maíz amarillo son cercanos a los valores reportados por Ruiz-Armenta y col (2017) donde obtuvieron valores de 9.37, 1.61, 5.17, 8.09, 1.24 y 83 % para humedad, cenizas, extracto etéreo, proteína, fibra cruda y carbohidratos respectivamente. Por otro lado, la harina de bagazo de noni presentó valores similares en el caso de fibra cruda y cenizas pero menores valores para proteínas a los reportado por Soler-Morales y col (2014) quien reporto valores de 25.06, 5.40 y 15.24 % para fibra cruda, cenizas y proteína respectivamente en harina del fruto de noni, estas diferencias pueden estar relacionadas con la fermentación y extracción previa del jugo del bagazo de noni.

b. tamaño de partícula de las materias primas

En los **Cuadros 7A y 7B** se muestra el tamaño medio de partícula de la harina de maíz amarillo (HMA) y harina de bagazo de noni (HBN), respectivamente, obteniéndose valores promedio para la harina de bagazo de noni de 208.93 μm y para la harina de maíz amarillo de 205.46 μm . Se ha relacionado el tamaño de partícula sobre diferentes propiedades de los productos extrudidos, reportando que

Cuadro 6. Composición química en base seca de las materias primas utilizadas para la elaboración de botanas directamente expandidas con bagazo de noni.

Compuesto	Harina de maíz amarillo	Harina de bagazo de noni
Humedad (%)**	8.06±0.29	9.61±0.19
Cenizas (%)**	1.40±0.24	5.65±0.11
Extracto etéreo (%)**	1.01±0.01	2.29±0.23
Proteínas (%)**	7.48±0.25	7.43±0.01
Fibra cruda (%)**	1.01±0.05	25.49±0.27
Carbohidratos (%)*	81.04	49.53

*Calculado por diferencia de 100

** Media ± Desviación estándar

Cuadro 7. Distribución de tamaño de partícula de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión (A: harina de maíz amarillo y B: harina de bagazo de noni).

A

# Malla	Abertura (μm)	R1 (g)	R2 (g)	R3 (g)	Promedio medio (g)
20	840	0.07	0.1	0.12	0.10 $\pm$ 0.02*
40	420	0.64	0.71	0.73	0.69 $\pm$ 0.04*
60	250	58.04	58.23	58.13	58.13 $\pm$ 0.09*
80	177	1.6	1.49	1.34	1.48 $\pm$ 0.13*
100	149	4.3	4.28	3.97	4.18 $\pm$ 0.18*
200	74	19.06	19.15	19.32	19.18 $\pm$ 0.13*
<200	<74	16.29	16.04	16.39	16.24 $\pm$ 0.18*

B

# Malla	Abertura (μm)	R1 (g)	R2 (g)	R3 (g)	Promedio medio (g)
20	840	0.25	0.12	0.15	0.17 $\pm$ 0.07*
40	420	0.48	0.75	0.89	0.71 $\pm$ 0.21*
60	250	55.5	56	56.2	55.90 $\pm$ 0.36*
80	177	1.35	1.04	1.61	1.33 $\pm$ 0.29*
100	149	5.2	5.22	4.25	4.89 $\pm$ 0.55*
200	74	16.6	16.19	16.54	16.44 $\pm$ 0.22*
<200	<74	20.62	20.68	20.36	20.55 $\pm$ 0.17*

* Media $\pm$ Desviación estándar

tamaños de partícula pequeños mejoraban la expansión, densidad aparente y fuerza de penetración de los extrudidos (Desrumaux y col 1998).

c. Índice de absorción en agua y sólidos solubles de las materias primas

Se realizaron pruebas de índice de absorción en agua (IAA) y sólidos solubles (SSA) de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión, encontrando valores para maíz amarillo de 1.72 g agua absorbida/g sólido seco y 2.55 % de sólidos solubles. Para el caso de la harina de bagazo de noni se encontraron valores de 6.82 g a.a./g s.s. y 30.31 % siendo estos los mayores valores para ambos casos como se muestra en el **Cuadro 8**. Esto puede deberse a que el fruto de noni es una fuente rica de fibra dietaria (FD), como en el caso de las pectinas, lignina y celulosa. Soler- Morales y col (2014) reportan valores de FDI en el fruto de noni superiores al 33.45% y valores de 14.75 y 21.75 % en lignina y celulosa respectivamente (base seca).

B. MÉTODOS EXPERIMENTALES

1. Estudio preliminar de extrusión

Se realizó un estudio preliminar de extrusión para seleccionar la mezcla base a utilizar para los diferentes tratamientos. Se realizaron diferentes mezclas de almidón de maíz y harina de maíz amarillo. Se utilizó un equipo de extrusión de doble tornillo (marca Shandong Light modelo LT32L) con relación de compresión 2:1; velocidad de tornillo (111 rpm), temperatura zona 1 (75 °C), temperatura zona 2 (110 °C), temperatura zona 3 (140 °C) y contenido de humedad (16 %).

Cuadro 8. Índice de absorción en agua y sólidos solubles en agua de las materias primas (Harina de Maíz Amarillo –HMA y Harina de Bagazo de Noni –HBN) utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de botanas directamente expandidas.

Muestra	Índice de absorción en agua (g a.a./g s.s.)	Sólidos solubles (%)
Harina de maíz amarillo*	1.72±0.18	2.55±0.19
Harina de bagazo de noni*	6.82±0.92	30.31±0.29

*Media ± Desviación estándar

A efectos de encontrar la concentración adecuada de harina de maíz amarillo (HMA) y almidón maíz (AM), se realizaron mezclas de 90 HMA-10 AM, 80 HMA-20 AM, 70 HMA-30 AM, 60 HMA-40 AM, 50 HMA-50 AM, 40 HMA-60, 30 HMA-70 AM, 20 HMA-80 AM y 90 HMA-10 AM. A dichos tratamientos se les realizaron las pruebas de índice de expansión (IE) y Fuerza de penetración (FP) para seleccionar la mezcla a utilizar en los distintos tratamientos. El objetivo del estudio fue mantener los componentes que presentaran la capacidad de enriquecer la botana obtenida, por lo que era preciso mantener la mayor cantidad de HMA, por lo que se optó por utilizar la mezcla de 70 % de HMA y 30 % de AM debido a que las botanas directamente expandidas presentaron las mejores características de expansión ($IE \geq 3.09$) y buenas características de fuerza de penetración ($FP < 7.73$)

Se realizó un segundo estudio preliminar para seleccionar los niveles de Temperatura de Extrusión (TE), Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de harina de bagazo de noni (HBN). Esto con la finalidad de obtener botanas expandidas con mejores características fisicoquímicas, nutrimentales y funcionales. Del estudio preliminar se concluyó que la temperatura se fijaría en la tercera zona a 140 °C debido a que a TE superiores a esta la materia prima se cristalizaba a la salida, dificultando el flujo de salida del extrusor: mientras que a temperaturas por debajo de la misma el IE se veía reducido en gran medida, lo cual era una característica no deseada en el presente proyecto. Mientras que para la VT se definieron los límites (223-335 rpm) debido a que por debajo de esta el flujo no era constante ocasionando taponamientos y por encima de esta velocidad el IE se veía muy reducido. Para el caso del contenido HBN, se pudo observar que cuando se utilizaron cantidades superiores al 12 % no fluía adecuadamente la materia prima

dentro del equipo causando el taponamiento durante su salida, esto debido principalmente a las cantidades de fibra que dicha materia prima contiene.

C. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

En el **cuadro 9** se muestra el análisis de varianza para las respuestas Índice de Expansión (IE), Densidad Aparente (DA), Fuerza de Penetración (FP), parámetros de color (L, a*, b* y ΔE) y Energía Mecánica Específica (EME). Los parámetros evaluados mostraron un modelo de regresión (MSR) significativo, con valores de R^2 ajustada >0.73 , coeficientes de variación $<10.93\%$. p de F del modelo <0.003 , presentando solo falta de ajuste la respuesta energía mecánica específica (0.007).

1. Índice de Expansión (IE)

Las propiedades físicas y las características de expansión de las botanas extruidas son importantes, especialmente por la aceptación por parte de los consumidores. Se espera que la mayoría de los productos extruidos tengan una estructura hinchada (Ainsworth y col, 2007).

Para la variable de respuesta índice de Expansión (IE), se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p<0.0001$), dando valores de $R^2_{ajustada}=0.82$ y $CV= 3.22\%$, sin presentar falta de ajuste ($p=0.08$) (**Cuadro 9**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal

Cuadro 9. Análisis de varianza de las respuestas físicas y fisicoquímicas en la elaboración de alimentos botana directamente expandidas adicionados con harina de bagazo de noni.

Respuesta	R² (Ajustada)	CV (%)	Valor F	p de F (modelo)	Falta de ajuste
IE	0.82	3.22	12.19	0.002	0.08
DA	0.74	6.73	8.12	0.007	0.05
FP	0.88	8.53	23.81	0.0002	0.05
L*	0.94	2.38	104.38	<0.0001	0.11
a*	0.93	10.93	87.59	<0.0001	0.05
b*	0.95	2.07	67.39	<0.0001	0.06
ΔE	0.73	7.90	34.66	0.0001	0.06
EME	0.90	9.04	23.36	0.0003	0.0007

CV= Coeficiente de variación; IE= Índice de expansión; DA= Densidad aparente (kg/m³); FP= Fuerza de penetración (N) L= Luminosidad; a*= Verde-Rojo; b*= Azul-Amarillo; ΔE= Diferencia de color entre la botana expandido y las harinas sin procesar; EME= Energía mecánica específica (kJ/kg);

(HBN, A, $p=0.0003$) y cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p=0.0367$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), este no presentó efecto significativo tanto en su término lineal (VT, B, $p=0.1769$), como en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p=0.1749$) sobre esta respuesta, mientras que la interacción contenido de harina de bagazo de noni-Velocidad de Tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p=0.1623$) velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p=0.1623$) sobre dicha respuesta. El modelo cuadrático completo obtenido fue el siguiente:

$$IE = +2.76 -0.20 * HBN +0.049 * HBN^2 -0.067 * HBN * VT -0.10 * VT^2 -0.055 * VT$$

En la **Figura 2** se muestra el efecto de la HBN y VT sobre el IE de botanas directamente expandidas, a un contenido humedad constante del 16 %. Puede apreciarse que a bajo contenido de HBN se presentó mayor variación de IE, donde conforme se incrementa VT los valores de IE aumentan, mientras que a alto contenido de HBN, conforme se incrementa VT se mantiene estable el IE, de igual manera conforme se incrementa el contenido HBN se observó una disminución significativa en los valores de IE. Los mayores valores (>2.9) de IE ocurrieron a altas VT (>309 rpm) y bajos contenidos HBN (<3 %). Este comportamiento podría deberse a una mejora de las propiedades viscoelásticas de los gránulos de almidón en dichas condiciones mencionadas que favorecieron a la formación de la burbuja durante la salida de la botana del extrusor (Ruiz-Armenta y col 2017). Por otro lado estas condiciones de proceso (bajo contenido de HBN) coincide por lo reportado por Navarro-Cortez y col en 2018, en la cual se elaboraron botanas directamente expandidas con bagazo de naranja y se encontró el mayor índice de expansión a bajas concentraciones de bagazo de naranja.

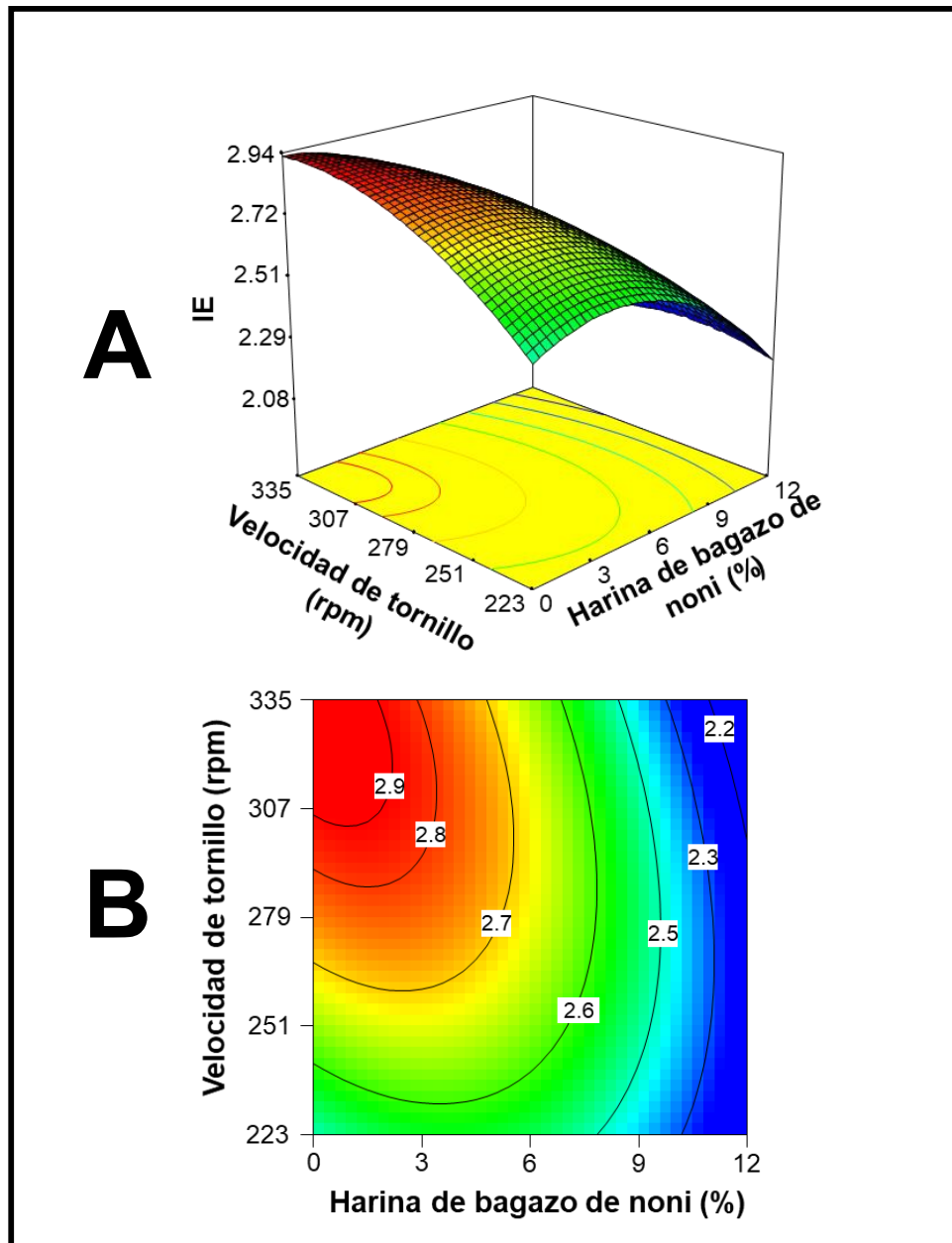


Figura 2. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre el Índice de Expansion (IE) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

Potter y Col (2013) reportaron que el grado de gelatinización afecta el grado de expansión. Y que es probable que la adición de polvos de fruta compitan por la humedad durante el proceso de extrusión, lo que afecta el grado de gelatinización y, por lo tanto, el grado de expansión y la densidad aparente.

Ainsworth y col en 2007 encontraron un comportamiento similar en botanas directamente expandidas adicionadas con bagazo de grano cervecero donde el IE aumentó a medida que se incrementó la velocidad del tornillo, este aumento es menos pronunciado, especialmente a niveles altos de bagazo de grano cervecero. observando una disminución en IE al aumentar el porcentaje de bagazo de grano cervecero agregados a la formulación. Los cambios fueron atribuidos a que el almidón es el principal componente responsable del desarrollo de la masa dentro del cilindro del extrusor y la consiguiente expansión en la salida del troquel y a que la cantidad de almidón en la formulación disminuye a medida que aumenta la cantidad de bagazo de grano cervecero en lugar de harina de maíz. Iwe y col en 2001 encontraron un comportamiento similar donde se le atribuyó a una relación directa entre el IE y la VT, donde la energía mecánica específica generada por este factor permite modificar las propiedades termo-mecánicas de los materiales alimenticios y favorecer el IE de los productos.

2. Densidad Aparente (DA)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.007$), dando valores de $R^2_{ajustada} = 0.74$ y $CV = 6.73 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.05$) (**Cuadro 9**). Como resultado del análisis estadístico de los

datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) no tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p=0.8879$) pero si tuvo efecto significativo en su termino cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p=0.0378$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta presentó efecto significativo tanto en su término lineal (VT, B, $p=0.0033$), como en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p=0.0378$); mientras que la interacción entre el contenido de harina de bagazo de noni y la velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p=0.0651$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$DA = +133.40 + 0.51 \cdot HBN - 15.29 \cdot VT + 10.84 \cdot HBN \cdot VT + 13.19 \cdot HBN^2 + 9.60 \cdot VT^2$$

En la **Figura 3** se muestra el efecto de la HBN y VT sobre la DA de botanas directamente expandidas, a un contenido humedad constante del 16 %. Se puede observar que a bajo contenido de HBN se presentó mayor variación de IE, donde conforme se incrementa la VT los valores de DA disminuyen, de igual manera a alto contenido de HBN, conforme se incrementa VT se disminuye la DA, a su vez se puede observar que los menores valores de DA se presentan entre 2 y el 6 % de HBN.

Los menores valores de DA ($<130 \text{ kg/m}^3$) ocurrieron a altas VT ($>307 \text{ rpm}$) y bajos contenidos de HBN (2-6 %). Esto pudo deberse a que en estas condiciones se presenta una mayor cantidad de almidón y a que en estas condiciones de procesamiento se presentó una mayor severidad del proceso debido a las altas VT, la cual permitió una mayor degradación del almidón disminuyendo la DA de las

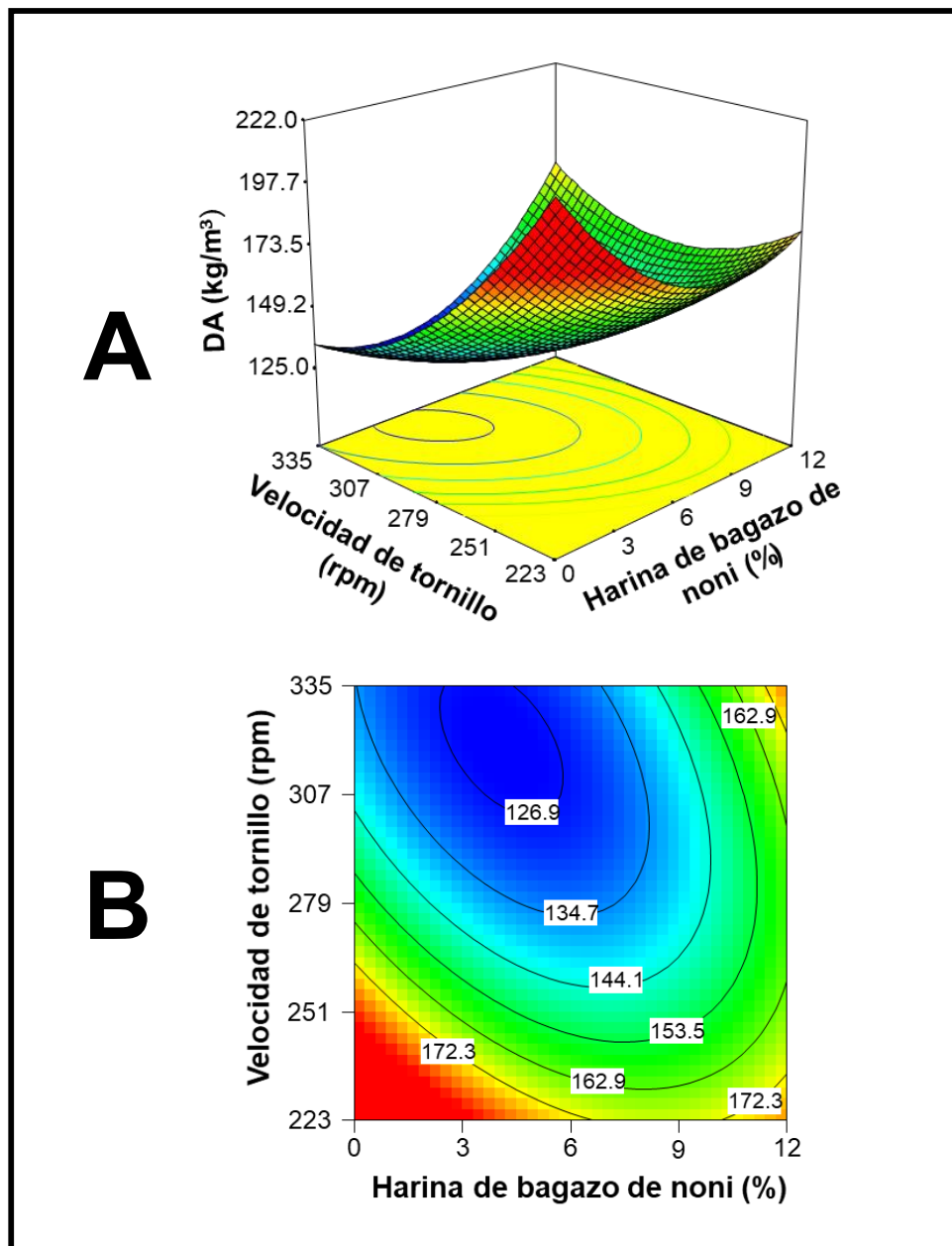


Figura 3. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la densidad aparente (DA) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

botanas al expandir, es decir, las botanas producen una mayor formación de burbujas de aire por lo que estas ocupan un mayor volumen y por consiguiente se reduce su densidad aparente. De igual manera se observó al aumentar el contenido de HBN, aumenta la DA esto se puede deber a un efecto de dilución sobre el contenido total de almidón, que afecta las propiedades elásticas (Delgado-Nieblas y col 2012). Resultados similares fueron reportados por O'Shea y col (2013), asimismo, estos autores mencionan que se obtuvieron valores menores de densidad aparente en botanas adicionadas con orujo de manzana conforme se incrementaba la VT, esto se pudo atribuir al adelgazamiento de las paredes de las burbujas que se forman en la botana.

Potter y col. (2013) reportó que la densidad aparente está directamente relacionada con la expansión, con un aumento de la densidad que disminuye la densidad del producto. Estos autores observaron en sus resultados una correlación negativa ($r^2 = -0.922$) entre la expansión y la densidad aparente. En general esto es debido posiblemente al nivel de degradación del almidón con la consiguiente dificultad para llevar a cabo la expansión causada por el proceso de extrusión (Camacho-Hernández y col 2014).

3. Fuerza de Penetración (FP)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.0002$), dando valores de $R^2_{ajustada} = 0.88$ y $CV = 8.53 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.05$) (**Cuadro 9**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni

(HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p=0.0105$) pero no tuvo efecto significativo en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p=0.4682$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta presentó efecto significativo tanto en su término lineal (VT, B, $p<0.0001$), como en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p=0.0168$); mientras que la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p=0.2725$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$FP=+3.00 +0.32*HBN -0.83 *VT - 0.16 *HBN * VT +0.31 * VT^2$$

En la **Figura 4** se muestra el efecto de la HBN y VT sobre la FP de botanas directamente expandidas, a un contenido humedad constante del 16 %. Se puede observar que a alto contenido de HBN se presentó mayor variación de FP, donde conforme se incrementa VT los valores de FP disminuyen, de igual manera a bajo contenido de HBN, conforme se incrementa VT se disminuye la FP, a su vez se puede observar que a baja VT (<279 rpm) conforme se incrementa el contenido de HBN se ve incrementada la FP, mientras que a altas VT (>279 rpm) conforme se incrementa el contenido de HBN se mantiene estable. Los menores valores de FP (<2.5N) se presentaron a altas VT y bajos contenidos HBN (<9 %). Esto coincide con Tucker y Marson (2006) que encontraron una alta correlación entre la densidad aparente y la dureza o fuerza de penetración.

El pico máximo de fuerza (N) del análisis de textura indica la resistencia del producto expandido a la penetración inicial y es representada como la dureza del

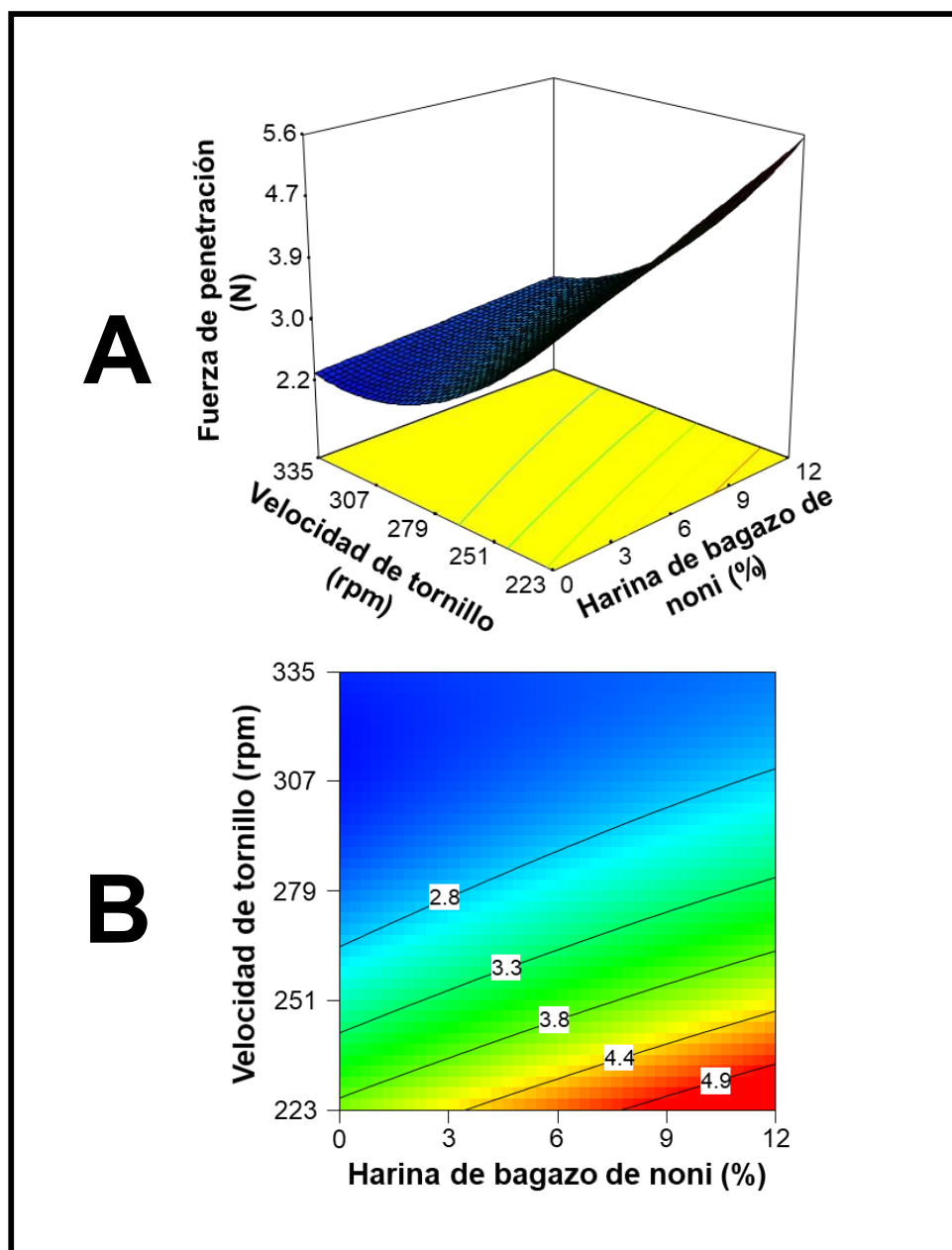


Figura 4 Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la fuerza de penetración (FP) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

producto (Ding y col 2006). La disminución de la dureza o fuerza de penetración puede ser debido a la formación de burbujas de aire con paredes más delgadas debido al incremento de contenido de almidón y a las altas VT (O'Shea y col 2013),

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Ainsworth y col.(2007) quienes observaron una disminución en la dureza a velocidades de tornillo incrementadas, mientras que se obtuvieron datos dispersos con niveles crecientes de bagazo de granos cerveceros, el incremento de la FP al incrementar el contenido HBN puede ser debido a la adición de fibra ya que Ainsworth y col (2007) lo atribuyen a que esto provoca un aumento en la DA y por ende un aumento en la FP.

4. Parametro de color L*

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.0001$), dando valores de $R^2_{ajustada} = 0.94$ y $CV = 2.38 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.11$) (**Cuadro 9**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de harina de bagazo de noni (HBN) tuvo efecto significativo en la respuesta en su término lineal (HBN, A, $p = 0. < 0.0001$) y en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p = < 0.0001$). En el caso de la velocidad de tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p = 0.4699$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p = 0.8362$); de igual manera la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p = 0.2168$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$L = +57.90 - 6.89 * HBN + 2.31 * HBN^2$$

En la **Figura 5** se muestra el efecto de la HBN y VT sobre el parametro de color L* de botanas directamente expandidas, a un contenido humedad constante del 16 %. Se puede observar que tanto a bajo y a alto contenido de HBN no se presentó variación al incrementar la VT, caso contrario al disminuir HBN en todo el rango de VT incrementaba el parametro de color L* los mayores valores de L* (>57) ocurrieron a bajo contenido de HBN (<1 %) y en todo el rango VT (223-335 rpm).

5. Parametro de color a*

Para el análisis de esta respuesta el modelo obtenido fue significativo ($p < 0.0001$), dando valores de $R^2_{ajustada} = 0.93$ y $CV = 10.93 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.05$) (**Cuadro 9**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p < 0.0001$) y en su termino cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p = 0.0003$). En el caso de la velocidad de tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p = 0.08288$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p = 0.6428$); de igual manera la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p = 0.5234$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$a^* = +4.80 + 1.96 * HBN - 0.96 * HBN^2$$

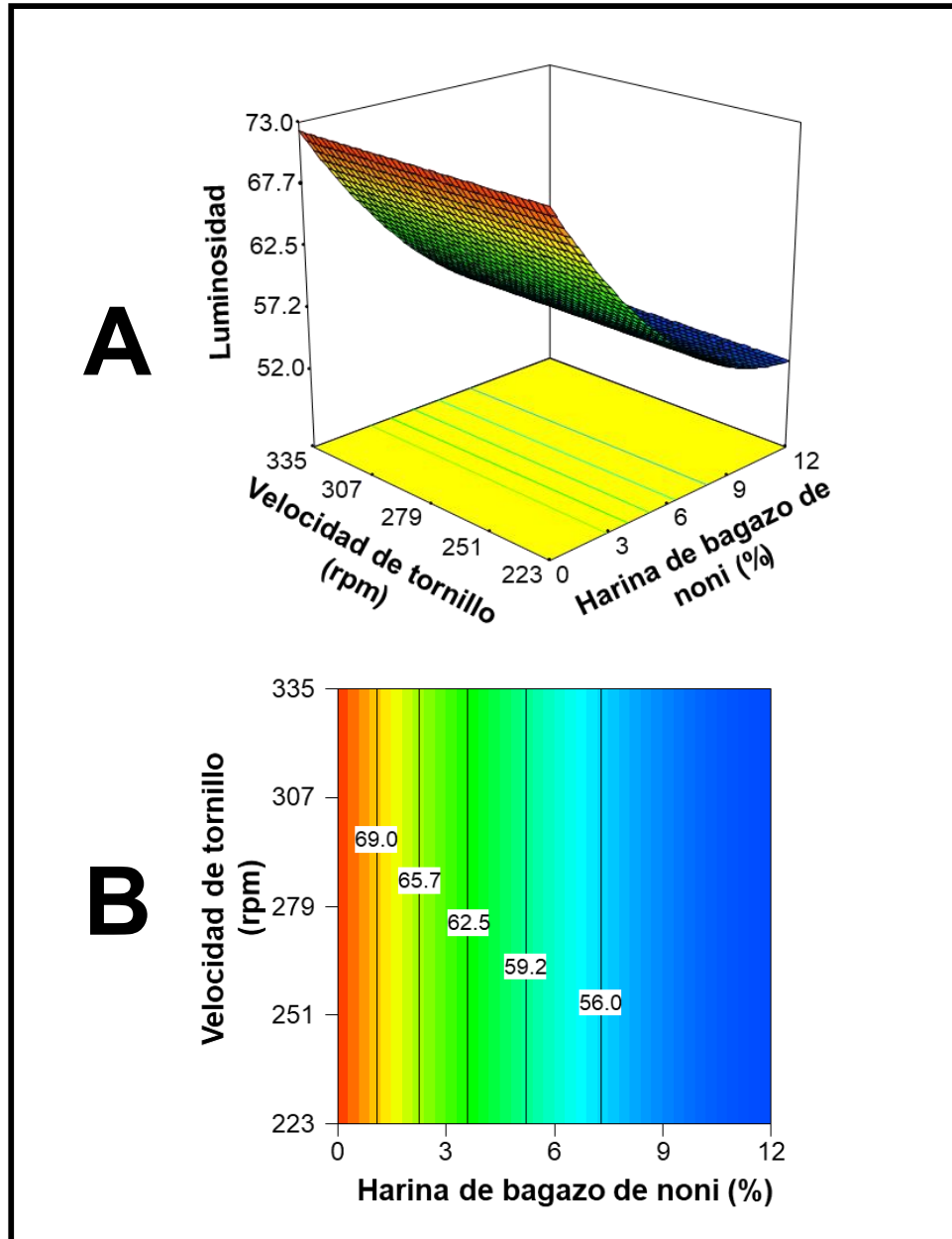


Figura 5. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre el parametro de color L* (Luminosidad) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

En la **Figura 6** se muestra el efecto de la HBN y VT sobre el parametro de color a^* de botanas directamente expandidas, a un contenido humedad constante del 16 %. Se puede observar que tanto a bajo contenido de HBN como a alto contenido de HBN no se presentó variación al incrementar la VT, caso contrario al aumentar HBN en todo el rango de VT incrementaba el parametro de color a^* . Los mayores valores de a^* (>5) ocurrieron a alto contenido de HBN (>6 %) y en todo el rango VT (223-335 rpm).

6. Parametro de color b^*

Para el análisis de esta respuesta el modelo obtenido fue significativo ($p < 0.0001$), dando valores de $R^2_{ajustada} = 0.95$ y $CV = 2.07$ %, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.06$) (**Cuadro 9**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p < 0.0001$) y en su termino cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p = 0.0005$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p = 0.0637$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p = 0.8274$); mientras que la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p = 0.0159$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$b^* = +20.70 - 2.33 * HBN - 0.33 * VT + 0.67 * HBN * VT + 0.93 * HBN^2$$

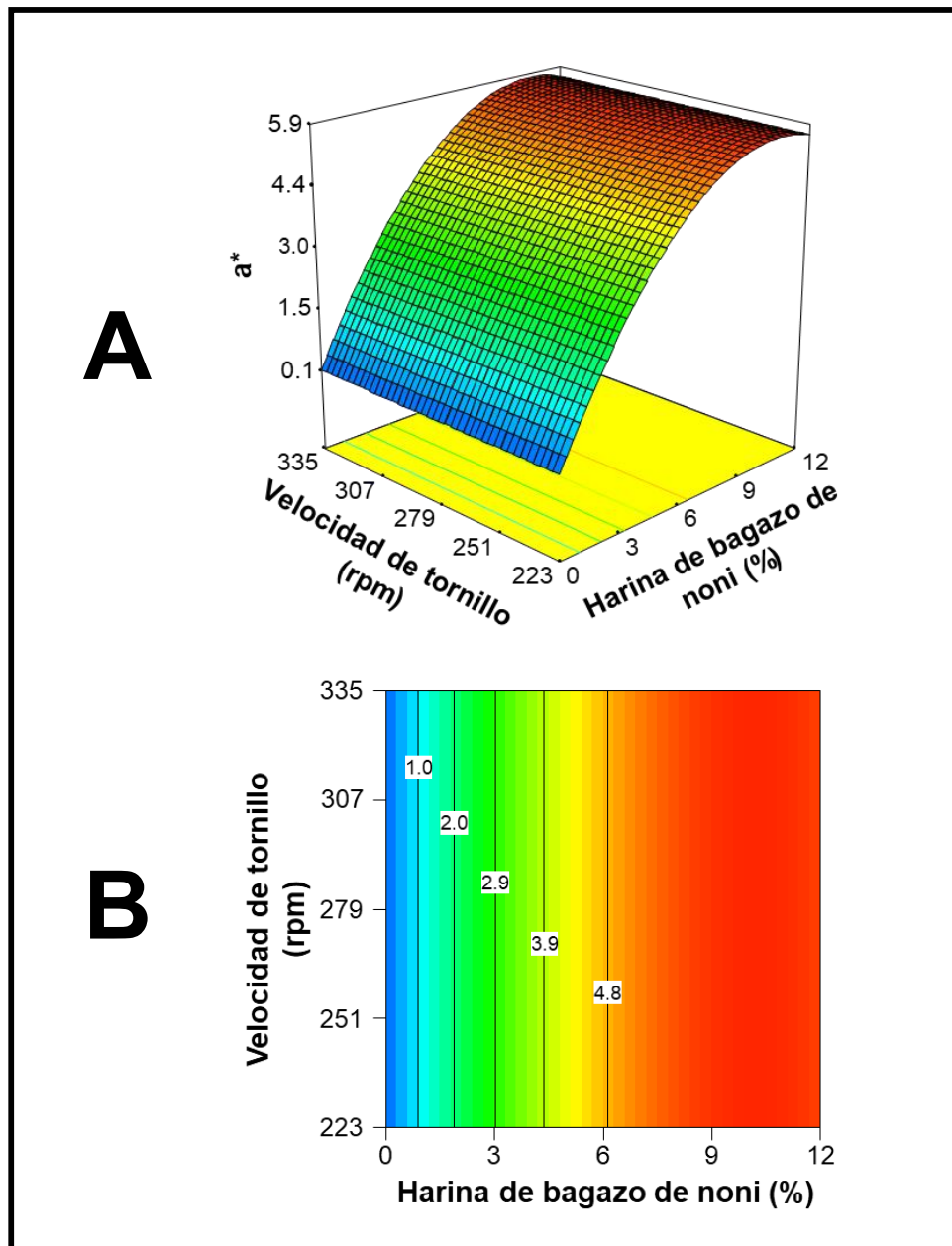


Figura 6. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre el parametro de color a^* de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

En la **Figura 7** se muestra el efecto de la HBN y VT sobre el parametro de color b^* de botanas directamente expandidas, a un contenido humedad constante del 16%. Se puede observar que a bajo contenido de HBN al disminuir la VT se incrementaba el valor de b^* , mientras que a alto contenido de HBN al incrementar o disminuir la VT no presentaba efecto la respuesta b^* ; mientras que al disminuir el contenido de HBN a bajas VT incrementaba el valor de b^* . Los mayores valores de b^* (>24) ocurrieron a bajo contenido de HBN ($<3\%$) y a bajo VT (<279 rpm).

7. Diferencia total de color (ΔE)

El análisis de esta respuesta indicó que el modelo obtenido fue significativo (<0.0001), dando valores de $R^2_{ajustada}=0.73$ y $CV= 2.7.90\%$, sin presentar falta de ajuste ($p=0.06$) (**Cuadro 9**). Para esta respuesta el término que presento efecto significativo en su término lineal fue HBN (HBN, A, $p<0.0001$). El modelo cuadrático completo obtenido fue el siguiente:

$$\Delta E = +18.49 + 3.04 * HBN$$

En la **Figura 8** se muestra el efecto de la HBN y VT sobre los valores de diferencia total de color (ΔE) a un contenido de humedad constante de 16 %. Puede observarse que al aumentar el contenido de HBN en todo el rango de VT se incrementa la diferencia total de color, mientras que el aumento de VT en todo el rango de contenido HBN no tuvo efecto sobre la diferencia total de color. Se presentaron valores para esta respuesta entre 14.00 y 22.80, presentándose los mayores valores a alto contenido de HBN ($>10\%$) y en todo el rango de VT (223-335 rpm).

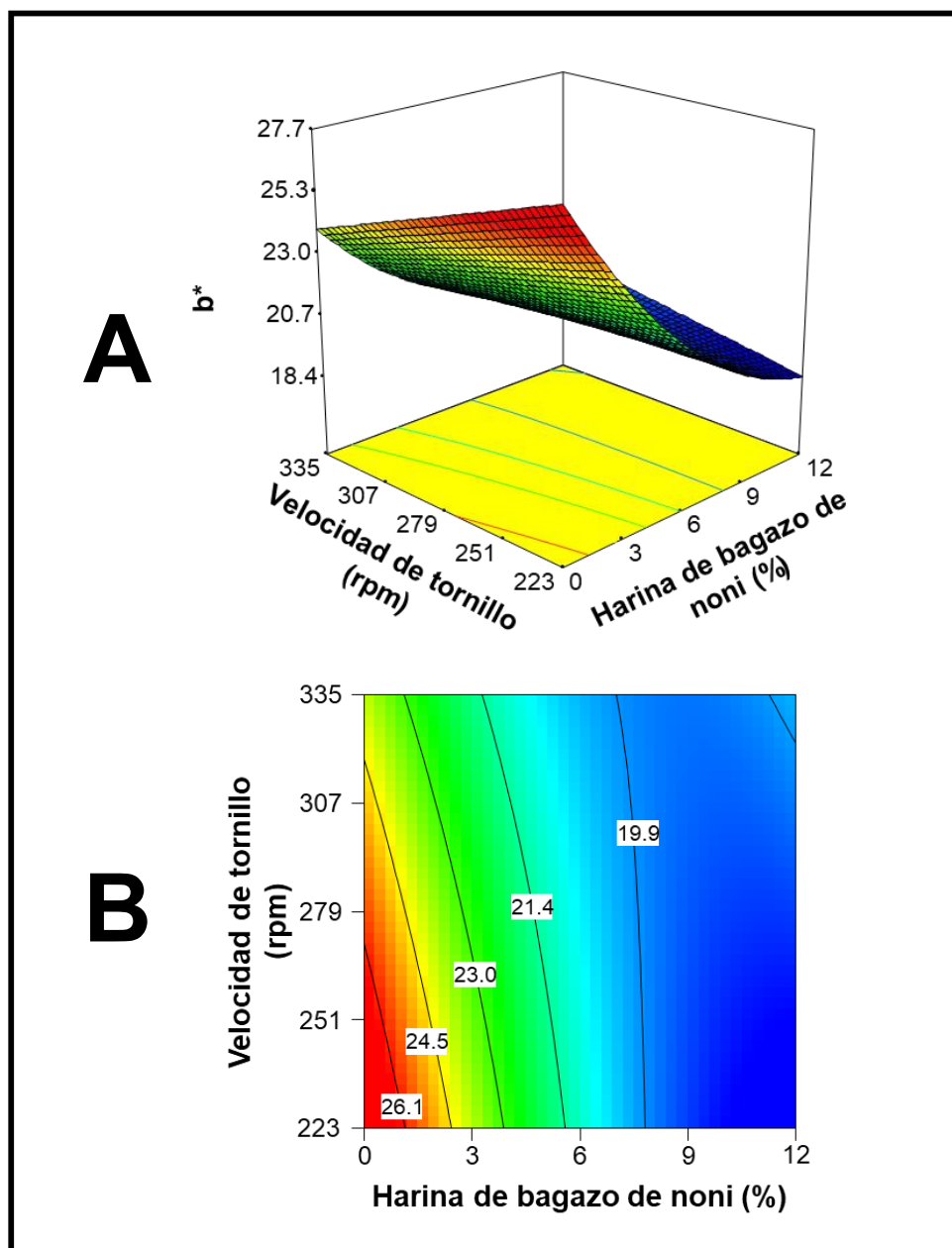


Figura 7. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre el parametro de color b^* de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

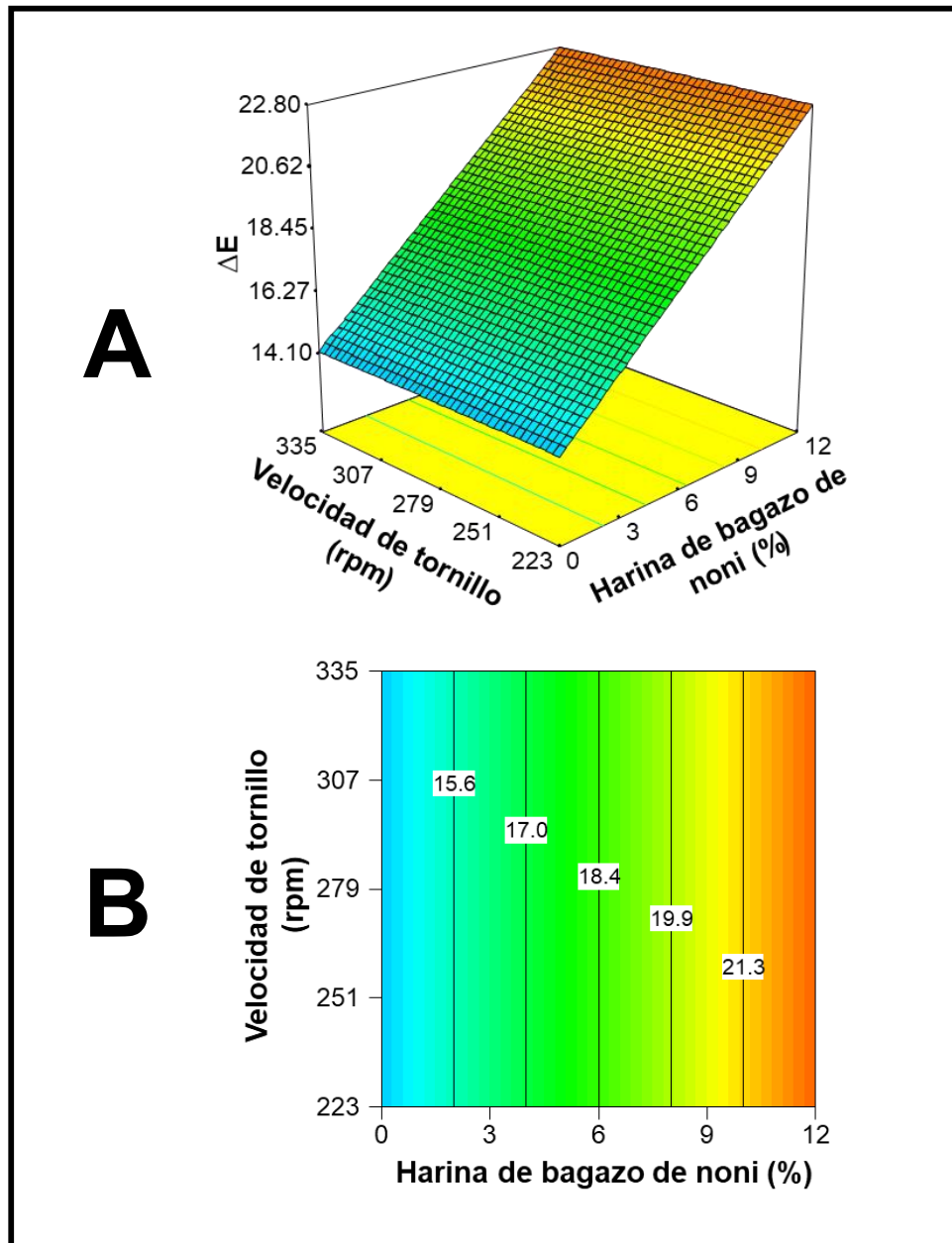


Figura 8. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la diferencia total de color (ΔE) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

Este comportamiento se puede deber a que a alto contenido de HBN se puede encontrar mayor concentración de pigmentos que son los que podrían estar influyendo en la diferencia total del color, además la presencia de fibra y a reacciones de Maillard o caramelización, pudieran estar provocando un oscurecimiento en las muestras extrudidas con respecto a las muestras sin procesar (Delgado-Nieblas y col 2012).

El color es un factor de calidad importante, directamente relacionado a la aceptabilidad de los productos alimenticios y es una importante propiedad física para productos extrudidos. El color de las muestras es denotado por 3 parámetros de color L^* , a^* y b^* . El valor de L^* determina la luminosidad de los productos extrudidos.

Se encontraron valores bajos de L^* a altos contenidos de HBN y en todo el rango de VT, lo cual pudiera deberse a que al incrementar el contenido de HBN se pudo incrementar la concentración de pigmentos y de fibra dietaria, debido a que la HBN es rica en estos pigmentos oscuros y fibra, lo cual pudo haber ocasionado un oscurecimiento en la apariencia volviendo las muestras más opacas u oscuras. Esto difiere por lo reportado por Delgado-Nieblas y col (2012) quienes reportan que en pellets de almidón de maíz, maíz amarillo y calabaza, a bajo contenido de harina de calabaza se encontraron los menores valores de L^* , atribuyéndole éste comportamiento al contenido de pigmentos amarillos y naranjas presentes en sus materias primas. Datos similares a los encontrados en las botanas con HBN fueron reportados por Ainsworth y col en 2007 donde las muestras se volvieron más oscuras a medida que aumenta la cantidad de bagazo de grano cervecero en la

formulación (es decir, valores menores de parametro L^*) mientras que la VT no tenia efecto significativo en el mismo.

El parámetro de color L^* presentó una alta correlación negativa con el parámetro de color a^* con un valor $r = -0.981$ al igual que una alta correlacion con el parámetro de color b^* con un valor $r = 0.985$. Asimismo, presentó una buena correlación negativa con el factor HSN con un valor $r = -0.922$. Por otro lado, se incrementaron los valores observados en el parámetro a^* al disminuir en todo el rango el contenido de HBN esto pudo deberse a que a estas condiciones predominó el color de los pigmentos de la harina de maiz amarillo los cuales tienden mas hacia colores rojos y son mas claros que los de HBN. Dehghan-Shoar y col (2010) encontraron en botanas extrudidas enriquecidas con licopeno de tomate que los productos que presentaron mayores valores de a^* presentaron los menores valores de L^* , mostrando estas variables de respuesta una alta correlación negativa con un valor $r = -0.86$. En el caso de el presente trabajo el parámetro de color a^* presentó una alta correlación negativa con el parámetro de color L^* con un valor $r = -0.981$. Asimismo, presentó una alta correlación positiva con el parámetro b^* de color con un valor $r = 0.978$, con ΔE con un valor $r = 0.884$. Esta variable de respuesta mostró una buena correlación positiva con el factor HBN, con un valor $r = 0.875$.

En el parámetro b^* se encontró un comportamiento opuesto al del parámetro a^* , incrementando los valores de b^* al disminuir el contenido de HBN, de igual manera a menor VT y menor contenido de HBN se encontro el mayor valor para este paramentro; se pudiera atribuir este comportamiento al color de las materias primas utilizadas en los diferentes tratamientos, es decir, principalmente al color amarillo

que presenta la harina de maiz amarillo que presentó un valor promedio de b^* de 29, y HBN de 15. Se observó una disminución significativa al aumentar el contenido de HBN debido a los pigmentos mas oscuros presentes en la misma y de igual manera disminuyó al incrementar la VT esto atribuido a los procesos mas severos que se llevan a cabo. Este parámetro presentó una correlación positiva con el parámetro L^* con un valor $r = -0.985$. Asimismo, presentó correlación negativa con el parámetro a^* con un valor $r = -0.978$ y con ΔE una correlación positiva con un valor $r = 0.872$.

8. Energia Mecanica Especifica (EME)

La EME está relacionada con el grado de transformación del producto e influye en propiedades del extruido, como la expansión, la densidad y la textura principalmente (Iwe, van Zuilichem, y Ngoddy, 2001).

La energía mecánica específica es un buen descriptor cuantitativo en el proceso de extrusión y permite una comparación directa con las diferentes combinaciones del proceso de extrusión como: velocidad de tornillo, velocidad de alimentación y torque. Además, la EME del material extrudido determina la magnitud de la transformación e interacción macromolecular, tal como, la conversión del almidón, y consecuentemente las propiedades reológicas del extrudido (Mitchell y Areas, 1992).

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p = 0.0002$), dando valores de $R^2_{ajustada} = 0.77$ y $CV = 13.86 \%$, presentando falta de ajuste ($p = 0.0002$) (**Cuadro 9**). Aunque el modelo presenta falta

de ajuste para estas respuestas algunos autores como Sibel y Fahrettin (2007) , consideran aceptables ya que estos análisis en general muestran una gran variabilidad con respecto a las variables del proceso y materias primas.

Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) no tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p=0.7746$) pero si tuvo efecto significativo en su termino cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p=0.0002$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p=0.0428$), pero no tuvo efecto significativo en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p= 0.6594$; mientras que la interacción contenido de harina de bagazo de noni- velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p= 0.4200$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$EME = +615.38 - 7.43 * HBN + 117.54 * VT + 29.09 * HBN * VT - 165.18 * HBN^2 - 116.44 * HBN^2 * VT$$

En la **Figura 9** se muestra el efecto de la HBN y VT sobre la EME de botanas directamente expandidas, a un contenido humedad constante del 16 %. Se puede observar que al aumentar el contenido de HBN (<6 %) hay un incremento inicial de la EME seguido de un descenso por encima de un contenido de HBN >6 %. Encontrandose la zona con mayor EME a un contenido medio HBN (3-9 %) y a altas VT (>279 rpm).

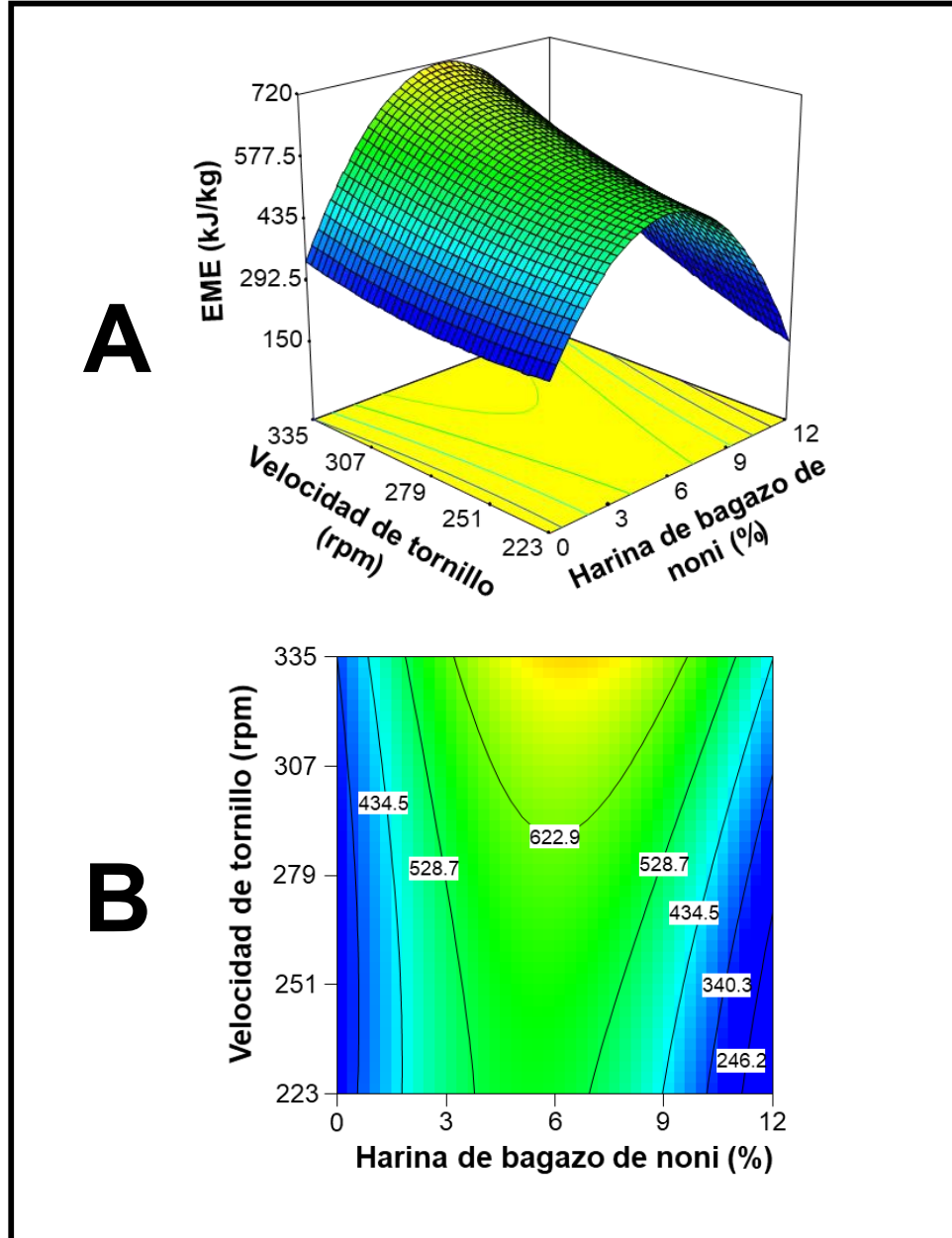


Figura 9. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la Energía Mecánica Específica (EME) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

Los menores valores (<434 kJ/kg) de EME se encuentran en dos secciones una a bajo contenido de HBN (<1 %) en todo el rango de VT y otra a alto contenido de HBN (>10 %) y baja VT (<279 rpm). Esto se puede deber principalmente a que la EME se ve directamente afectada por los cambios en la velocidad del tornillo y la velocidad de alimentación (Pansawat, 2008). La EME observada por dichos autores osciló entre 186 y 365 kJ / kg. Con la EME más alta se encontró a alta velocidad de tornillo. Altan y col (2008) reportaron que al incrementar el contenido de orujo de tomate en botanas de harina de cebada extrudidas con un extrusor de doble tornillo a alta VT la EME se veía incrementada.

D. PARÁMETROS FUNCIONALES

En el **cuadro 10** se muestra el análisis de varianza para las respuestas Compuestos Fenólicos Totales (CFT), Compuestos Fenólicos de extractos Libres (CFLib), Compuestos Fenólicos de extractos Ligados (CFLig) donde $CFT = CFLib + CFLig$, capacidad antioxidante por el método DPPH (DPPH), capacidad antioxidante por el método DPPH de extractos Libres (DPPHLib), capacidad antioxidante por el método DPPH de extractos Ligados (DPPHLig) donde $DPPH = DPPHLib + DPPHLig$, capacidad antioxidante por el método ABTS (ABTS), capacidad antioxidante por el método ABTS de extractos Libres (ABTSLib) y capacidad antioxidante por el método ABTS de extractos Ligados (ABTSLig) donde $ABTS = ABTSLib + ABTSLig$. Los parámetros evaluados mostraron un modelo de regresión (MSR) significativo, con valores de R^2 ajustada >0.73 , coeficientes de variación $<10.68\%$. p de F del modelo <0.006 , sin presentar falta de ajuste en ninguna de sus respuestas.

Cuadro 10. Análisis de varianza de las respuestas funcionales en la elaboración de alimentos botana directamente expandidas adicionados con harina de bagazo de noni.

Respuesta	R² (Ajustada)	CV (%)	Valor F	p de F (modelo)	Falta de ajuste
CFT	0.82	5.84	30.14	<0.0001	0.09
CFLib	0.83	5.59	12.98	0.002	0.14
CFLig	0.84	7.40	33.59	<0.0001	0.05
DPPH	0.88	4.48	19.38	0.0006	0.06
DPPHLib	0.93	2.44	35.74	<0.0001	0.10
DPPHLig	0.87	6.55	22.15	0.0002	0.52
ABTS	0.76	10.68	8.90	0.006	0.11
ABTSLib	0.73	6.56	9.21	0.004	0.18
ABTSLig	0.81	12.71	11.81	0.002	0.10

CFT= Compuestos fenólicos totales (mg Equivalentes de ácido gálico/100 g bs); CFLib= Compuestos fenólicos de extractos libre (mg Equivalentes de ácido gálico/100 g bs); CFLig= Compuestos fenólicos de extractos ligados (mg Equivalentes de ácido gálico/100 g bs); DPPH= Capacidad antioxidante por método DPPH (μmol ET/100 g muestra bs); DPPHLib= Capacidad antioxidante por método DPPH de extractos libres (μmol ET/100 g muestra bs); DPPHLig= Capacidad antioxidante por método DPPH de extractos ligados (μmol ET/100 g muestra bs); ABTS= Capacidad antioxidante por método ABTS (μmol ET/100 g muestra bs); ABTSLib= Capacidad antioxidante por método ABTS de extractos libres (μmol ET/100 g muestra bs); ABTSLig= Capacidad antioxidante por método ABTS de extractos ligados (μmol ET/100 g muestra bs).

1. Compuestos fenólicos totales (CFT)

La actividad antioxidante de la mayoría de los alimentos es causada principalmente por compuestos fenólicos tales como proantocianidinas y flavonoles (Skerget y col, 2005). Los compuestos fenólicos son abundantes en la dieta de la población, por esta razón su interés científico ha aumentado debido a que previenen enfermedades relacionadas con la edad, incluyendo enfermedades cardiovasculares y cáncer (Saura-Calixto y col 2007).

En el análisis de compuestos fenólicos en las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión se encontró que la Harina de Bagazo de Noni (HBN) presentó un contenido de compuestos fenólicos de 72.31 ± 0.12 mg EAG/g de extracto seco. Asimismo, la harina de maíz amarillo presentó un contenido de compuestos fenólicos de 16.76 ± 0.19 mg EAG/g de extracto seco.

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.0001$), dando valores de $R^2_{ajustada} = 0.82$ y $CV = 5.84\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.09$) (**Cuadro 10**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) no tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p = 0.4998$) pero si tuvo efecto significativo en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p < 0.0001$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p = 0.08196$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p = 0.8718$); de igual manera la interacción contenido de harina de bagazo

de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p= 0.3323$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$\text{CFT} = +1907.64 -30.77 * \text{HBN} +11.51 * \text{VT} +361.36 * \text{HBN}^2$$

En la **Figura 10** se observa el efecto del contenido de HBN y la VT sobre el contenido Compuestos Fenólicos Totales (CFT) en botanas directamente expandidas a un contenido de humedad constante de 16%. Se puede apreciar que la VT no presentó efecto significativo en todo el rango de contenido de HBN, mientras que al aumentar el contenido de HBN (0-6 %) en todo el rango de VT se presentó un descenso de los CFT seguido de un aumento a alto contenido de HBN(6-12 %) .

Los mayores valores de CFT (>2000 mg EAG/100g.b.s.) se encuentran en dos secciones una a bajo (<3 %) contenido de HBN en todo el rango de VT y otra a alto (>9 %) contenido de HBN y baja (<279 rpm) VT. Esto concuerda por lo reportado por Ozer y col. (2006) donde estos autores observaron que los cambios en la velocidad del tornillo, la tasa de alimentación del extrusor y el contenido de humedad no tiene efecto en el contenido de CFT. Estas dos secciones se pueden deber principalmente a que los CFT se determinaron a partir de la sumatoria de los compuestos fenólicos de extractos libres (CFLib) y los compuestos fenólicos de extractos ligados (CFLig). La seccion de la mayor concentración de HBN se le atribuye principalmente a los CFLib que contiene la HBN de acuerdo con lo reportado en la literatura por Ahumada-Aguilar (2014) donde se presentaron valores

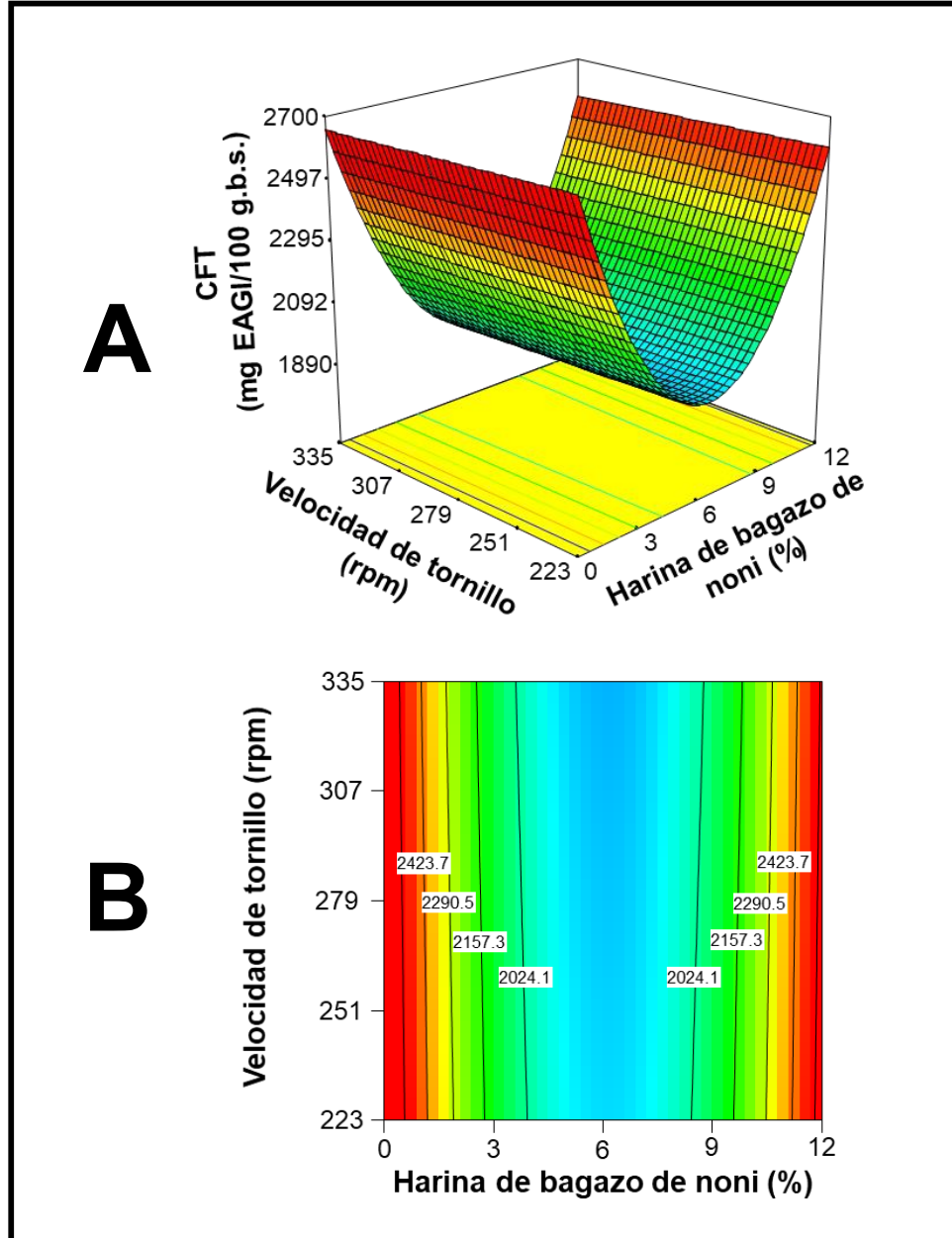


Figura 10. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre los Compuestos Fenolicos Totales (CFT) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

altos de compuestos fenólicos atribuidos a la adición de naranjita en botanas. De igual manera White y col (2010) reportaron el incremento de compuestos fenólicos como antocianina, flavonol y procianidina con la adición de orujo de arándanos en botanas de maíz amarillo extrudidos con un extrusor de doble tornillo a velocidades de 150-200 rpm.

Caso contrario en la sección de menor concentración de HBN se le atribuye a la liberación de los CFLig que se encuentran presentes en el maíz amarillo por el proceso de extrusión debido a el contenido de ácido ferúlico el cual se ha reportado por Zielinski y col. (2001) que se encuentra unido a las paredes celulares del maíz, pudiendo ser liberado por tratamientos térmicos como el proceso de extrusión.

2. Compuestos fenólicos libres (CFTLib)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p=0.001$), dando valores de $R^2_{ajustada}=0.81$ y $CV= 5.90\%$, sin presentar falta de ajuste ($p=0.13$) (**Cuadro 10**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p=0.0006$) y en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p=0.0016$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p=0.0.1278$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p= 0.2100$; de igual manera la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p= 0.3694$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$\text{CFLib} = +700.86 + 90.12 * \text{HBN} + 26.10 * \text{VT} - 20.50 * \text{HBN} * \text{VT} + 80.87 * \text{HBN}^2 + 22.37 * \text{VT}^2$$

En la **Figura 11** se observa el efecto del contenido de HBN y la VT sobre el contenido Compuestos Fenolicos de extractos Libres (CFLib) en botanas directamente expandidas a un contenido de humedad constante de 16 %. Se puede apreciar que a bajos niveles de HBN (<3 %) el CFLib, al aumentar la VT (>307 rpm), presento un ligero incremento pero sin tener un efecto significativo; en el rango de 3-12 % de HBN el CFLib se mantuvo estable al incrementar la VT. Por otro lado el CFLib presento un aumento al aumentar el contenido de HBN (>3 %) en todo el rango de VT. Los mayores valores de CFLib (>950 mg EAG/100g.b.s.) se encuentran a altos contenido de HBN (>9%) en todo el rango de VT. Esto indica que los compuestos fenolicos presentes en la HBN son principalmente CFLib, concordando con White y col. (2010) quienes reportaron que los frutos son fuente importante de compuestos fenólicos y que estos se encuentran presentes principalmente en el orujo o bagazo de estos.

3. Compuestos fenólicos ligados (CFTLig)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.0001$), dando valores de $R^2_{\text{ajustada}} = 0.84$ y $\text{CV} = 7.40 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.05$) (**Cuadro 10**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p = 0.0069$) y en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p < 0.0001$). En el caso de la

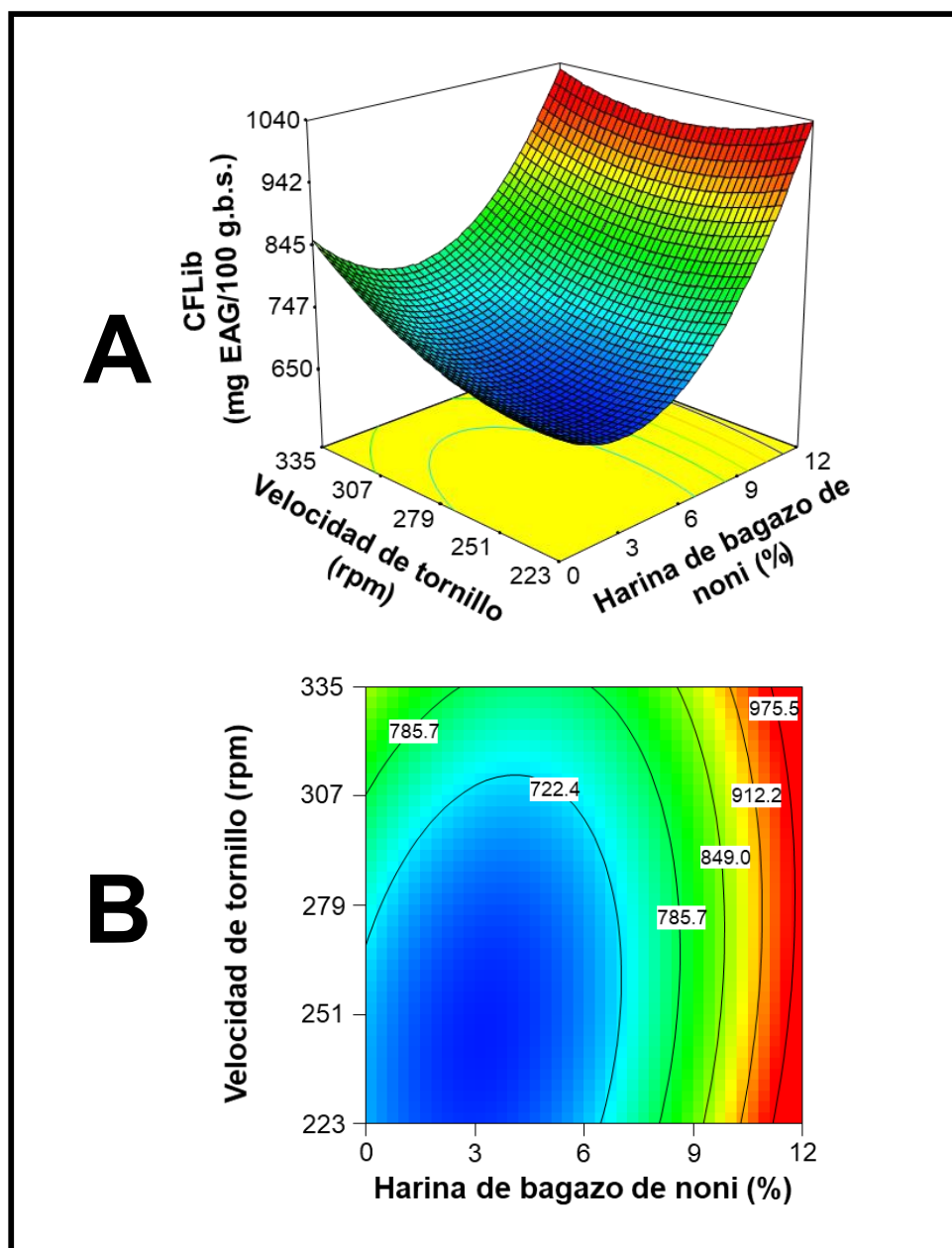


Figura 11. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre los Compuestos Fenolicos Libres (CFLib) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

Velocidad de Tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p=0.3168$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p= 0.8778$; de igual manera la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p= 0.4438$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$\text{CFLig} = +1191.22 -120.89 * \text{HBN} +283.41 * \text{HBN}^2$$

En la **Figura 12** se observa el efecto del contenido de HBN y la VT sobre el contenido Compuestos Fenolicos de extractos Ligados (CFLig) en botanas directamente expandidas a un contenido de humedad constante de 16 %. Se puede apreciar que los CFLig al aumentar el contenido de HBN (7 %) presento una disminucion de los mismos, seguido de un aumento al seguir incrementando la HBN (>7 %); mientras que la VT no presento efecto significativo, manteniedose los CFLig sin varicacion,

Los mayores valores (>1700 mg EA/100g.b.s.) de CFLig se encuentran a bajo (<2 %) contenido de HBN en todo el rango de VT. Esto debido a los compuestos fenólicos presentes en la harina de maíz amarillo principalmente el ácido ferúlico algunos autores como Zielinski y col. (2001) reportaron que el ácido ferúlico se encuentra unido a las paredes celulares del maíz, pudiendo ser liberado por tratamientos térmicos y la fuerza de cizalla durante el proceso de extrusión. Mientras que el incremento a alto contenido de HBN se puede deber al contenido de fibra del noni y a su hidrolisis causando así un ligero incremento de los compuestos fenólicos.

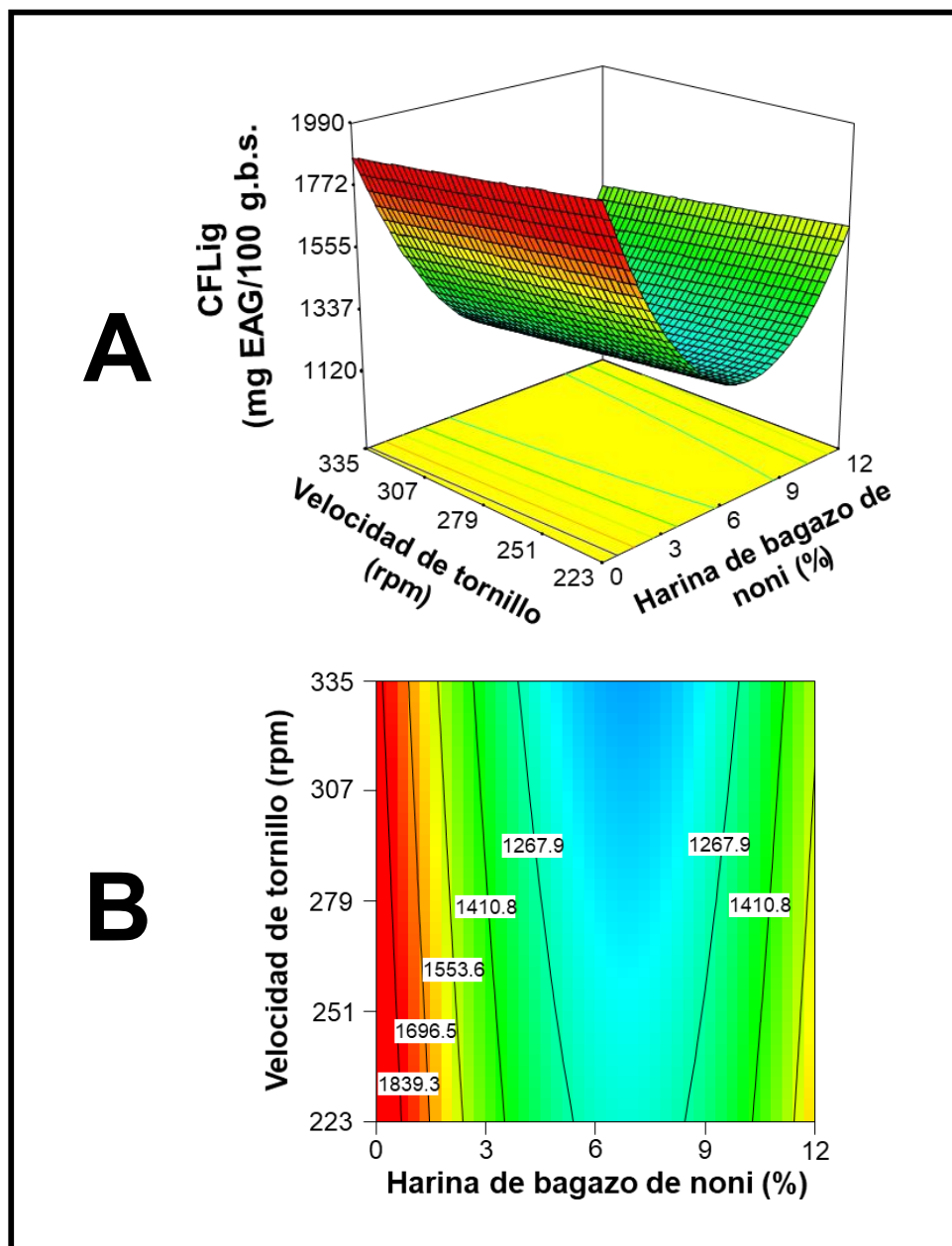


Figura 12. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre los Compuestos Fenolicos Ligados (CFLig) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

4. Capacidad antioxidante DPPH (DPPH)

En el análisis de capacidad antioxidante por el método de DPPH en las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión se encontró que la Harina de Bagazo de Noni (HBN) presentó una capacidad antioxidante de $29.09 \pm 0.49 \mu\text{mol ET/g.b.s.}$ Asimismo, la harina de maíz amarillo presentó una capacidad antioxidante de $15.46 \pm 0.37 \mu\text{mol ET/g.b.s.}$

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p=0.0006$), dando valores de $R^2_{\text{ajustada}}=0.88$ y $CV= 4.48 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p=0.06$) (**Cuadro 10**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) no tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p=0.0658$) pero si tuvo efecto significativo en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p<0.0001$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p=0.3218$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p= 0.0583$); de igual manera la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p= 0.1624$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$\text{DPPH} = +1322.35 - 51.95 * \text{HBN} - 25.42 * \text{VT} - 52.67 * \text{HBN} * \text{VT} + 239.25 * \text{HBN}^2 + 57.81 * \text{VT}^2$$

En la **Figura 13** se observa el efecto del contenido de HBN y la VT sobre la capacidad antioxidante DPPH (DPPH) en botanas directamente expandidas a un contenido de humedad constante de 16 %. Se puede observar que la capacidad

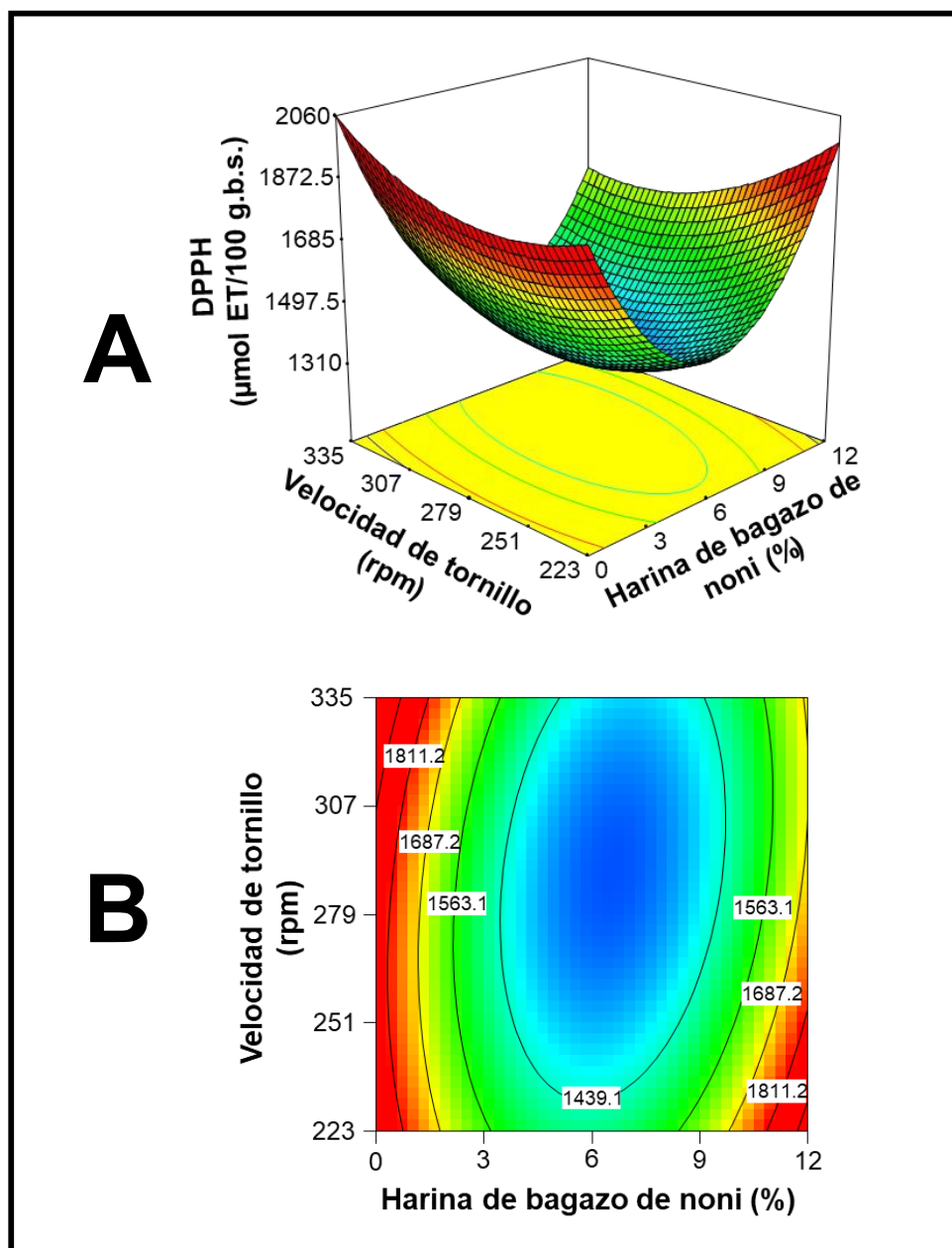


Figura 13. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante por el metodo DPPH (DPPH) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

antioxidante DPPH al incrementar el contenido de HBN (<6 %) disminuye, mientras que al seguir incrementando (>6 %) este se ve incrementando. Mientras que al disminuir la VT a alto contenido de HBN los valores de DPPH aumentan.

Los mayores valores de capacidad antioxidante (>1800 $\mu\text{mol ET}/100\text{g.b.s.}$) se encuentran a bajo contenido de HBN (<2 %) en todo el rango de VT y a alto contenido de HBN (>10 %) y baja VT (<251 rpm). La disminución de la capacidad antioxidante a alto contenido de HBN y alta VT podría explicarse por la destrucción de los antioxidantes y compuestos fenólicos por alto cizallamiento de acuerdo por lo reportado por Altan y col (2009) que observaron la disminución de los compuestos fenólicos y de antioxidantes por efecto de la VT en botanas adicionadas con orujo de uva. Mientras que la generación de dos zonas con alta valor de DPPH se pueden deber principalmente a que la determinación de DPPH se calculó a partir de la sumatoria de la capacidad antioxidante de extractos libres (DPPHLib) y de extractos ligados (DPPHLig). La zona de menor concentración de HBN y baja VT se le atribuye principalmente a los CFLig que se encuentran en la harina de maíz amarillo y que generan la capacidad antioxidante, esto concuerda por lo reportado por Urias-Orona y col (2016) que observaron que la porción ligada de compuestos fenólicos de maíz la que presentó los niveles más altos de fenoles totales, debido al ácido ferúlico y ácido cumárico principalmente.

Mientras que la zona con alto valor que se encuentra alto contenido de HBN y baja VT se atribuye a principalmente a los CFLib que contiene la HBN concordando White y col. (2010) que reportaron el incremento de compuestos fenólicos con la adición de orujo de arándanos en botanas de maíz amarillo extrudidos con un

extrusor de doble tornillo a velocidades de 150-200 rpm, donde se han atribuido efectos beneficiosos de las frutas y hortalizas debido a sus compuestos fenólicos y propiedades antioxidantes (Poskitt & Morgan, 2005).

5. Capacidad antioxidante DPPH de extractos libres (DPPHLib)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.0001$), dando valores de $R^2_{ajustada} = 0.93$ y $CV = 2.44 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.10$) (**Cuadro 10**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p = 0.0003$) y en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p < 0.0001$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p = 0.0073$), y en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p = 0.0005$); mientras que en la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p = 0.4536$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$\text{DPPHLib} = +546.88 + 34.61 * \text{HBN} - 19.42 * \text{VT} + 5.82 * \text{HBN} * \text{VT} + 54.26 * \text{HBN}^2 + 34.44 * \text{VT}^2$$

En la **Figura 14** se observa el efecto del contenido de HBN y la VT sobre el contenido capacidad antioxidante por el método DPPH en extractos Libres (DPPHLib) en botanas directamente expandidas a un contenido de humedad constante de 16 %. Se puede observar que la capacidad antioxidante DPPHLib a contenido de HBN alto ($> 9 \%$) y en todo el rango de VT aumenta; de igual manera

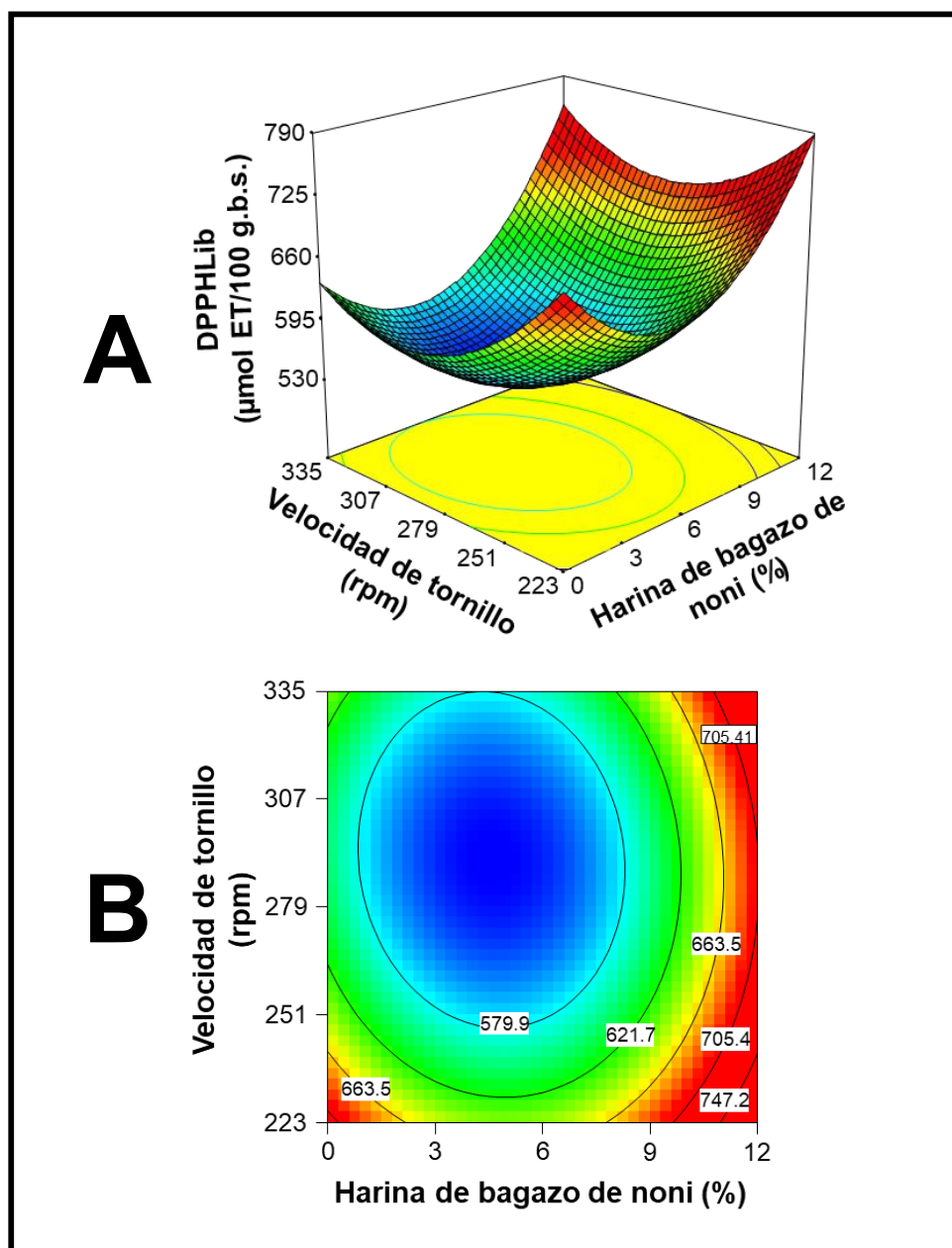


Figura 14. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante por el metodo DPPH en extractos Libres (DPPHLib) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

al disminuir el contenido de HBN (<2 %) y la VT (<251 rpm) se presentó un incremento en la capacidad antioxidante DPPHLib; por otro lado al disminuir (<2 %) HBN y aumentar (>307 rpm) VT se presenta un ligero incremento, manteniéndose la zona con menor capacidad antioxidante en las zonas centrales (2-9 %HBN y 260-310 rpm).

Los mayores valores de DPPHLib (>705 $\mu\text{mol ET}/100\text{g.b.s.}$) se encuentran a alto contenido de HBN (>9 %) en todo el rango de VT, esto debido a los compuestos fenólicos presentes en la HBN los cuales son CFLib principalmente y degradación de los CFLib debido a la fuerza de cizalla, mientras que el leve incremento a altas VT y bajo contenido HBN a la liberación de CFLig que se encuentran en la harina de maíz amarillo.

6. Capacidad antioxidante DPPH de extractos ligados (DPPHLig)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p=0.0002$), dando valores de $R^2_{\text{ajustada}}=0.87$ y $\text{CV}= 6.55 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p=0.05$) (**Cuadro 10**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de harina de bagazo de noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p=0.0030$) y en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p<0.0001$). En el caso de la velocidad de tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p=0.7688$), y en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p= 0.2795$); de igual manera en la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo

efecto significativo (AB, $p= 0.0900$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$\text{DPPHLig} = +775.25 - 86.15 * \text{HBN} - 6.23 * \text{VT} - 55.86 * \text{HBN} * \text{VT} + 178.38 * \text{HBN}^2$$

En la **Figura 15** se observa el efecto del contenido de HBN y la VT sobre el contenido capacidad antioxidante por el método DPPH en extractos Ligados (DPPHLig) en botanas directamente expandidas a un contenido de humedad constante de 16%. Donde se puede observar que al incrementar el contenido de HBN (6%) se aprecia una disminución de la capacidad antioxidante DPPHLig seguido de un aumento de la misma al aumentar la HBN (>9 %), mientras que al aumentar la VT a bajo contenido de HBN se presentó un incremento de los valores de DPPHLig, caso contrario al disminuir las VT a altos contenido de HBN se incrementaron los valores de DPPHLig.

Los mayores valores de DPPHLib (>1147 $\mu\text{mol ET}/100\text{g.b.s.}$) se encuentran a bajo contenido de HBN (<2%) en todo el rango de VT, esto debido a los compuestos fenólicos presentes en la harina de maíz amarillo los cuales son CFLig, Miller y col (2000) reportaron que los antioxidantes de granos están más concentrados en la fracción de salvado, sin embargo, también es notable su presencia en la fracción amilácea. De igual manera se presentó una pequeña zona con valores mayores 1042.5 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g b.s.}$ que se encuentra a alto contenido de HBN (11%) y baja VT (251 rpm). Pudiéndose atribuir a la liberación de algunos CFLig de la HBN.

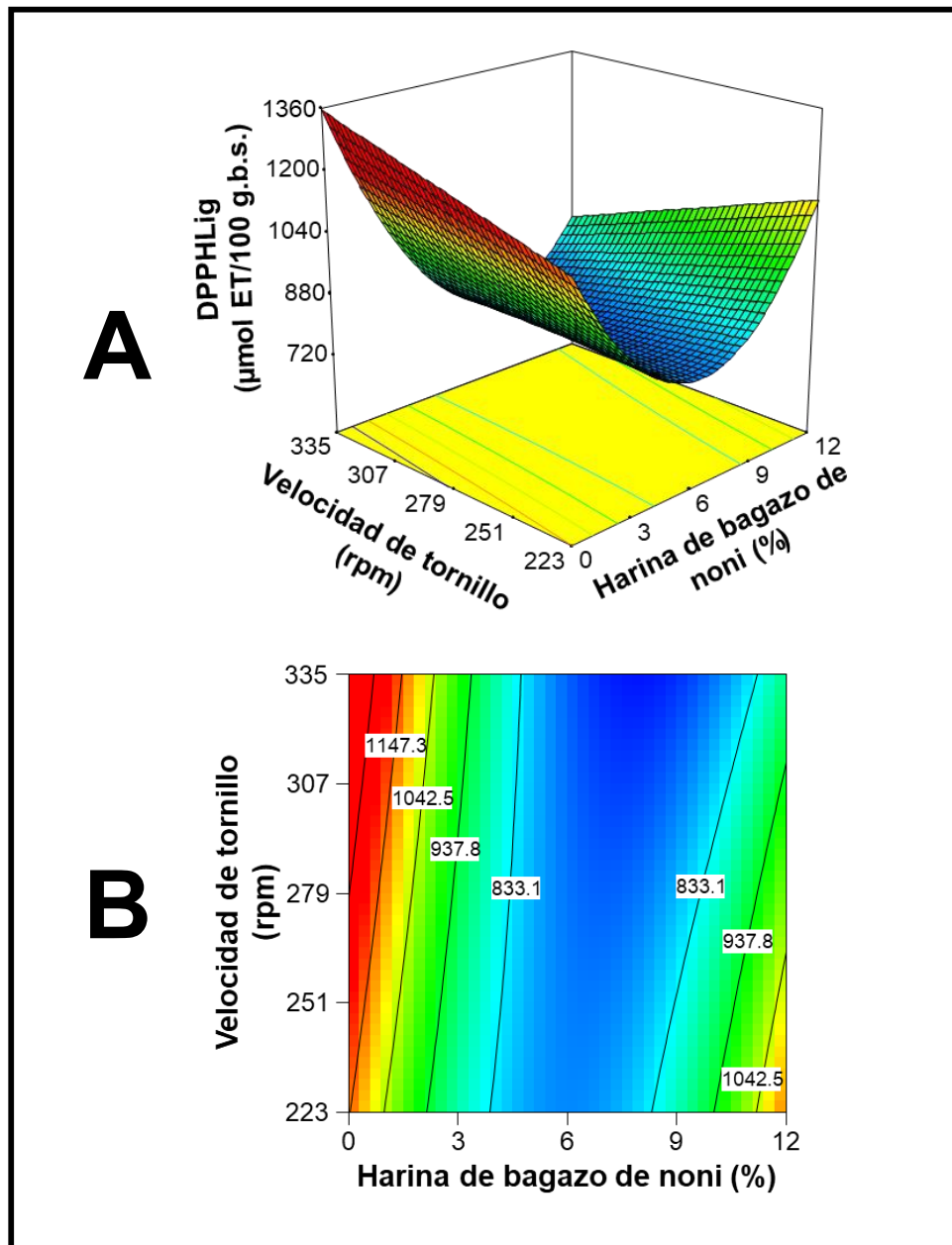


Figura 15. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante por el metodo DPPH en extractos Ligados (DPPHLig) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

7. Capacidad antioxidante ABTS (ABTS)

En el análisis de capacidad antioxidante por el método de ABTS en las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión se encontró que la Harina de Bagazo de Noni (HBN) presentó una capacidad antioxidante de $12.64 \pm 0.77 \mu\text{mol ET/g.b.s.}$ Asimismo, la harina de maíz amarillo presentó una capacidad antioxidante de $3.03 \pm 0.13 \mu\text{mol ET/g.b.s.}$

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p=0.006$), dando valores de $R^2_{\text{ajustada}}=0.76$ y $\text{CV}= 10.68 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p=0.11$) (**Cuadro 10**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p=0.0103$) y en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p=0.001$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p=0.5777$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p= 0.6896$); de igual manera la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p= 0.3383$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$\text{ABTS} = +465.86 - 70.01 * \text{HBN} + 11.74 * \text{VT} - 29.23 * \text{HBN} * \text{VT} + 117.54 * \text{HBN}^2 - 8.98 * \text{VT}^2$$

En la **Figura 16** se observa el efecto del contenido de HBN y la VT sobre el contenido capacidad antioxidante por el método ABTS (ABTS) en botanas directamente expandidas a un contenido de humedad constante de 16 %. Se puede

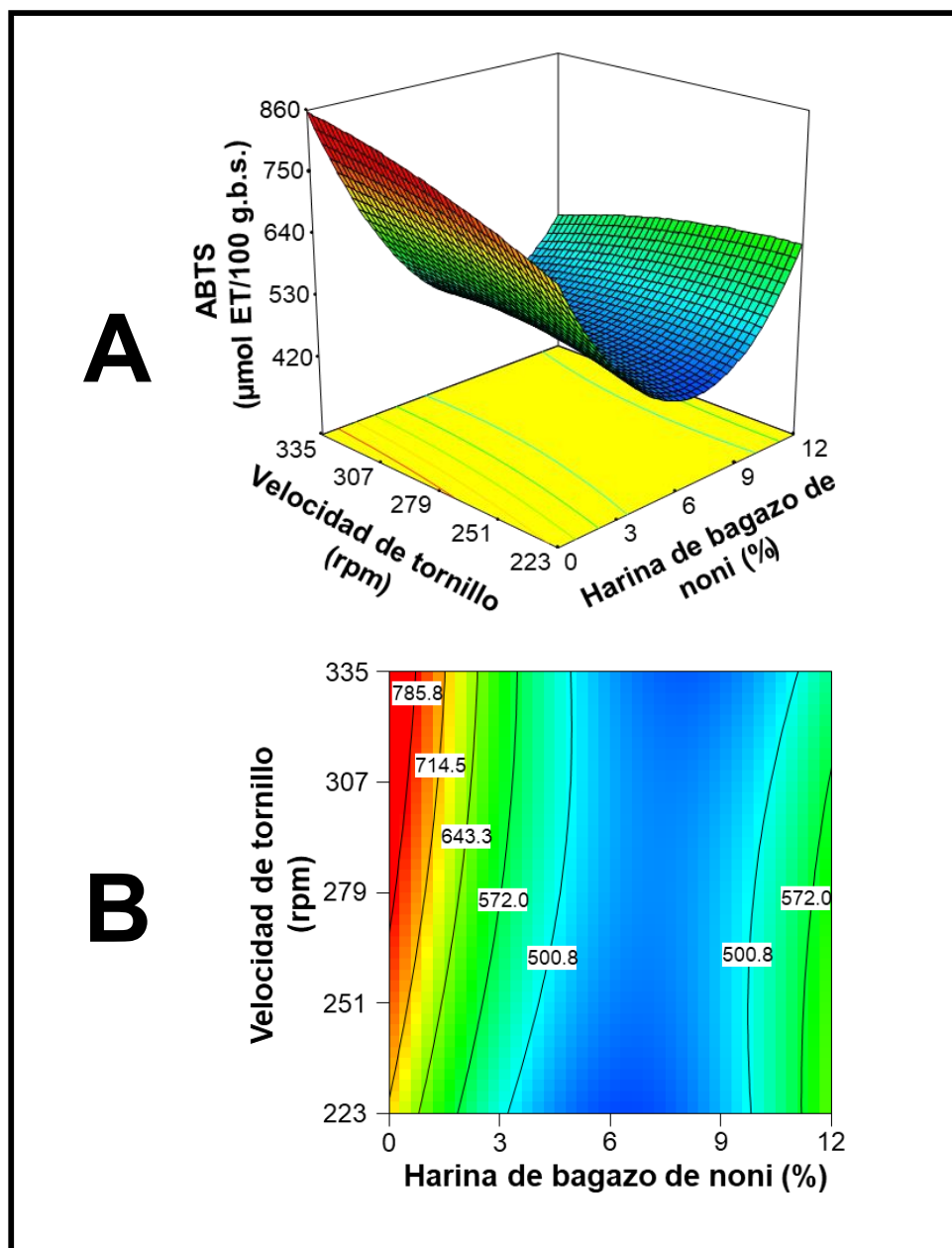


Figura 16. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante medido por el metodo ABTS (ABTS) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

observar una disminución inicial de la capacidad antioxidante ABTS al incrementar el contenido de HBN (5 %), seguido de un ligero incremento de los valores de ABTS al seguir incrementando el contenido de HBN (9 %); Mientras que al incrementar la VT (>251 rpm) a bajo contenido de HBN (<3 %) DPPH incrementaba, caso contrario al disminuir la VT (<279 rpm) a alto contenido de HBN (>11 %) DPPH incrementaba. Manteniéndose la zona con menor capacidad antioxidante en la zona central (3-10%) de contenido de HBN y en todo el rango de VT.

Los mayores valores de capacidad antioxidante (>1147 $\mu\text{mol ET}/100\text{g.b.s.}$) se encuentran a bajo contenido de HBN (<2%) y a alta VT (>251 rpm), teniendo una zona con valores mayores a 572 $\mu\text{mol ET}/100\text{g.b.s.}$ a alto contenido de HBN (11%) y a baja VT (307 rpm). Las dos zonas con incremento de capacidad antioxidante ABTS se pueden deber principalmente a que la determinación de ABTS se calcula a partir de la sumatoria de la capacidad antioxidante de extractos libres (ABTSLib) y de extractos ligados (ABTSLig). La zona de menor concentración de HBN y mayor VT se le atribuye principalmente a los CFLig que se encuentran en la harina de maíz amarillo y que son liberados por las fuerzas de cizalla del proceso de extrusión, esto difiere de lo reportado por Ainworth y col. (2007) que observaron que el incremento de la velocidad y la adición de bagazo de grano cervecero no presentaban efecto significativo en botanas directamente expandidas, mientras que la zona que se encuentra a alto contenido de HBN y baja VT se atribuye principalmente a los CFLib que contiene la HBN de acuerdo a lo reportado en la literatura por Ahumada-Aguilar (2014) donde se presentaron valores altos de compuestos fenólicos en la naranjita.

8. Capacidad antioxidante ABTS de extractos libres (ABTSLib)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p=0.004$), dando valores de $R^2_{ajustada}=0.75$ y $CV= 6.56 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p=0.18$) (**Cuadro 10**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p=0.0009$) y en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p=0.0194$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p=0.02251$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p= 0.5120$); de igual manera la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p= 0.5099$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$\text{ABTS Lib} = +133.34 + 16.53 * \text{HBN} + 4.25 * \text{VT} - 3.15 * \text{HBN} * \text{VT} + 10.03 * \text{HBN}^2$$

En la **Figura 17** se observa el efecto del contenido de HBN y la VT sobre el contenido capacidad antioxidante por el método ABTS en extractos Libres (ABTSLib) en botanas directamente expandidas a un contenido de humedad constante de 16 %. Se puede observar que la capacidad antioxidante ABTSLib a contenido de HBN alto ($>10 \%$) y en todo el rango de VT aumenta; de igual manera al disminuir ($<2 \%$) HBN y aumentar la VT ($<307 \text{ rpm}$) se presentó un ligero incremento del mismo, manteniéndose la zona con menor capacidad antioxidante a bajo ($<8 \%$) contenido de HBN y baja ($< 307 \text{ rpm}$) VT .

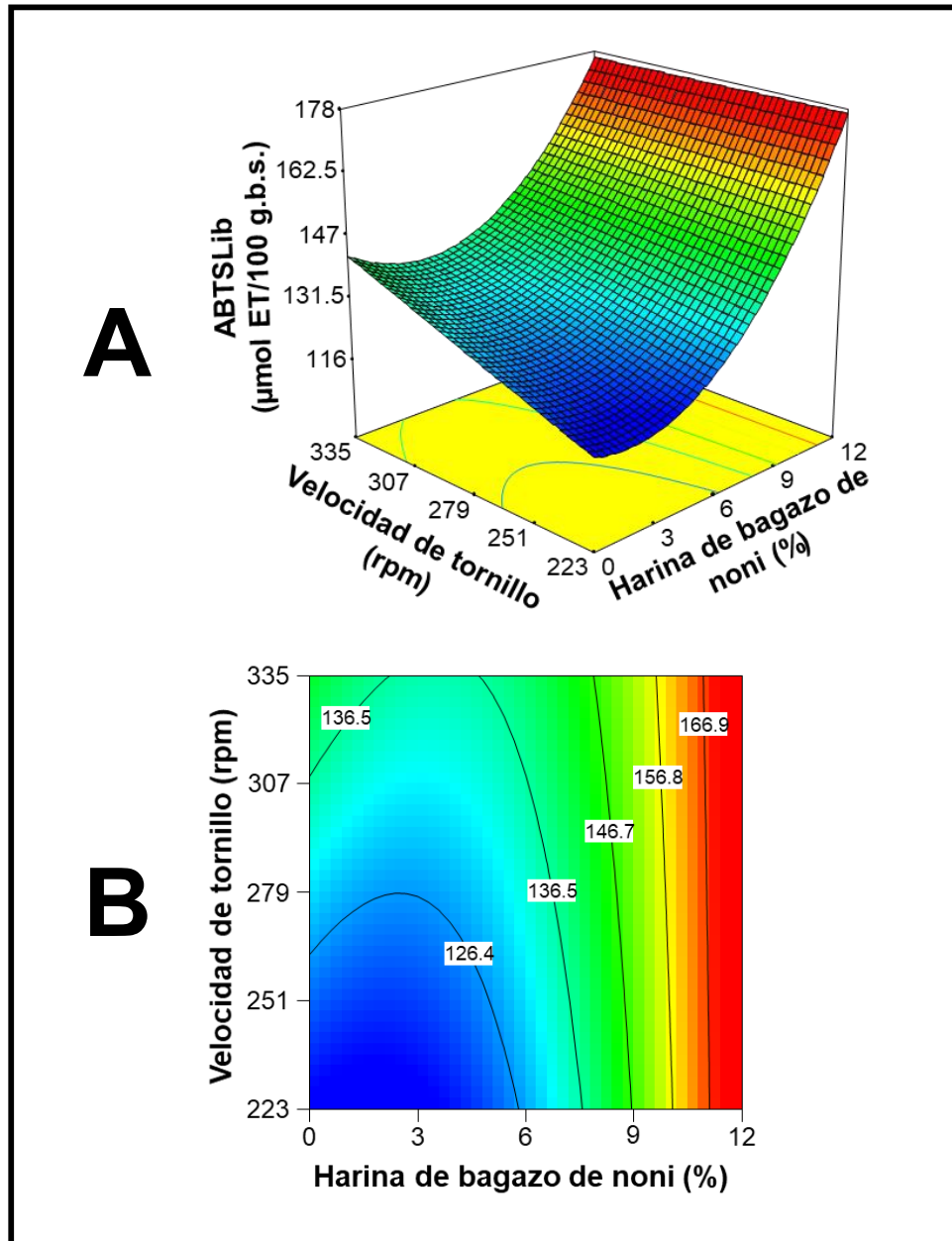


Figura 17. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante medido por el metodo ABTS en los extractos Libres (ABTSLib) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

Los mayores valores (>156 $\mu\text{mol ET}/100\text{g.b.s.}$) de ABTSLib se encuentran a alto (10 %) contenido de HBN en todo el rango de VT, esto debido a los compuestos fenólicos presentes en la HBN los cuales son CFLib principalmente.

9. Capacidad antioxidante ABTS de extractos ligados (ABTSLig)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p=0.002$), dando valores de $R^2_{\text{ajustada}}=0.81$ y $\text{CV}= 12.71 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p=0.10$) (**Cuadro 10**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que el contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) tuvo efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HBN, A, $p=0.001$) y en su término cuadrático (HBN^2 , A^2 , $p=0.0008$). En el caso de la Velocidad de Tornillo (VT), esta no presentó efecto significativo en su término lineal (VT, B, $p=0.0.6844$), ni en su término cuadrático (VT^2 , B^2 , $p= 0.5646$); de igual manera la interacción contenido de harina de bagazo de noni-velocidad de tornillo no tuvo efecto significativo (AB, $p= 0.3315$) sobre dicha respuesta. A continuación se presenta el modelo cuadrático completo obtenido:

$$\text{ABTS Lig} = +334.25 - 86.54 * \text{HBN} + 7.49 * \text{VT} - 26.08 * \text{HBN} * \text{VT} + 107.19 * \text{HBN}^2 - 11.46 * \text{VT}^2$$

En la **Figura 18** se observa el efecto del contenido de HBN y la VT sobre el contenido capacidad antioxidante por el método ABTS en extractos Ligados (ABTSLig) en botanas directamente expandidas a un contenido de humedad

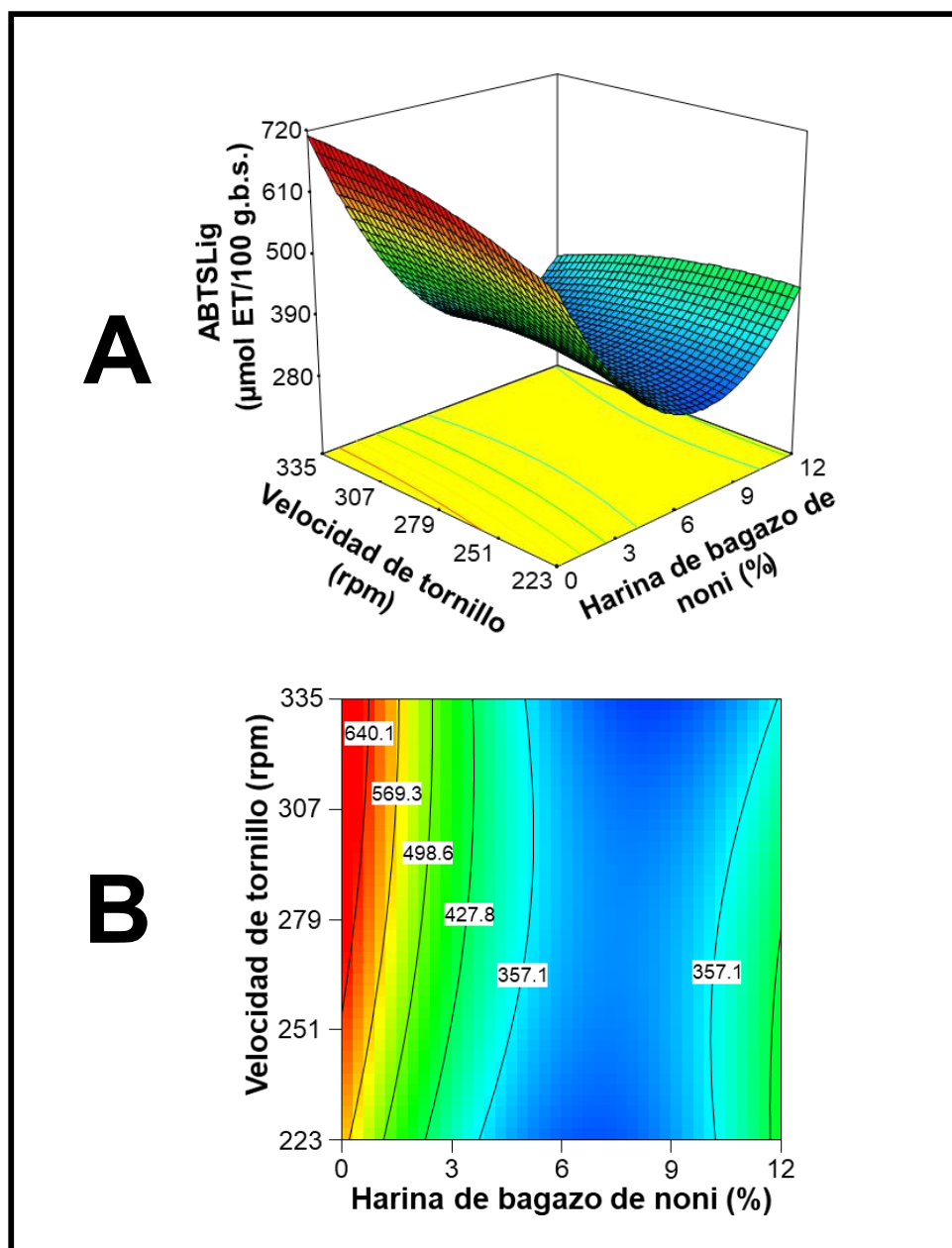


Figura 18. Efecto de la Velocidad de Tornillo (VT) y contenido de Harina de Bagazo de Noni (HBN) sobre la capacidad antioxidante medido por el método ABTS en los extractos Ligados (ABTSLig) de alimentos botana directamente expandidas. A, superficies y B, contornos.

constante de 16 %. Se puede observar que la capacidad antioxidante ABTSLig a contenido de HBN bajo (<2 %) y a VT alta (251 rpm) aumenta; de igual manera al aumentar HBN (>11 %) y VT menores (<251 rpm) se presento un ligero incremento en la capacidad antioxidante ABTSLig, manteniendose la zona con menor capacidad antioxidante en la zona central (3-11 %) de contenido de HBN y en todo el rango de VT.

Los mayores valores (>640 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g.b.s.}$) de ABTSLib se encuentran a bajo (<2 %) contenido de HBN y alta (251 rpm) VT, esto debido a la liberación generada por la fuerza de cizalla y el proceso térmico de los compuestos encontrados principalmente en la harina de maíz amarillo esto concuerda por lo reportado por Zielinski y col (2001) que menciona que un potencial antioxidante y la biodisponibilidad de los antioxidantes de cereales pueden depender de las especies y variedades de granos, así como de las fracciones de granos condiciones de procesamiento y una pequeña zona con valores mayores 427 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g.b.s.}$ se encuentra a alto (11.5 %) contenido de HBN y baja (251 rpm) VT.

E. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Se realizó una optimización numérica para determinar las mejores condiciones del proceso de extrusión con el objetivo de obtener botanas directamente expandidas adicionadas con harina de bagazo de noni con buenas propiedades fisicoquímicas y propiedades funcionales. Para este procedimiento se utilizó el método numérico y se establecieron diferentes criterios para cada una de las variables de respuesta (**Cuadro 11**); para compuestos fenólicos totales se desean valores altos, mientras que para fuerza de penetración y densidad aparente se desean valores mínimos. Se eligieron estas variables de respuesta para optimizar el proceso debido a que densidad aparente y fuerza de penetración están relacionadas con la calidad fisicoquímica de este tipo de alimentos, así como, con la aceptación de esta por el consumidor. Mientras que compuestos fenólicos totales se eligió ya que se espera que la harina de bagazo de noni aporte cierta cantidad de estos, debido que están relacionados con beneficios hacia la salud.

De acuerdo a la optimización numérica se encontraron dos condiciones de proceso óptimas; las condiciones de proceso óptimo 1 (O1) fueron de HBN de 0.52 % y VT de 331.51 rpm, con estas condiciones óptimas se obtuvieron los siguientes valores predichos por cada uno de los modelos matemáticos correspondientes: $DA=132.82 \text{ kg/m}^3$, $FP=2.30 \text{ N}$, $CFT=2551.25 \text{ mg EAG/100 g b.s.}$ con una deseabilidad de 0.952; mientras que las condiciones de proceso óptimo 2 (O2) fueron de HBN de 11.23 % y VT de 303.20 rpm, con estas condiciones óptimas se obtuvieron los siguientes valores predichos por cada uno de los modelos matemáticos correspondientes:

Cuadro 11. Criterios y límites para la optimización del proceso de extrusión.

NOMBRE	HBN^a	VT^a	DA^b	FP^b	CFT^b
Objetivo	Rango	Rango	Minimo	Minimo	Máximo
Límite inferior	0	223	124.9	2.21	1748.79
Límite superior	12	335	190	5.1	2551.25
Importancia	3	3	3	3	3
Peso	1	1	1	1	1

^aFactores: Contenido de harina de bagazo de noni (HBN), Velocidad de tornillo (VT);^bVariables de Respuesta: Densidad aparente (DA), Fuerza de penetracion (FP) y Compuestos fenolicos totales (CFT).

DA=156.51 kg/m³, FP=2.87 N, CFT=2419.4 mg EAG/100 g b.s. con una deseabilidad de 0.695.

La **Figura 19**, muestra las gráficas de barras de deseabilidad individual de cada una de las variables de respuesta y la deseabilidad global o combinada de O1. La deseabilidad máxima es de 1 y la deseabilidad mínima es de 0. En la figura se observa que la deseabilidad individual las variables de estudio contenido de harina de bagazo de noni y velocidad de tornillo fue de 1.0, debido a que estos a que a estos criterios se asignaron como objetivo rango, lo cual indica que siempre darán una deseabilidad de 1.

La respuesta de DA mostró una deseabilidad de 0.89, indicando que alcanzó aproximadamente el 89% de la diferencia del límite superior menos el límite inferior de IE. La FP mostró una deseabilidad de 0.96, que significa que alcanzó aproximadamente el 96 % de la diferencia límite superior menos el límite inferior de CT. En el caso de CFT, presentó una deseabilidad de 0.99, debido a que en criterios se le asignó criterio máximo y al obtener esta deseabilidad indica que para esta respuesta los valores experimentales son similares o se encuentran por encima de los rangos establecidos. La deseabilidad global (DG) o combinada está presentada por la siguiente fórmula: $DG = (d_1 d_2 \dots d_m)^{1/m}$. Donde: d_1 representa el valor de deseabilidad de las respuestas independientes y m es el número de respuestas. $DG = (0.89 \cdot 0.96 \cdot 0.99)^{1/3}$, $DG = 0.95$.

La **Figura 20**, muestra las gráficas de barras de deseabilidad individual de cada una de las variables de respuesta y la deseabilidad global o combinada de O2.

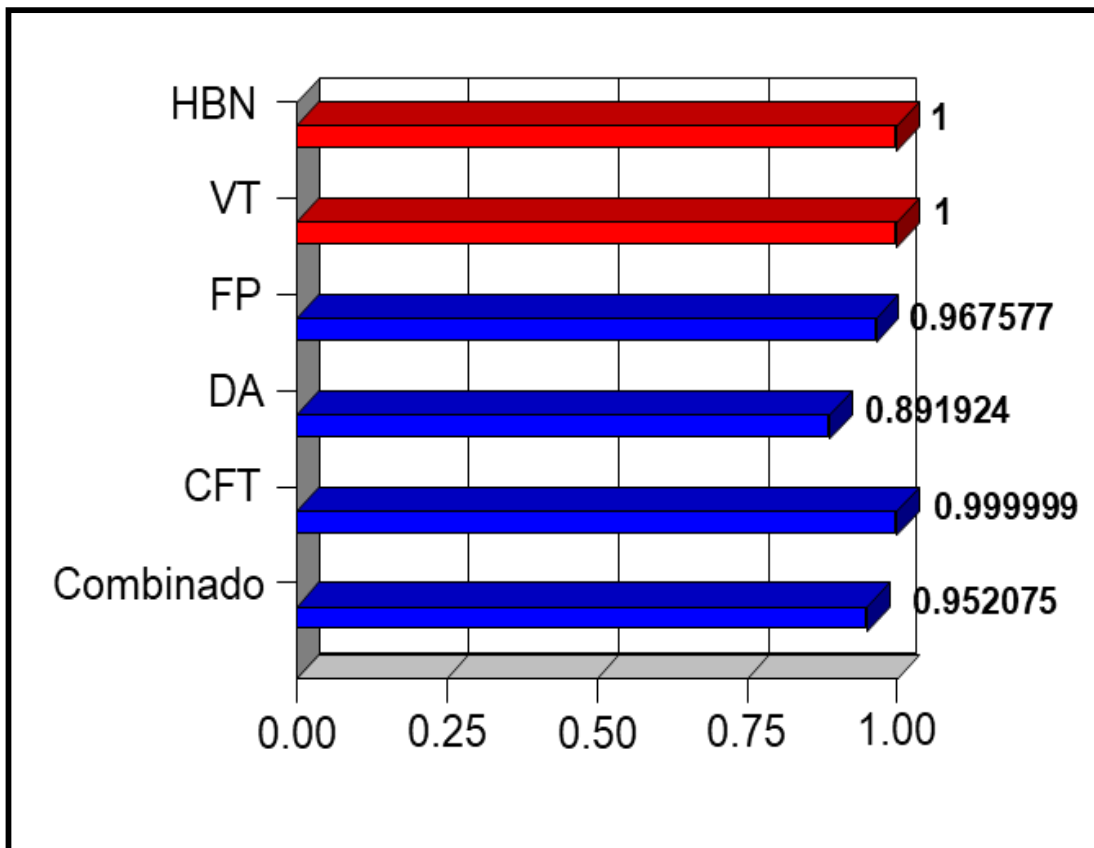


Figura 19. Deseabilidad individual y global (combinada) de las variables de proceso y respuestas analizadas durante las condiciones óptimas 1 (O1).

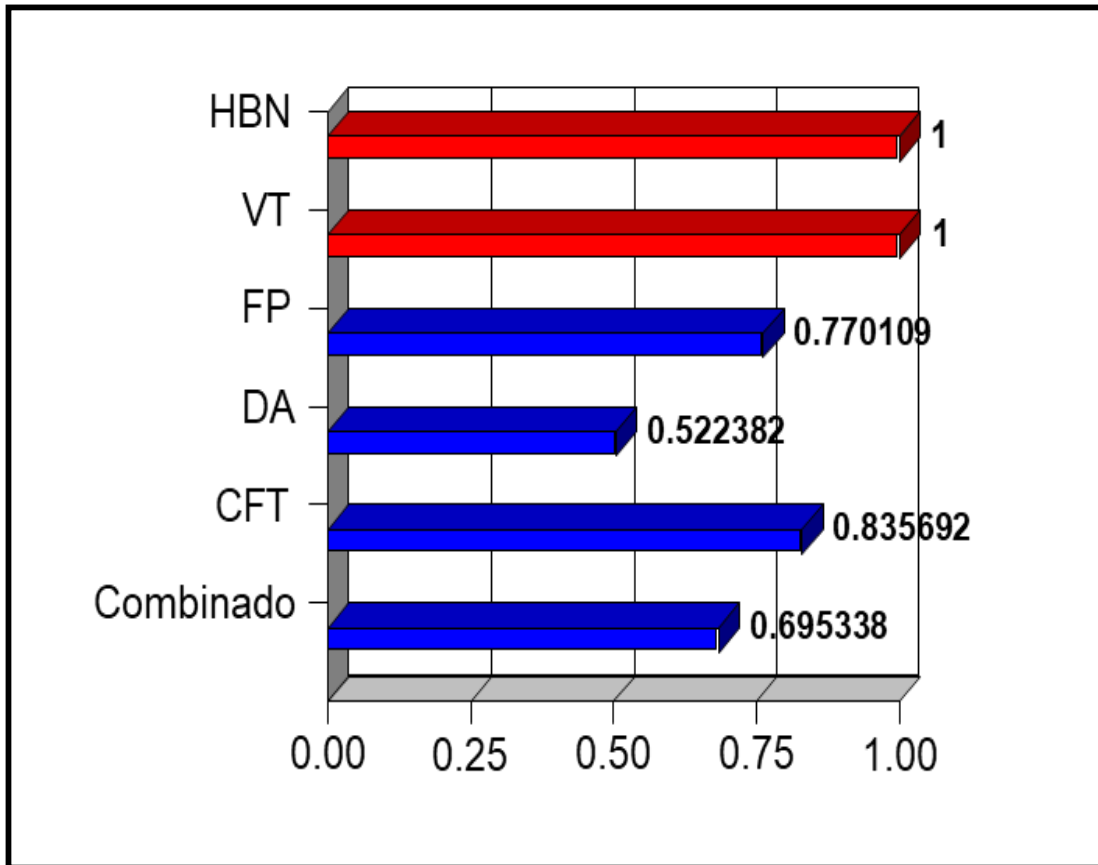


Figura 20. Deseabilidad individual y global (combinada) de las variables de proceso y respuestas analizadas durante las condiciones óptimas 2 (O2).

En esta la respuesta de DA mostró una deseabilidad de 0.52, indicando que alcanzó aproximadamente el 52 % de la diferencia del límite superior menos el límite inferior de IE. La FP mostró una deseabilidad de 0.77, que significa que alcanzó aproximadamente el 77 % de la diferencia límite superior menos el límite inferior de CT. En el caso de CFT, presentó una deseabilidad de 0.84 que significa que alcanzó aproximadamente el 84 % de la diferencia límite superior menos el límite inferior de CT. La deseabilidad global (DG) o combinada es presentada por la siguiente fórmula: $DG = (d_1 d_2 \dots d_m)^{1/m}$. Dónde: d_1 representa el valor de deseabilidad de las respuestas independientes y m es el número de respuestas. $DG = (0.52 * 0.77 * 0.83)^{1/3}$, $DG = 0.69$. Para llevar a cabo la validación de los modelos empleados, se elaboraron botanas directamente expandidas adicionadas con harina de bagazo de noni utilizando las condiciones óptimas de proceso óptimo 1 y óptimo 2 y se caracterizó el producto extrudido.

De la caracterización fisicoquímica y funcional de la botana O1 y O2 (**Cuadro 12**) se obtuvieron los siguientes valores promedio y sus desviaciones estándar: DA= $136.77 \pm 7.96 \text{ kg/m}^3$, FP= $2.35 \pm 0.91 \text{ N}$ y CFT= $2526.68 \pm 0.95 \text{ mg EAG/100 g.b.s}$ para O1 y DA= $158.47 \pm 7.78 \text{ kg/m}^3$, FP= $2.81 \pm 1.09 \text{ N}$ y CFT= $2418.03 \pm 0.95 \text{ mg EAG/100 g b.s.}$ para O2. Al comparar los valores experimentales contra los valores predichos por los modelos matemáticos, se observó que no hubo diferencia significativa entre ellos ($p < 0.05$). Por tanto, el modelo empleado demostró tener un buen ajuste experimentalmente, para encontrar las mejores condiciones del proceso de extrusión para la elaboración de botanas con buenas características fisicoquímicas y funcionales.

Cuadro 12. Valores predichos y experimentales de propiedades fisicoquímicas y funcionales de O1 y O2.

		DA	FP	CFT
		(kg/m ³)	(N)	(μg/mL)
O1	VALORES	132.82	2.3	2551.25
	PREDICHOS			
	BOTANA	136.77 ± 7.90	2.35 ± 0.91	2526.38 ± 0.95
	OPTIMIZADA			
	VALORES	156.51	2.87	2419.4
O2	PREDICHOS			
	BOTANA	158.47 ± 7.98	2.81 ± 1.08	2418.03 ± 0.97
	OPTIMIZADA			

En el **Cuadro 13** se reportan los valores de diferentes características fisicoquímicas, y funcionales de botanas directamente expandidas obtenidas de las condiciones optimas de procesamiento (O1 y O2).

Se obtuvieron para condiciones de procesamiento O1 y O2 valores aceptables en las respuestas fisicoquímicas, es decir, los valores obtenidos fueron similares a los comerciales por lo cual se puede decir que podrían ser atractivas para su consumo. En el caso de las respuestas funcionales se encontró que en compuestos fenólicos totales (CFT) se obtuvieron valores de 2526.39 ± 0.95 mg EAG/ 100 g.b.s. para O1 y de 2418.03 ± 0.97 mg EAG/ 100 g b.s para O2, donde CFT representa la sumatoria de los CFLib y los CFLig. Para la capacidad antioxidante por DPPH (DPPH) se obtuvieron valores de 1517.51 ± 0.97 μ mol ET/100 g b.s. para O1 y de 1580.43 ± 0.32 μ mol ET/100 g b.s. para O2, donde DPPH representa la sumatoria de DPPHLib y DPPHLig, mientras que para la capacidad antioxidante para ABTS (ABTS) se obtuvieron valores de $712.83 \pm 0.0.27$ μ mol ET/100 g b.s. y de $635.69 \pm 0.0.36$ μ mol ET/100 g b.s. para O2, donde ABTS representa la sumatoria de ABTSLib y ABTSLig. . Los valores elevados de CFT, DPPH y ABTS de O1 podría deberse a la presencia de CFLig principalmente en el maíz amarillo y a su liberación durante el proceso de extrusión, mientras que los valores elevados de CFT, DPPH y ABTS de O2 podría deberse a la presencia de CFLib principalmente en la HBN. Mientras que en el caso de CT se obtuvieron valores de 404.39 ± 0.41 para O1 y de 204.09 ± 0.72 para O2 y valores para fibra dietaria total para O1 de 4.04 % para O2 y de 7.06 % para O2.

Cuadro 13. Valores experimentales de propiedades fisicoquímicas, y funcionales de botanas directamente expandidas obtenidas de las condiciones de procesamiento O1 y O2.

PRUEBA	O1	O2
IE	3.68±0.16	2.83±0.11
DA (kg/m ³)	136.77±0.7.76	158..47±7.88
FP (N)	2.35±0..91	2.81±1.09
IAA (g a.a./g s.s.)	13.50±0.86	24.83±0.62
SSA (%)	3.97±0.21	6.40±0.15
L*	93.95±1.44	70.01±1.28
a*	0.15±0.31	10.18±0.39
b*	42.34±0.60	31.92±0.86
ΔE	16.56±0.42	25.64±0.35
CFT (mg EAG/100 g)	2526.38±0.95	2418.03±0.97
CFLib (mg EAG/100 g)	804.65±0.76	1090.16±0.89
CFLig (mg EAG/100 g)	1722.03±0.97	1327.29±0.23
DPPH (μmol ET/ 100 g)	1517.51±0.46	1580.43±0.32
DPPHLib (μmol ET/ 100 g)	480.83±0.81	766.29±0.77
DPPHLig (μmol ET/ 100 g)	1036.68±0.45	814.14±0.77
ABTS (μmol ET/ 100 g)	712.83±0.28	635.69±0.36
ABTSLib (μmol ET/ 100 g)	117.14±0.28	203..11±0.31
ABTSLig (μmol ET/ 100 g)	595.69±1.08	432.58±1.04
CT (μg β-caroteno/mL)	404.39±0.41	204.09±0.72
FDT (%)	4.04±0.22	7.06±0.89
FDI (%)	3.85±0.86	5.59±0.72
FDS (%)	1.02±0.73	2.32±0.39

IE= Índice de expansión; DA= Densidad aparente; FP= Fuerza de penetración; L= Luminosidad; a*= Verde-Rojo; b*= Azul-Amarillo; ΔE= Diferencia de color entre la botana expandido y las harinas sin procesar; CFT= Compuestos fenólicos totales; CFLib= Compuestos fenólicos de extractos libre; CFLig= Compuestos fenólicos de extractos ligados; DPPH= Capacidad antioxidante por método DPPH, DPPHLib= Capacidad antioxidante por método DPPH de extractos libres; DPPHLig= Capacidad antioxidante por método DPPH de extractos ligados; ABTS= Capacidad antioxidante por método ABTS; ABTSLib= Capacidad antioxidante por método ABTS de extractos libres; ABTSLig= Capacidad antioxidante por método ABTS de extractos ligados; CT= carotenoides totales, FDT= fibra dietaria total, FDI= fibra dietaria insoluble y FDS= fibra dietaria soluble.

F. ANÁLISIS SENSORIAL

Se realizó una análisis sensorial a las botanas obtenidas del proceso O1 y O2 y de una botana con la muestra base (70 % maíz amaillo y 30 % almidón de maíz) como control, teniendo como muestra poblacional 120 consumidores de los cuales el 50 % fueron hombres y el 50 % mujeres, con el objetivo de obtener la aceptabilidad general de los consumidores para dichas botanas.

En la **Figura 21A** se puede apreciar la frecuencia de edad de los consumidores donde alrededor del 73 % de los hombres y el 56 % de las mujeres estaban en un intervalo de edad de 19 a 29 años y del 13.3 y 26 % presentaron una edad entre 30-39 años respectivamente. En estos dos grupos de edad se concentraron más del 80 % de los evaluadores. Dentro de estos grupos el 50 % de los hombres consume botanas cada 3 días y el 41 % de las mujeres diario (**Figura 21B**). La mayor parte de los evaluadores consumen alimentos botana en casa (71 % hombres y 75 % mujeres) seguido por el consumo los fines de semana (63 % hombres y 66 % mujeres) (**Figura 22A**). Dentro de los participantes la ocupación predominante fueron estudiantes con el 60 % de hombres y 65 % de mujeres, seguido de empleados con 25 % de hombres y el 15 % de mujeres (**Figura 22B**).

Mientras que en la **Tabla 14** se puede apreciar la frecuencia de la aceptabilidad general de la botana y de los atributos de la botana (color, sabor y textura). Teniendo una aceptabilidad general del 60 % en las botanas extrudidas O1, una aceptabilidad del 54 % en las botanas extrudidas O2 y una aceptabilidad del 57 % en las botanas blanco, de acuerdo con los resultados anteriormente mencionados se puede considerar que ambas botanas

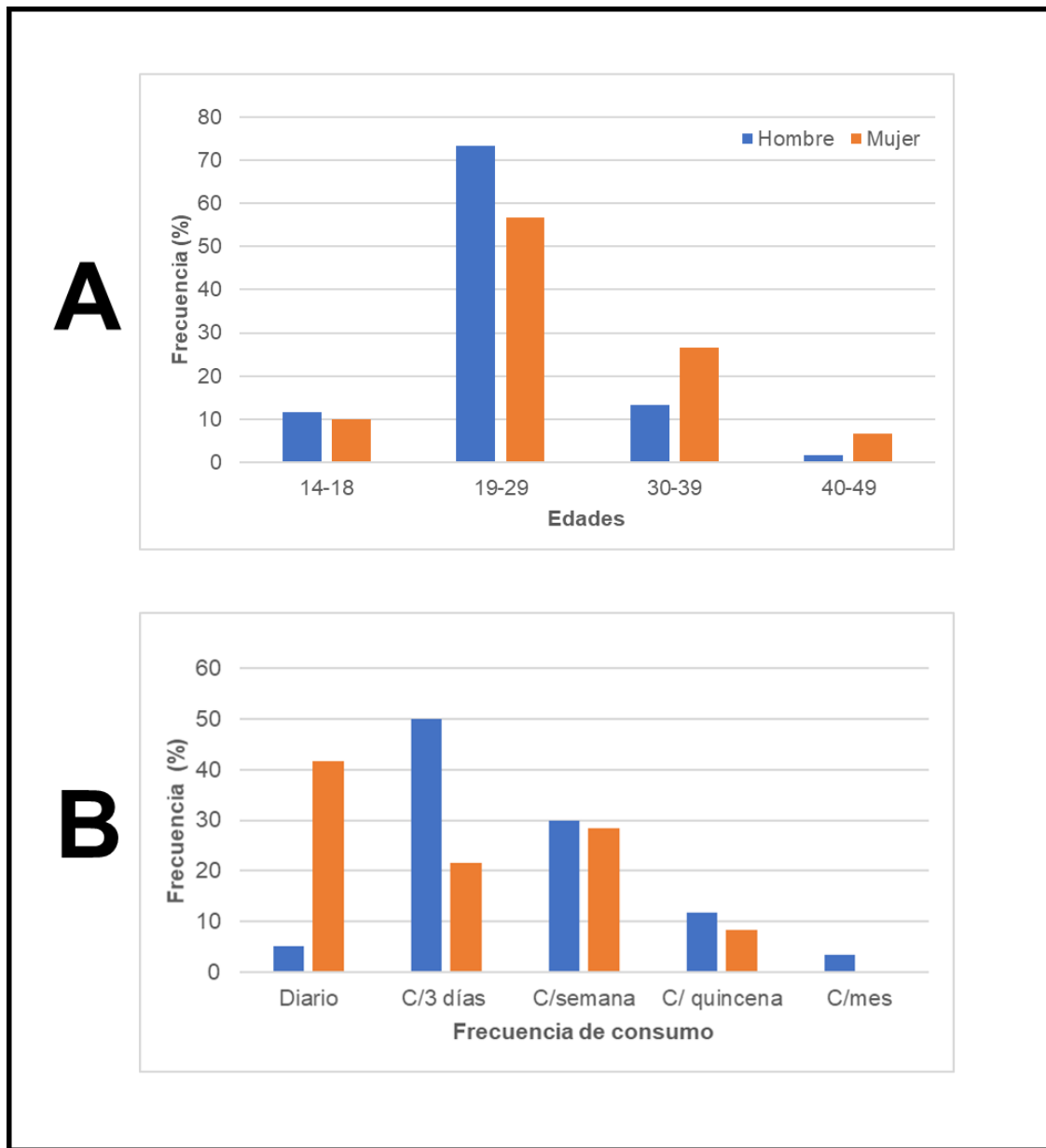


Figura 21. Análisis de frecuencia de la edad (A) y frecuencia de consumo (B) de los evaluadores, en el análisis sensorial de productos directamente extrudidos adicionados con HBN.

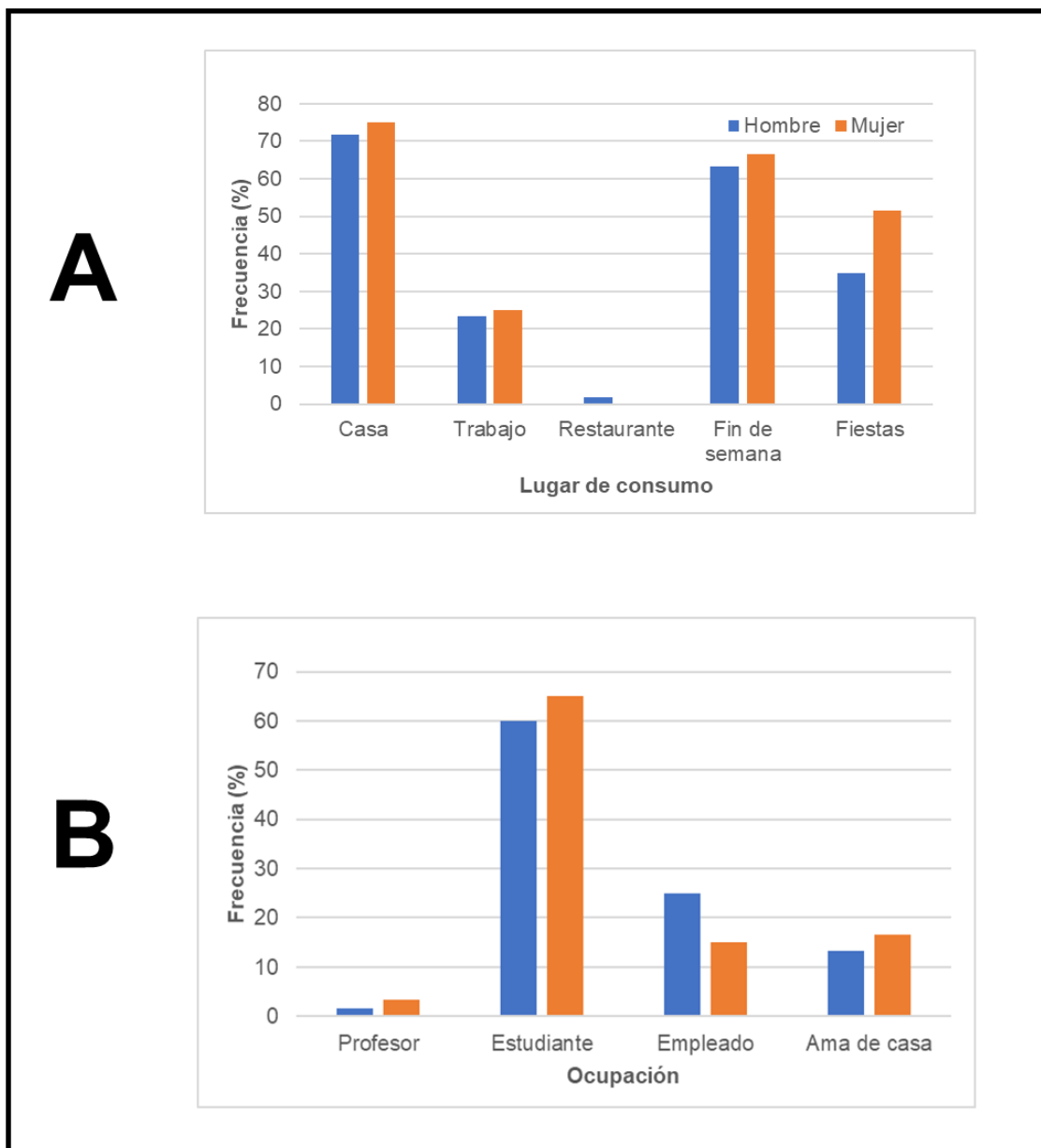


Figura 22. Análisis de frecuencia del lugar de consumo (A) y frecuencia de la ocupación de los consumidores (B), en el análisis sensorial de productos directamente extrudidos adicionados con HBN.

Tabla 14. Frecuencia de aceptabilidad general y de los atributos de la botana O1, O2 y blanco.

Respuesta (%)		1	2	3	4	5	6	7	8	9
O1	Aceptabilidad	0	5	5	3	27	28	17	12	3
	Color	0	2	2	8	17	24	22	23	2
	Sabor	2	0	7	13	24	26	15	8	5
	Textura	0	1	7	10	15	27	11	22	7
O2	Aceptabilidad	2	8	7	7	22	22	17	10	5
	Color	5	7	12	18	10	18	7	16	7
	Sabor	7	15	5	15	9	6	19	19	5
	Textura	0	2	8	7	15	28	12	18	10
Blanco	Aceptabilidad	1	9	3	14	16	32	18	4	3
	Color	0	7	2	9	17	26	11	28	0
	Sabor	0	9	12	15	16	32	11	5	0
	Textura	1	10	12	18	13	17	17	9	3

1= Me disgusta extremadamente; **2=** Me disgusta mucho; **3=** Me disgusta moderadamente, **4=** Me disgusta; **5=**Ni me gusta ni me disgusta; **6=**Me gusta; **7=** Me gusta moderadamente; **8=** Me gusta mucho; **9=** Me gusta extremadamente.

optimizadas (O1 y O2) podrían ser aceptadas por el consumidor, este resultado podría haber sido mayor si se presentara al consumidor con algún saborizante.. De igual manera se evaluaron los atributos (color, sabor y textura) de las botanas obtenidas del proceso optimizado y las botanas blanco teniendo como resultado en el caso de las botanas O1 una aceptabilidad del 71.6 y 66.6 % en sabor y en textura respectivamente y para la botana O2 una aceptabilidad de color de 47.5 %, de sabor del 49.1 % y de la textura del 67.5 %, mientras que para la botana blanco una aceptabilidad del 65.8 % del color, 47.5 % del sabor y 45.8 % para la textura. Teniendo la mayor aceptabilidad de color y sabor la botana O1 y la mayor aceptabilidad de textura por la botana O2. Por último, en la **Tabla 15** se puede apreciar la posibilidad de compra de cada una de las botanas analizadas. Teniendo una probabilidad de compra del 22.4 % para la botana O1, un 30.8 % la botana O2 y 29.1 % en las botanas blanco. Teniendo una mayor probabilidad de compra la botana O2. Se observó una tendencia grande hacia la opción “Tal vez” (34.1 % botana O1, 35 % botana O2 y 43.3 % blanco) indicando una indecisión hacia la compra o no del producto, esto podría atribuirse a que fue una prueba sensorial sin información previa, por lo cual no conocían las materias primas con las que se elaboró el mismo. A manera general se puede observar que las botanas O1 y O2 fueron aceptadas favorablemente pudiendo incrementar su nivel de aceptabilidad mediante la incorporación de saborizantes o condimentos a las mismas o mediante la presentación de la información a los consumidores de la materia prima ya que diversos autores han demostrado el efecto de la información sobre los atributos sensoriales y el grado de aceptabilidad en alimentos (Escamilla-Santana 1994).

Tabla 15. Frecuencia de la posibilidad de compra de la botana O1, O2 y blanco

Botana (%)	si	Muy probablemente si	Tal vez	Muy probablemente no	No
O1	8	15	34	19	24
O2	16	22	36	21	5
Blanco	9	20	43	17	11

IX. CONCLUSIONES

1. Las materias primas utilizadas presentaron características químicas y fisicoquímicas apropiadas para el proceso de extrusión.
2. El presente estudio muestra que la harina de bagazo de noni posee un excelente contenido de compuestos fenólicos totales los cual generan actividad antioxidante; siendo mayor el contenido de compuestos fenólicos libres (CFLib) que de compuestos fenólicos ligados (CFLig), pudiendo ser utilizada para la elaboración de alimentos botana directamente expandidos, mejorando las propiedades funcionales de las mismas.
3. Los factores independientes utilizados: contenido de harina de bagazo de noni (HBN) y velocidad de tornillo (VT) presentaron efecto significativo sobre las propiedades físicas (IE, DA y FP) de las botanas obtenidas.
4. El factor independiente contenido de harina de bagazo de noni (HBN) fue el que presentó mayor efecto sobre las características de color y características funcionales (compuestos fenólicos y actividad antioxidante).
5. Mediante el método numérico se obtuvieron dos condiciones óptimas de procesamiento una a 0.52% de contenido de HBN y una VT de 331.5 rpm siendo el proceso optimizado 1 y otra a 11.3% de contenido de HBN y una VT de 303.2 rpm siendo el proceso optimizado 2; obteniendo valores experimentales similares a los valores predichos de la optimización en el proceso de validación

6. Se obtuvieron valores de carotenoides totales y fibra dietaria elevados en las botanas obtenidas del proceso optimizado 1 y proceso optimizado 2. Siendo mayores los CT en la botana optimizada 2.
7. Se obtuvieron alimentos botana directamente expandidos, con características físicas y fisicoquímicas similares a productos comerciales presentando un aporte importante de compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante.
8. El estudio sensorial realizado mostró que las botanas obtenidas a partir del proceso optimizado 1 y el proceso optimizado 2 fueron aceptados por más de la mitad de los consumidores; por lo cual la HBN puede ser utilizado en la elaboración de botanas directamente expandidas, incorporando compuestos bioactivos; dando lugar a productos más saludables y con buen nivel de aceptación de los consumidores.

X. BIBLIOGRAFÍA

- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2005. Banco de Información Económica. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/inegi/default.asp>. Acceso 01 de agosto de 2018.
- AACC. 2010. Approved Methods of Analysis of the American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota.
- Adom, K. K. y Liu, R. H. 2002. Antioxidant Activity of Grains. *Journal Agric. Food Chemistry* 50:6182–6187. *Agricultural and Food Chemistry*.51:4764–4768.
- Agama-Acevedo E, Ottenhof, MA, Farhat IM, Paredes-López O, Ortiz-Cereceres J y Bello-Pérez LA. 2004. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia* 29(11):643-649.
- Ahumada-Aguilar, J.A.. Zazueta-Morales J.J., Delgado-Nieblas C.I. 2014. Impacto del proceso de secado convectivo sobre características fisicoquímicas y nutraceuticas de subproductos del fruto de naranjita (*Citrus mitis*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas.
- 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.
- Almeida-Dominguez NG, Valencia ME y Higuera-Ciapara I. 1990. Formulation of Corn Based Snacks with High Nutritive Value: Biological and Sensory Evaluation. *J. Food Sci.* 55(1):228-321.

AOAC. 1999. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 18th Ed. Arlington, VA.

AOAC. 2012. Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL. Association of Official Analytical Chemists. 19th Ed. Gauthersburg, Maryland, USA

Arias-García RM, Chávez-Castellanos AE, Herrera-Nájera R, Morales-de-Leon J, Pedroza-Islas R, Salazar-Zazueta A, Durán DB. 2007. Condiciones de operación de extrusores de tornillo simple para mezclas de harina de trigo. 1: Pruebas de laboratorio. Tecnología, Ciencia, Educación, 22:002.

Atkinson, N. 1956. Antibacterial substances from flowering plants. 3. Antibacterial activity of dried Australian plants by a rapid direct plate test. Australian Journal of Experimental Biology 34: 17-26.

Barrett AH y Peleg M. 1992. Extrudate cell structure-Texture relationships. Journal Food Science. 57(5):1253-1257.

Benítez-Aguilar A. 1998. La Botana, negocio serio. Tecnología de alimentos industria y mercado 33(5):26-34.

Camacho-Hernández I.L., Zazueta-Morales J.J., Gallegos-Infante J.A., Aguilar-Palazuelos E., Rocha-Guzmán N.E., Navarro-Cortez R.O., Jacobo-Valenzuela N. y Gómez-Aldapa C.A. 2014. Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks. CyTA-Journal of Food. DOI: 10.1080/19476337.2013.861517

- Chang-Blanco, Y., Vaillant, F., Pérez, A.M., Reynes, M., Brillouet, J.M., Brat, P. 2006. The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 645–654.
- Couti, Z.G; Acha, C.O; Souza, A. y Collante, D.I. 2010. Estudio químico del aceite esencial del fruto de *Morinda citrifolia* (noni).
- Dehghan-Shoar, Z.; Hardacre, A. K. y Brennan, C. S. 2010. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chemistry* 123:1117–1122.
- Delgado-Nieblas, C.I.; Aguilar-Palazuelos, E.; Gallegos-Infante, J.A.; Rocha-Guzmán, N.E.; Zazueta-Morales, J.J.; y Caro-Corrales, J.J. 2012. Characterization and Optimization of Extrusion Cooking for the Manufacture of Third-Generation Snacks with Winter Squash (*Cucurbita moschata* D.) Flour.
- Della-Modesta RG. 1999. Avaliação sensorial de produtos extrusados. Apoio del curso princípios teóricos e práticos na elaboração de “snacks” por extrusão termoplástica.
- Desrumaux, A.; Bouvier, J. M. y Burri, J. 1998. Corn Grits Particle Size and Distribution Effects on the Characteristics of Expanded Extrudates. *Journal of Food Science*. 63(5):857-863.
- Ding, Q.; Ainsworth, Paul.; Tucker, G. y Marson, H. 2006. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*. 66:283–289.

- Dziekak JD. 1989. Single and twin-screw extruder in food processing. *Food Technology* 43(4):164-174.
- Elkins, R. (1998). Hawaiian Noni (*Morinda citrifolia*) prize herb of Hawaii and the South Pacific. Utah: Woodland Publishing.
- Escamilla-Santana C. 1994. A method to develop sensory quality standards to maximize consumer acceptance. Doctoral thesis. University of Reading, Faculty of Agriculture and Food, Department of Food Science and Technology. Reading, UK.
- Escamilla-Santana C. 2001. Comunicación personal. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Posgrado en Alimentos. Querétaro, Qro., México.
- Escobedo, AA. 2012. Sondeo rápido de mercado: jugo de noni. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE Turrialba, Costa Rica
- Euromonitor International. 2016. Sector Capsule: Breakfast cereals in México. Disponible en www.euromonitor.com Acceso 12 de enero de 2018.
- FAO. 1993. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. El maíz en la nutrición humana. 1993. Disponible en FAO [<http://www.fao.org>]. Publicado el año 1993. Acceso 12 de enero de 2018.
- Farine, J.P., Legal, L., Moreteau, B., Le Quere, J.L., 1996. Volatile components of ripe fruits of *Morinda citrifolia* and their effects on *Drosophila*. *Phytochemistry* 41, 433–438.
- Fellows PG. 1990. Extrusion. *Food Processing and Technology, Principles and Practice*. Great Britain (ed): Ed. Harwood DE, 267-277.

- Figuerola, GJJ; Guzmán, MSH; Herrera, HMG; Rumayor, RAF; Alvarado, NMD. Y Sánchez, TBI. 2010. Botana a base de frijol con alto valor nutricional y nutraceutico. Instituto Nacional de investigaciones forestales, Agrícola y pecuarias. Folleto técnico No. 28.
- Flores, W. 2010 Situacion del mercado mundial y nacional de noni. Disponible en: www.researchgate.net. Acceso 26 de febrero 2019
- Flores-Farías, R., Martínez-Bustos, F., Salinas-Moreno, Y., & Ríos, E. (2002). Caracterización de harinas comerciales de maíz nixtamalizado. *Agrociencia*, 36, 557-567.
- Gómez MH y Aguilera JM, 1984. A physicochemical model for extrusion corn starch. *Journal Food Science*. 49:40-43, 63.
- Harper JM. 1998. Food Extruders and their Applications. En: "Extrusión-Cooking". Mercier C, Linjo P y Harper J (ed). American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EUA, 1-
- Hirazumi, A., Furusawa, E. 1999. An immunomodulatory polysaccharide- rich substance from the fruit juice of *Morinda citrifolia* (noni) with antitumour activity. *Phytotherapy Research* 13: 380-387.
- Hirazumi, A., Furusawa, E., Chou, S.C., Hokama, Y. 1994. Anticancer activity of *Morinda citrifolia* (noni) on intraperitoneally implanted Lewis lung carcinoma in syngeneic mice. *Proceeding of the West Pharmacology Society* 37: 145-6.

- Hirazumi, A., Furusawa, E., Chou, S.C., Hokama, Y. 1996. Immunomodulation contributes to the anticancer activity of *Morinda citrifolia* (noni) fruit juice. Proceeding of the West Pharmacology Society 39:7-9.
- Hodgen DA. 2004. Cookie and cracker manufacturing. United States Department of Commerce/International Trade Administration.
- Iwe, M. O., van Zuilichem, D. J., & Ngoddy, P. O. (2001). Extrusion cooking of blends of soy flour and sweet potato flour on specific mechanical energy (SME), extrudate temperature and torque. Journal of Food Processing and Preservation, 25, 251–266.
- Johnson MA y Williams FAH. 1992. Nixtamalization of maize (*Zea mays* L) using a single screw cook-extrusion process on lime treated grits. Journal of the Science of Food and Agricultural, 60:509-514.
- Krinsky NI, Landrum JT, Bone RA. 2003. Biologic mechanisms of the protective role of Lutein and zeaxanthin in the eye. Annual Review of Nutrition 23:171–201.
- Latin American markets. 2008. México industria de botanas. México, DF: Milenio. Disponible en [<http://latinamericanmarkets.com/mexico---industria-de-botanas>]. Publicado el año 2008. Acceso 12 de enero de 2018.
- Maga JA y Kim CH. 1990. Stability of Natural Colourants (Annatto, Beet, Paprika, Turmeric) During Extrusion Cooking. Lebensm. Wiss. U Technol. 23:427-432.
- Maga JA. 2000. Cereal-based snack foods. En: Kulp K and Ponte JG, editores. Handbook of cereal science and technology. 2nd Ed. New York: Marcel Dekker, 667-83.

Martínez-Bustos F. 1999. A Tecnologia de extrusão como instrumento no desenvolvimento de novos produtos. Apoio del curso princípios teóricos e práticos na elaboração de “snacks” por extrusão termoplástica.

Merrett, N. 2008. EFSA approves noni novel tea formulation (en línea).. Disponible en: <http://www.beveragedaily.com/Industry-Markets/EFSA-approves-noni-novel-teaformulation> Acceso 23 de junio de 2017.

Miller HE, Rigelhof F, Marquart L, Prakash A, Kanter M. 2000. Whole-grain products and antioxidants. Cereal Foods World; 45:59-63.

O'Shea N, Arendt EK, Gallagher E. 2012. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. Innovative Food Science and Emerging Technologies. p.p .16:1-10.

Ortiz-Robles, J.I. 1998. Caracterización química y física de la corteza de semilla de mango variedad Kent. Tesis de maestría. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México.

Pansawat, N., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., Saalia, F. K., Eitenmiller, R. R., et al. (2008). Effects of extrusion conditions on secondary extrusión variables and physical properties of fish, rice-based snacks. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 41(4), 632–641.

Pérez-Navarrete C, Cruz-Estrada RH, Chel-Guerrero L, Betancur-Ancona D. 2006. Caracterización física de extrudidos preparados con mezclas de harina de maíz

QPM (*Zea mays* L.) y frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.). Ingeniería química 5(2):145-155.

Poskitt, M. E., & Morgan, J. B. (2005). Infancy, childhood and adolescence. In C. Geissler, & H. Powers (Eds.), Human nutrition). London Elsevier. 275-298

Potter, R; Stajceske, V. y Plunkett. 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for children's diets. Food science and technology. 51, 537-544.

Potterat, O., Hamburger, M. 2007. *Morinda citrifolia* (Noni) fruit - phytochemistry, pharmacology, safety. Planta Medica 73:191-199.

Reyes-Castañeda P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT editor, S.A. México. Rossen JL, Miller RC. 1973. Food extrusion. Food Technology 27:46-53

Shukla TP. 1994. Future snacks and snacks food technology. Cereal Foods World 39:704-705.

SIAP-SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2012. Disponible en línea: [<http://www.siap.gob.mx>]. Publicado en el año 2014. Acceso 1 de agosto de 2017.

SIAP-SAGARPA. 2016. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y pesquera, con información de la delegación de SAGARPA en los estados. Disponible de: <http://www.siap.gob.mx/>. Acceso 1 de agosto del 2017.

- Skerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hra, A., Simoncic, M., & Knez, Z. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food Chemistry*, 89, 191–198.
- Soler-Morales, O; Dominguez, L.P. y Fonseca, P.L. 2014. Chemical composition of flour noni fruit. *Revista gramma ciencia*. Vol. 18. No. 3.
- Solomon N. The tropical fruit with 101 medicinal uses, NONI juice. 2nd ed. Woodland Publishing; 1999.
- Spooner TF. 1992. Changes in processing technologies for corn and tortilla chips increase product yield and boost uniformity. *Baking & Snack* (10): 16-24.
- Torres, PA y Toranza, RA. 2006. Antecedentes y estado actual de investigaciones sobre la utilidad médica de La *Morinda Citrifolia* (Noni Tahitiano). (*Morinda Citrifolia* (Tahitian Noni). History. Current Studies About its Medical Use). Universidad Médica Mariana Grajales Coello. Holguín, Cuba.
- Tucker, G; Marson, H. Ding, Q. y Ainsworth, P. 2006. The effect of extrusión conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of food engineering* 73. 142-148.
- Ulloa, JA; Ulloa, PR; Ramírez, RJC y Ulloa, RBE. 2012. El noni: propiedades, usos y aplicaciones potenciales. *Revista Fuente* Año 4 No. 10 enero - marzo 2012.
- Van Mulle GJ, Ander CA, Franssell DE. 1983. Method for preparing sugar coated, puffed snacks upon microwave heating. US patent 4,251,551.

- Vielma B. 1998. Caracterización de la agroindustria de harina precocida de maíz en Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 15(5):472-485.
- White, B. L., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2010). Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 4037-4042.
- Yang, J., Gadi, R., Paulino, R., Thomson, T. 2010. Total phenolics, ascorbic acid, and antioxidant capacity of noni (*Morinda citrifolia*)
- Yang, J., Paulino, R., Janke-Stedronsky, S., Abawi, F. 2007. Free-radical-scavenging activity and total phenols of noni (*Morinda citrifolia* L.) juice and powder in processing and storage. *Food Chemistry* 102: 302–308.
- Zazueta-Morales, J. J., Martínez-Bustos, F., Jacobo-Valenzuela, N., Ordorica-Falomir, C., and Paredes-López, O. 2001. Effect of the addition of calcium hydroxide on characteristics of extruded products from blue maize (*Zea mays* L.) using response surface methodology. *Journal Science Food Agriculture* 81:1379-1386.
- Zielinski H, Kozłowska H, Lewczuk B. 2001. Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2(3): 159-169.

XI. APÉNDICE

Significado de abreviaciones	
AACC	Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists
ABTS	Capacidad antioxidante por el método ABTS
ABTSLib	Capacidad antioxidante por el método ABTS de extractos libres
ABTSLig	Capacidad antioxidante por el método ABTS de extractos ligados
AOAC	Association of official Analytical Chemists
b.s	Base seca
°C	Grados Celsius
CFT	Compuestos fenólicos totales
CFLib	Compuestos fenólicos libres
CFLig	Compuestos fenólicos ligados
CV	Coeficiente de variación
DPPH	Capacidad antioxidante por el método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)
DPPHLib	Capacidad antioxidante por el método DPPH en extractos libres
DPPHLig	Capacidad antioxidante por el método DPPH en extractos ligados
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FDI	Fibra dietaria insoluble
FDS	Fibra dietaria soluble
FDT	Fibra dietaria total
g.a.a/g.s.s	Gramos de agua absorbida por gramos de sólidos secos

Ha	Hectáreas
IAA	Índice de absorción de agua
ISA	Índice de solubilidad en agua
Kg	Kilogramos
min	Minutos
mg	Miligramos
mL	Mililitros
N	Newton
rpm	Revoluciones por minuto
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
Ton	Toneladas
Trolox	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico
VT	Velocidad de tornillo
μm	Micrómetros
μL	Microlitros
%	Porcentaje

XII. ANEXOS

A. FORMATO DE PRUEBA SENSORIAL



Universidad Autónoma de Sinaloa
Posgrado en ciencia y tecnología de alimentos

Prueba sensorial de botanas

Parte I. Estimado participante la información que nos proporcione en relación al grado de aceptación del siguiente producto nos servirá en la optimización tecnológica del mismo. Le agradecemos de antemano su cooperación.

¿Consumo algún tipo de botana? Sí _____ No _____

Nombre del evaluador: _____

1- Sexo:

Masculino _____ Femenino _____

2- Edad:

14-18 () 19-29 () 30-39 () 40-39 () 40-49 () 50-49 ()
50-60 () Mas de 60 ()

3- ¿Con que frecuencia consume algún tipo de botana?

Diario () C/tres días () 1 vez/semana () 1 vez/ quincena () 1 vez/mes ()

4- Lugares o contextos donde consume botanas:

Casa () Trabajo () Restaurante () Fin de semana () Fiestas ()

Otros: _____

5- Ocupación

Profesor () Estudiante () Empleado () Ama de casa () Independiente ()

Muestra 349

Parte II. De acuerdo a la siguiente escala:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta extrema damente	Me disgusta mucho	Me disgusta modera damente	Me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta modera damente	Me gusta mucho	Me gusta extrema damente

1- Pruebe y evalúe el nivel de agrado general de botana

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Pruebe y evalúe el nivel de agrado de la botana para los siguientes atributos:

Color

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sabor

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Textura

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Compraría usted una botana como la que acaba de probar?

Si () Muy probablemente si () Tal vez () Muy probablemente no () No ()

Comentarios: _____

Muestra 134

Parte II. De acuerdo a la siguiente escala:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta extrema damente	Me disgusta mucho	Me disgusta modera damente	Me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta modera damente	Me gusta mucho	Me gusta extrema damente

1- Pruebe y evalúe el nivel de agrado general de botana

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Pruebe y evalúe el nivel de agrado de la botana para los siguientes atributos:

Color

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sabor

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Textura

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Compraría usted una botana como la que acaba de probar?

Si () Muy probablemente si () Tal vez () Muy probablemente no () No ()

Comentarios: _____

Muestra 528

Parte II. De acuerdo a la siguiente escala:

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Me disgusta extrema damente	Me disgusta mucho	Me disgusta modera damente	Me disgusta	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta	Me gusta modera damente	Me gusta mucho	Me gusta extrema damente

1- Pruebe y evalúe el nivel de agrado general de botana

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Pruebe y evalúe el nivel de agrado de la botana para los siguientes atributos:

Color

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Sabor

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Textura

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

¿Compraría usted una botana como la que acaba de probar?

Si () Muy probablemente si () Tal vez () Muy probablemente no () No ()

Comentarios: _____

¡MUCHAS GRACIAS!