



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

**Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de
alimentos botana de segunda generación elaborados
con subproductos de arroz (*Oryza sativa* L.) y
calabaza (*Cucurbita moschata* D.) cv. Cehualca**

TESIS

Que presenta:

IAI. José Fredy Besarez Flores

Para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIA
Y
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Directores:

Dr. José de Jesús Zazueta Morales

Dr. Carlos Iván Delgado Nieblas

PRESENTACIÓN

El presente trabajo de investigación titulado “Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de alimentos botana de segunda generación elaborados con subproductos de arroz (*Oryza sativa* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* D.) cv. Cehualca”, fue realizado en los laboratorios de “Procesos Térmicos”, “Análisis químicos y funcionales de alimentos” y “Análisis Proximales”, en el área de posgrado 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. José de Jesús Zazueta Morales y del Dr. Carlos Iván Delgado Nieblas, y con la asesoría de la Dra. Noelia Jacobo Valenzuela y la Dra. Xóchitl Ariadna Ruiz Armenta. Para realizar el trabajo de investigación fue obtenido financiamiento a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI), Universidad Autónoma de Sinaloa (proyecto PRO_A7_018, convocatoria 2022). El IAI. José Fredy Besarez Flores recibió “Beca de Estudios para maestría” del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) durante el período de la investigación, y del PROFAPI para su terminación de tesis.

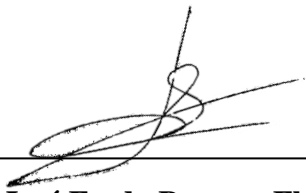


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de **Culiacán Rosales, Sinaloa** el día **06** del mes **junio** del año **2023**, el que suscribe **IAI. José Fredy Besarez Flores** alumno del Programa de **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos** con número de cuenta **20660014**, de la Unidad Académica **Facultad de Ciencias Químico Biológicas**, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de los doctores **José de Jesús Zazueta Morales** y **Carlos Iván Delgado Nieblas**, y cede los derechos del trabajo titulado “**Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de alimentos botana de segunda generación elaborados con subproductos de arroz (*Oryza sativa* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* D.) cv. Cehualca**”, 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.



IAI. José Fredy Besarez Flores

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a **Dios** por acompañarme y guiarme durante todo este tiempo.

A mis padres, **Romelia D' María Flores Rivera y José Fredy Besarez Gramajo** por todo el inmenso apoyo y su amor incondicional, siempre creyendo en mí y mis capacidades, por todos los consejos brindados, y estar en todo momento durante esta etapa de mi vida, los amo.

A mis hermanas, **Azul Romina Besarez Flores y Aura Rafaela Besarez Flores** por ser las que me motivan a querer avanzar y no rendirme, son todo para mí.

A mi novia, **Mónica Sandoval** por ser parte esencial e importante de mi vida, su apoyo en todo momento, por toda su paciencia, amor incondicional e impulsarme siempre, te amo.

Al **programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa**, por el apoyo, conocimientos y uso de las instalaciones para la realización de este proyecto.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por la beca otorgada para la realización de mis estudios de posgrado.

Al **Dr. José de Jesús Zazueta Morales** por fungir como director, apoyando siempre en todos los aspectos de este proyecto.

Al **Dr. Carlos Iván Delgado Nieblas** por la paciencia, consejos, asesorías y confianza al realizar el proyecto, el apoyo en todo el proceso fue muy valioso para el desarrollo y culminación del trabajo.

A la **Dra. Noelia Jacobo Valenzuela** por la asesoría, apoyo y recomendaciones que me brindó durante el desarrollo del presente proyecto.

A la **Dra. Xóchitl Ariadna Ruiz Armenta** por la asesoría, apoyo y confianza que me

brindó a lo largo de la realización del presente proyecto.

Al **Ing. Gustavo Alfaro Rojo** por la donación de la harina de garbanzo utilizada en el presente proyecto.

A mis amigos: **Samuel Arturo Delgado Murillo y Yazmín Alejandra Castro Montoya** por su inmenso apoyo, consejos, recomendaciones, ayuda y su gran amistad brindada, a **Christian Valenzuela Berrelleza** por su apoyo y amistad brindada.

A **mis compañeros de laboratorio Aliette y Marcos** por la amistad brindada a lo largo de mis estudios, el tiempo y apoyo compartido en los laboratorios.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	xiii
I. RESUMEN	1
ABSTRACT	3
II. INTRODUCCIÓN	5
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
A. Alimentos botana	7
1. Generalidades	7
2. Clasificación de los alimentos botana	9
3. Producción y consumo de alimentos botana	11
B. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS PARA ELABORACIÓN DE BOTANAS	13
1. Arroz	13
a. Generalidades	13
b. Producción	14
c. Clasificación	16
d. Composición química y aspectos nutricionales	17
e. Utilización de arroz quebrado en la producción de alimentos funcionales	17
2. Calabaza Cehualca	19
a. Generalidades	19

b. Clasificación	20
c. Partes estructurales	22
d. Composición química	22
3. Garbanzo	24
a. Generalidades	24
b. Composición química	24
c. Producción de garbanzo	25
4. Proteína de leche	27
a. Generalidades	27
b. Incorporación de leche en la producción de alimentos botana	27
C. PROCESO DE EXTRUSIÓN	29
1. Generalidades	29
2. Componentes de un extrusor	29
3. Elaboración de alimentos botana por extrusión	31
IV. JUSTIFICACIÓN	34
V. HIPÓTESIS	35
VI. OBJETIVOS	36
A. OBJETIVO GENERAL	36
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	36
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	37
A. MATERIALES	37
1. Materias primas	37
B. MÉTODOS EXPERIMENTALES	38

1. Proceso de extrusión	38
C. MÉTODOS ANALÍTICOS	39
1. Caracterización de las materias primas	39
a. Análisis proximal	39
D. MÉTODOS FISICOQUÍMICOS	39
1. Índice de expansión (IE)	39
2. Densidad aparente (DA)	40
3. Parámetros de color	40
4. Índice de adsorción de agua	41
5. Índice de solubilidad en agua	42
E. MÉTODOS FITOQUÍMICOS Y ANTIOXIDANTES	42
1. Carotenoides totales (CT)	42
a. Extracción de la muestra	42
b. Determinación de carotenoides totales	43
2. Compuestos fenólicos totales (CFT)	43
a. Extracción de fitoquímicos libres (CFLib)	43
b. Extracción de fitoquímicos ligados (CFLig)	44
c. Curva de calibración	45
d. Determinación de compuestos fenólicos libres, ligados y totales	45
3. Capacidad antioxidante-DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)	46
a. Extracción de la muestra	46
b. Curva de calibración	46
c. Medición de la capacidad antioxidante	47

4. Capacidad antioxidante-ABTS	47
a. Extracción de la muestra	47
b. Curva de calibración	47
c. Medición de la capacidad antioxidante ABTS	48
5. Capacidad antioxidante (inhibición de la degradación de Deoxi-D-Ribosa)	48
F. PARÁMETROS BIOLÓGICOS	50
1. Capacidad antioxidante (inhibición de oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL))	50
G. MÉTODOS ESTADÍSTICOS	51
1. Diseño experimental	51
2. Análisis de datos	52
H. ANÁLISIS SENSORIAL	52
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
A. MÉTODOS ANALÍTICOS	55
1. Caracterización de las materias primas	55
a. Composición proximal	55
2. Propiedades fisicoquímicas de las materias primas	57
a. Índice de adsorción de agua e índice de solubilidad en agua	57
b. Parámetros de color	57
B. MÉTODOS EXPERIMENTALES	60
1. Estudio preliminar de extrusión	60

C. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	61
1. Índice de expansión (IE)	61
2. Densidad aparente (DA)	66
3. Índice de adsorción de agua (IAA)	68
4. Índice de solubilidad en agua (ISA)	71
5. Parámetro de color L*	73
6. Parámetro de color a*	74
7. Parámetro de color b*	76
8. Diferencia total de color (ΔE)	78
D. PARÁMETROS FITOQUÍMICOS	82
1. Contenido de carotenoides totales (CT)	82
2. Compuestos fenólicos totales (CFT)	87
3. Compuestos fenólicos libres (CFLib)	90
4. Compuestos fenólicos ligados (CFLig)	92
E. PARÁMETROS ANTIOXIDANTES	94
1. Capacidad antioxidante DPPH total (DPPHT)	97
2. Capacidad antioxidante DPPH del extracto libre (DPPHLib)	99
3. Capacidad antioxidante DPPH del extracto ligado (DPPHLig)	101
4. Capacidad antioxidante ABTS total (ABTST)	103
5. Capacidad antioxidante ABTS del extracto libre (ABTSLib)	105
6. Capacidad antioxidante ABTS del extracto ligado (ABTSLig)	107

7. Capacidad antioxidante inhibición de la degradación de Deoxi-D-ribosa del extracto Libre (DeoxiLib)	109
8. Capacidad antioxidante inhibición de la degradación de Deoxi-D-ribosa del extracto Ligado (DeoxiLig)	111
F. PARÁMETROS BIOLÓGICOS	113
1. Capacidad antioxidante inhibición de oxidación de LDL del extracto libre (LDLLib)	116
2. Capacidad antioxidante inhibición de oxidación de LDL del extracto ligado (LDLLig)	118
G. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	120
H. ANÁLISIS SENSORIAL	123
IX. CONCLUSIONES	133
X. BIBLIOGRAFÍA	135
XI. ABREVIATURAS	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Aspectos de alimentos botana de primera generación (A) y segunda generación (B).	10
2	Aspectos de alimentos botana de tercera generación.	12
3	Aspectos del grano de arroz (A) y arroz quebrado (B).	15
4	Aspectos de calabaza cv. Cehualca (<i>Cucurbita moschata</i> D.).	21
5	Aspecto del garbanzo (<i>Cicer arietinum</i> L.).	26
6	Extrusor de doble tornillo.	30
7	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el índice de expansión (IE) de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	65
8	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de Calabaza (CHCC) sobre la densidad aparente (DA) de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	67
9	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el índice de adsorción de agua (IAA) de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	70
10	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el índice de solubilidad en agua (ISA) de	72

	alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	
11	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el parámetro de color L* de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	75
12	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el parámetro de color a* de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	77
13	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el parámetro de color b* de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	79
14	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la diferencia total de color (ΔE) en alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	81
15	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el contenido de carotenoides totales (CT) de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	86
16	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el contenido de compuestos fenólicos totales de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	88

17	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el contenido de CFLib de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	91
18	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el contenido de CFLig de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	93
19	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante DPPHT de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	98
20	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante DPPHLib de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contorno.	100
21	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante DPPHLig de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	102
22	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante ABTST de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	104

23	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante ABTSLib de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	106
24	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante ABTSLig de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	108
25	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante (DeoxiLib) de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	110
26	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante (DeoxiLig) de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	112
27	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante LDLLib de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	117
28	Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante LDLLig de los	119

	alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.	
29	Optimización gráfica mediante superposición de las diferentes superficies de contornos de las variables de respuesta evaluadas en alimentos botana directamente expandidos. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC).	122
30	Análisis de frecuencia de edades (A) y frecuencia de consumo (B) de los evaluadores, en el análisis sensorial de alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	126
31	Análisis de frecuencia del lugar de consumo (A) y frecuencia de la ocupación de los consumidores (B), en el análisis sensorial de alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	128
32	Análisis de frecuencia de la aceptabilidad general en el estudio sensorial de alimentos botana directamente expandidos adicionados con calabaza obtenidos en condiciones optimizadas de procesamiento, y alimentos botana control sin calabaza (1 = Me disgusta extremadamente; 2 = Me disgusta mucho; 3 = Me disgusta moderadamente; 4 = Me disgusta ligeramente; 5 = Ni me gusta ni me disgusta; 6 = Me gusta ligeramente; 7 = Me gusta moderadamente; 8 = Me gusta mucho; 9 = Me gusta extremadamente).	129

Análisis de frecuencia para los atributos de color (**A**), sabor (**B**), y textura (**C**) en el estudio sensorial de alimentos botana directamente expandidos adicionados con cáscara de calabaza obtenidos en condiciones optimizadas de procesamiento, y alimentos botana control sin calabaza (1 = Me disgusta extremadamente; 2 = Me disgusta mucho; 3 = Me disgusta moderadamente; 4 = Me disgusta ligeramente; 5 = Ni me gusta ni me disgusta; 6 = Me gusta ligeramente; 7 = Me gusta moderadamente; 8 = Me gusta mucho; 9 = Me gusta extremadamente).

- 33** Análisis de frecuencia para los atributos de color (**A**), sabor (**B**), y textura (**C**) en el estudio sensorial de alimentos botana directamente expandidos adicionados con cáscara de calabaza obtenidos en condiciones optimizadas de procesamiento, y alimentos botana control sin calabaza (1 = Me disgusta extremadamente; 2 = Me disgusta mucho; 3 = Me disgusta moderadamente; 4 = Me disgusta ligeramente; 5 = Ni me gusta ni me disgusta; 6 = Me gusta ligeramente; 7 = Me gusta moderadamente; 8 = Me gusta mucho; 9 = Me gusta extremadamente). **130**

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Composición proximal de diferentes cereales.	18
2	Diseño experimental central compuesto rotatable con 2 factores de estudio: Contenido de humedad (CH) y contenido de harina de cáscara de calabaza (CHCC) ($\alpha = 1.414$).	53
3	Composición química de las materias primas utilizadas para producir las botanas de segunda generación.	56
4	Índice de adsorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de botanas directamente expandidas	58
5	Parámetros de color L^* , a^* , b^* de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de botanas directamente expandidas.	59
6	Análisis de varianza de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	62
7	Coefficientes de regresión de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	63

8	Análisis de varianza de los parámetros fitoquímicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	83
9	Coeficientes de regresión de los parámetros fitoquímicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	84
10	Análisis de varianza de los parámetros antioxidantes evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	95
11	Coeficientes de regresión de los parámetros antioxidantes evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	96
12	Análisis de varianza de los parámetros biológicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	114
13	Coeficientes de regresión de los parámetros biológicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.	115
14	Criterios y límites del proceso de optimización de extrusión.	121
15	Valores predichos por el modelo y experimentales de las variables de respuesta utilizadas en la optimización del proceso de obtención de alimentos botana de segunda generación adicionados con cáscara de calabaza.	124

16	Valores experimentales de propiedades fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes de alimentos botana directamente expandidos obtenidos en las condiciones óptimas de procesamiento.	125
17	Frecuencia de la posibilidad de compra de la botana optimizada y botana control.	132

I. RESUMEN

Los alimentos botana directamente expandidos pueden rediseñarse utilizando materias primas ricas en compuestos bioactivos para su elaboración. Para ello, se propone el uso de subproductos como la cáscara de calabaza de invierno (*Cucurbita moschata* D.) cv Cehualca, que aporta un alto contenido en carotenoides y compuestos fenólicos, con importante capacidad antioxidante. El objetivo del presente estudio fue realizar una caracterización fisicoquímica y nutracéutica de alimentos botana de segunda generación elaborados con subproductos de arroz (*Oryza sativa* L.), garbanzo (*Cicer arietinum* L.), leche en polvo, y cáscara de calabaza (*Cucurbita moschata* D.) cv. Cehualca. Se evaluó el efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre las propiedades fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes de los alimentos botana obtenidos mediante la tecnología de extrusión, utilizando la metodología de superficie de respuesta para el análisis estadístico de los datos. Se presentaron valores de índice de expansión (IE) > 2.2 combinando bajos CH con niveles bajos e intermedios de CHCC, y valores de densidad aparente < 320 kg/m³ combinando bajos CH y CHCC. Asimismo, se presentaron valores de índice de adsorción de agua > 9 g.a.a./ g.s.s., y valores de índice de solubilidad en agua > 13 % a bajos CH en todo el rango de CHCC. Además, se presentaron valores del parámetro de color L* < 73 combinando bajos CH y CHCC, valores de b* > 23 combinando bajos CH con altos CHCC, y valores de diferencia de color total < 4 combinando altos CH con bajos CHCC. Se obtuvieron valores de carotenoides totales (CT) > 10 µg de CT/ g b. s. y compuestos fenólicos totales (CFT) > 4 mg EAG/g b. s. combinando altos CH y CHCC. Asimismo, se presentó un contenido de compuestos fenólicos libres > 2 mg EAG/g b. s. tanto a niveles

elevados de CH y CHCC, como a niveles bajos de CH y CHCC, y un contenido de compuestos fenólicos ligados > 1.4 mg EAG/g b. s. a altos CH y CHHC. Se presentaron valores de capacidad antioxidante DPPH total > 9 $\mu\text{mol ET/g}$ b. s. al combinar altos CH y CHCC, DPPH libres > 6 $\mu\text{mol ET/g}$ b. s. en rangos intermedios y altos de CH y CHCC, y DPPH ligados > 2 $\mu\text{mol ET/g}$ b. s. a bajos CHCC en todo el rango de CH. Se obtuvieron valores de ABTS total > 3 $\mu\text{mol ET/g}$ b. s. combinando bajos CH con altos CHCC, ABTS libres > 2 $\mu\text{mol ET/g}$ b. s. combinando bajos CH con altos CHCC, y ABTS ligados > 1.5 $\mu\text{mol ET/g}$ b. s. combinando altos niveles de CH con altos niveles de CHCC. Asimismo, se presentaron valores de % de inhibición de la oxidación de la deoxi-D-ribosa libres (DeoxiLib) > 54 % a altos CHCC en todo el rango de CH, y valores de % de inhibición de la oxidación de la deoxi-D-ribosa ligados \geq 48 % a altos CHCC en todo el rango de CH. Se obtuvieron valores de % de inhibición de la oxidación de LDL libres > 43 % a valores intermedios de CH combinados con niveles bajos e intermedios de CHCC, y valores de % de inhibición de la oxidación de LDL ligados > 45 % al combinar niveles bajos de CH con niveles intermedios de CHCC. Las condiciones óptimas de procesamiento por el método gráfico a partir de las respuestas, IE, CT, CFT y DeoxiLib fueron CH= 20.98% y CHCC= 12.44%. En el análisis sensorial, las botanas optimizadas presentaron buena aceptabilidad. Es posible obtener a través del proceso de extrusión botanas directamente expandidas adicionando cáscara de calabaza Cehualca, con aceptables características fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes, cuyo consumo presenta beneficios potenciales para la salud del consumidor.

Palabras clave: Botanas directamente expandidas, cáscara de calabaza, extrusión, fitoquímicos, capacidad antioxidante.

ABSTRACT

The directly expanded snack foods can be redesigned by using raw materials rich in bioactive compounds for their preparation. For this purpose, is proposed the use of by-products such as winter squash peel cv Cehualca (*Cucurbita moschata* D.), which provides a high content of carotenoids and phenolic compounds, with a significant antioxidant capacity. The objective of this study was to perform a physicochemical and nutraceutical characterization of second generation snack foods made with by-products of rice (*Oryza sativa* L.), chickpea flour (*Cicer arietinum* L.), powdered milk, and winter squash peel cv. Cehualca (*Cucurbita moschata* D.). The effect of the moisture content (MC) and the winter squash peel flour content (WSPC) on the physicochemical, phytochemical and antioxidant properties of snacks obtained by extrusion technology was evaluated, using the response surface methodology for the statistical analysis of data. Expansion index (EI) values > 2.2 were presented by combining low MC with low and intermediate levels of WSPC, and bulk density values $< 320 \text{ kg/m}^3$ by combining low MC with low WSPC. Likewise, were presented water adsorption index values $> 9 \text{ g.a.w./g.d.s.}$ and water solubility index values $> 13\%$, at low MC in all range of WSPC. Also, color parameter L^* values < 73 were presented by combining low MC and WSPC, b^* values > 23 by combining low MC with high WSPC, and total color difference values < 4 by combining high MC with low levels of WSPC. Total carotenoids (TC) values $> 10 \mu\text{g}$ of TC/ g d. b. and total phenolic compounds (TPC) $> 4 \text{ mg GAE/g d.b.}$ were presented by combining high MC with high WSPC. A free phenolic compounds content $> 2 \text{ mg EAG/g b.s.}$ was shown, both, at high levels of MC and WSPC, and, at low levels of MC and WSPC, and a bound phenolic compounds content $> 1.4 \text{ mg GAE/g d. b.}$ was

presented, at high MC and WSPC. Total DPPH antioxidant capacity values $> 9 \mu\text{mol TE/g d. b.}$ were presented by combining high MC and high WSPC, free DPPH $> 6 \mu\text{mol TE/g d. b.}$ at intermediate and high ranges of MC and WSPC, and bound DPPH $> 2 \mu\text{mol TE/g d. b.}$ at low WSPC throughout the MC range. Total ABTS values $> 3 \mu\text{mol TE/g d. b.}$ were obtained by combining low MC with high WSPC, free ABTS $> 2 \mu\text{mol TE/g b. d. b.}$ were obtained by combining low MC with high WSPC, and bound ABTS $> 1.5 \mu\text{mol TE/g d. b.}$ were obtained by combining high levels of MC with high levels of WSPC. Inhibition of oxidation of free Deoxy-D-Ribose (DeoxyFree) values $> 54 \%$ were presented at high WSPC in the entire MC range, and inhibition of bound Deoxy-D-Ribose oxidation values $> 48 \%$ were obtained at high WSPC throughout the range of MC. Inhibition of free LDL oxidation values $> 43\%$ were obtained at intermediate values of MC combined with low and intermediate WSPC, and inhibition of bound LDL oxidation values $> 45 \%$ were obtained by combining low MC with intermediate WSPC levels. The optimal processing conditions using the graphic method from the responses, EI, TC, TPC, and DeoxyFree were MC= 20.98% and WSPC= 12.44%. In the sensory analysis, the optimized snack foods presented good acceptability. It is possible to obtain, through the extrusion process, directly expanded snacks with addition of winter squash Cehualca peel, with acceptable physicochemical, phytochemical and antioxidant characteristics, whose consumption presents potential benefits for the consumers health.

Keywords: Directly expanded snacks, winter squash Cehualca peel, extrusion, phytochemicals, antioxidant capacity.

II. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la población mundial tiene diferentes problemas, entre ellos la mala alimentación. En México, la población sufre de enfermedades causadas por la mala alimentación, y lastimosamente este problema afecta a todos en general (Figueroa-González y col 2010). Debido a esto, las personas se están concientizando buscando el consumo de alimentos que presenten beneficios extras al aporte de energía y nutrimentos. Esto con el objetivo de tener una nutrición óptima que pueda reflejarse en un mejoramiento de su salud. Por lo anterior, se han realizado diversos trabajos para el diseño de alimentos con mayor contenido de compuestos bioactivos, en donde al modificar sus componentes, puedan mejorar el bienestar físico y mental de las personas que los consumen, y disminuir la incidencia de enfermedades (González-Aguilar y col 2014).

Los alimentos botana se consumen mayormente para calmar el hambre momentáneamente, aportan altos niveles de energía, siendo producidos para ser más deseables comparados a alimentos tradicionales. Este tipo de alimentos se producen adicionando niveles elevados de edulcorantes, saborizantes y sal, y no se consumen durante las comidas principales del día. Esta palabra “snack” frecuentemente es traducida de la lengua inglesa como “botana”. De acuerdo a Pérez-Navarrete y col (2006), las botanas pueden definirse 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”. Generalmente, los alimentos botana no son considerados auténticos alimentos, debido

a que se cuestiona su reducido aporte nutrimental. No obstante, estos alimentos se han transformado conforme a los requerimientos de las personas consumidoras.

Se busca que los alimentos botana no pierdan su atractivo, por lo tanto, la razón por la que las personas optan por consumir estos alimentos. Por lo anterior, se presenta una alta variedad de botanas, que se basan en sus propiedades texturales, color, sabor, forma, palatabilidad, etc.

Los alimentos tipo botana pueden ser rediseñados para ser nutritivos, conteniendo micronutrientes, fitoquímicos, vitaminas y antioxidantes; ingredientes que los hacen atractivos al consumidor, reuniendo los requerimientos de regulación además de que generan cambios positivos en la propiedades organolépticas y texturales (Rodríguez-Vidal 2017).

Es posible producir diferentes tipos de alimentos botana reducidos en grasas utilizando tecnologías como la de extrusión y la utilización de subproductos, como es el caso del arroz quebrado y cáscara de calabaza, los cuales pueden aportar compuestos benéficos para la salud, tales como los compuestos fenólicos, que tienen importante actividad antioxidante. En el caso de la cáscara de calabaza aporta importante contenido de carotenoides, compuestos fenólicos y fibra dietaria, que presentan potencial nutracéutico. Por lo anterior se planteó el siguiente objetivo general, realizar una caracterización fisicoquímica y nutracéutica de alimentos botana de segunda generación elaborados con arroz quebrado (*Oryza sativa* L.) y cáscara de calabaza (*Cucurbita moschata* D.) cv. Cehualca.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. Alimentos botana

1. Generalidades

Los alimentos botana en México y en el mundo necesitan cumplir con los requerimientos del consumidor, respecto a: su accesibilidad, precio, sabor y extensa diversidad de gustos, sin ser exclusivos de una determinada clase social o edad del consumidor. Actualmente, se presenta una alta diversidad de alimentos botana que muestran propiedades distintas, siendo comúnmente utilizados en aquellos instantes de diversión o distracción en casa o fuera de esta. Los alimentos botana que presentan un alto consumo son: frituras obtenidas a partir de maíz y trigo, papas fritas, chicharrones de harina de trigo o de cerdo, cacahuates, entre otros. Sin embargo, aun cuando las botanas tienen alta popularidad, por sus elevados niveles de sal y grasa, los productores han luchado por un largo tiempo con la imagen de “alimentos chatarra”. Este término se considera inapropiado, siendo empleado para aquellos alimentos altos en carbohidratos simples, altos en grasas y sodio. Las botanas se pueden rediseñar para tener mejor aporte nutrimental, aportando micronutrientes tales como las vitaminas, compuestos fitoquímicos y antioxidantes. Estos ingredientes pueden hacerlas atractivas para los consumidores, cumpliendo sus demandas, así como generando modificaciones positivas en características organolépticas y de textura. Asimismo, pueden producirse alimentos botana utilizando nuevas materias primas, tales como algunas mezclas de cereales con frutas, vegetales y concentrados para la

producción de alimentos con alto valor nutrimental. Se puede lograr la producción de diversas botanas con la introducción de algunas tecnologías como la extrusión y el uso de condimentos naturales como mezcla de ingredientes derivados de leche, queso, chiles y especias, los cuales pueden conferir compuestos benéficos como antioxidantes o fibra (Rodríguez-Vidal 2017).

Para la NOM-187-SSA1/SCFI-2002, las botanas son alimentos producidos a partir de cereales, leguminosas con o sin cáscara, tubérculos, productos de la nixtamalización, y de piel de cerdo, que pueden presentar o no un proceso de cocción y sazonamiento.

Los alimentos listos para el consumo son cada vez más populares entre el consumidor, principalmente debido a su conveniencia de consumo y facilidad de preparación y almacenamiento, y factores de atractivo para el consumidor como conveniencia, valor, apariencia atractiva y textura. La Agencia de Normas Alimentarias (FSA, Reino Unido) define los productos listos para el consumo como: "cualquier alimento para el consumo sin calentamiento o procesamiento adicional". Esta definición cubre tanto los productos listos para consumir abiertos como los preenvasados. La expresión "calentamiento o procesamiento adicional" no incluye las actividades de preparación de alimentos tales como el lavado ligero, rebanado, picado, en porción, marinado o conservaciones realizadas por el consumidor con preferencia a un alimento que de otro modo estaría listo para consumir (Brennan 2012).

2. Clasificación de los alimentos botana

Estos alimentos pueden ser clasificados de diferentes maneras, utilizando sus fabricantes para su identificación mayormente 3 términos:

1) *Botanas de primera generación*: Dentro de este grupo están los alimentos naturales que se utilizan para producir botanas, tales como nueces, papas fritas y palomitas (**Figura 1A**). En ellas se destacan claramente dos inconvenientes: la materia prima es perecedera, con una vida de anaquel muy corta de 1 a 3 meses donde los empaques “abiertos” ocasionan también una vida corta en el producto terminado (Riaz 2006).

2) *Botanas de segunda generación*: Una gran parte de los alimentos botana producidos en la actualidad se incluyen en este grupo, incluyendo alimentos botana tales como totopos y de expansión directa (**Figura 1B**). Se llaman productos directamente expandidos porque no requieren procesamiento adicional después para completar la expansión del producto, y se dice que son los productos más fáciles de producir con un extrusor (Sevatson y Huber 2000).

3) *Botanas de tercera generación*: Son incluidos en este grupo los pellets indirectamente expandidos, pudiendo ser obtenidos utilizando el proceso de extrusión. Los bocadillos indirectamente expandidos, son productos que requieren un segundo paso de inflado. Se distinguen por ser estables en almacenamiento y tener una alta densidad aparente que facilita el transporte y el comercio. Estos productos se elaboran principalmente a partir de almidones de cereales, como maíz y trigo, así como de almidón de papa (Ruiz-Armenta y col 2019).



A



B

Figura 1. Aspectos de alimentos botana de primera generación (A) y segunda generación (B).

Los pellets (**Figura 2**) obtienen su forma por un “dado”, utilizando en esta zona temperaturas bajas para prevenir la expansión (Moore 1994). Generalmente, contienen al menos 60% de almidón para alcanzar la expansión máxima durante el proceso de post-extrusión (Sevatson y Huber 2000). Una variante más reciente de este proceso es la expansión por radiación infrarroja o calentado con microondas (Huber 2001).

De los tres tipos de alimentos botana mencionados previamente, los que son más producidos y consumidos son los alimentos botana de segunda generación.

3. Producción y consumo de alimentos botana

La venta de los alimentos botana es un negocio con alta rentabilidad, por lo que las grandes empresas presentan alta innovación produciendo botanas que satisfagan todos los gustos.

La mayoría de los productores de botanas son empresas medianas y pequeñas diseminadas en toda la república, algunos tienen marca comercial, otros maquilan para empresas más grandes y hay cientos de fabricantes caseros, de acuerdo con el costo por temporada de la materia prima (Gómez-López 2013).

En los últimos años la producción e ingresos por venta de botanas saladas en México se han incrementado, aumentando los ingresos desde 2934.9 millones de dólares en 2016 hasta 4255.3 millones de dólares en 2021, obteniéndose los mayores ingresos a partir de la venta de frituras elaboradas a base de tortilla, seguido por las papas fritas, botanas expandidas, cacahuates, y palomitas de maíz.



Figura 2. Aspectos de alimentos botana de tercera generación.

Las empresas que presentan mayor producción y participación en el mercado son PepsiCo Inc. (Sabritas), Grupo Bimbo SAB de CV, y ConAgra Foods (AAFC 2022), presentándose un volumen de producción en el año 2020 de aproximadamente 690, 000 toneladas. El consumo per cápita anual de alimentos botana en México fue de aproximadamente 7.8 kilogramos en el año 2020 (Euromonitor 2022)

B. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS PARA ELABORACIÓN DE BOTANAS

1. Arroz

a. Generalidades

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un cereal perteneciente a la familia de las gramíneas. Este grano, se denomina frecuentemente semilla, estando formado al ser cosechado por la cariopse y cáscara, en donde la cáscara está formada por las glumelas. Industrialmente se considera al arroz cáscara aquel comprendido por el conjunto de cariopse y glumelas (Franquet-Bernis y Borrás-Pamies 2009).

Se trata de un cultivo tropical y subtropical, aunque la mayor producción a nivel mundial se concentra en los climas húmedos tropicales, pero también se puede cultivar en las regiones húmedas de los subtrópicos y en climas templados y mediterráneos (Ruiz 2013).

Su cultivo se da entre 49-50° latitud norte y 35° latitud sur, desde el nivel del mar hasta los 2500 metros de altitud (Franquet-Bernis y Borrás-Pamies 2009). Para su germinación este cereal requiere mínimamente temperaturas entre 10 y 13 °C, siendo las temperaturas óptimas de 30 a 35 °C. Su cultivo se presenta en una extensa

variedad de suelos, desde arenosos a arcillosos. Se suele cultivar en suelos de textura fina y media, propias del proceso de sedimentación en las amplias llanuras inundadas y los deltas de los ríos (Ruiz-Corral y col 2013).

El arroz entero (**Figura 3A**) que proviene del campo se conoce como “paddy” o arroz cáscara; presenta una cáscara exterior rica en fibra que no es comestible conocida como cascarilla. Al retirar la parte exterior, se mantiene el pericarpio y germen, presentando el arroz integral un color café, el cual posterior a ser pulido es transformado en arroz blanco. Los criterios de calidad más importantes del arroz son: el rendimiento de la molienda, la apariencia del grano crudo, el comportamiento en la cocción y la textura y aroma del grano cocido (Loubes y col 2013).

El proceso de molienda del arroz es muy diferente al de la molienda del trigo. El grano de trigo es molido para la obtención de las harinas. En el caso de la molienda de arroz, se presenta un descascarillado, remoción de salvado y al final se separan los granos que presentan daños (**Figura 3B**). El rendimiento de su molienda depende de la relación de granos íntegros que no se quiebren durante el proceso, y es un reflejo de las técnicas de cultivo, cosecha y manejo subsecuente. En la apariencia del grano crudo participan la biometría (dimensiones y forma del grano), el color y las características del perlado (Loubes y col 2013).

b. Producción

La producción de arroz a nivel mundial reportada en el año 2021 fue de más de 787 millones de toneladas.

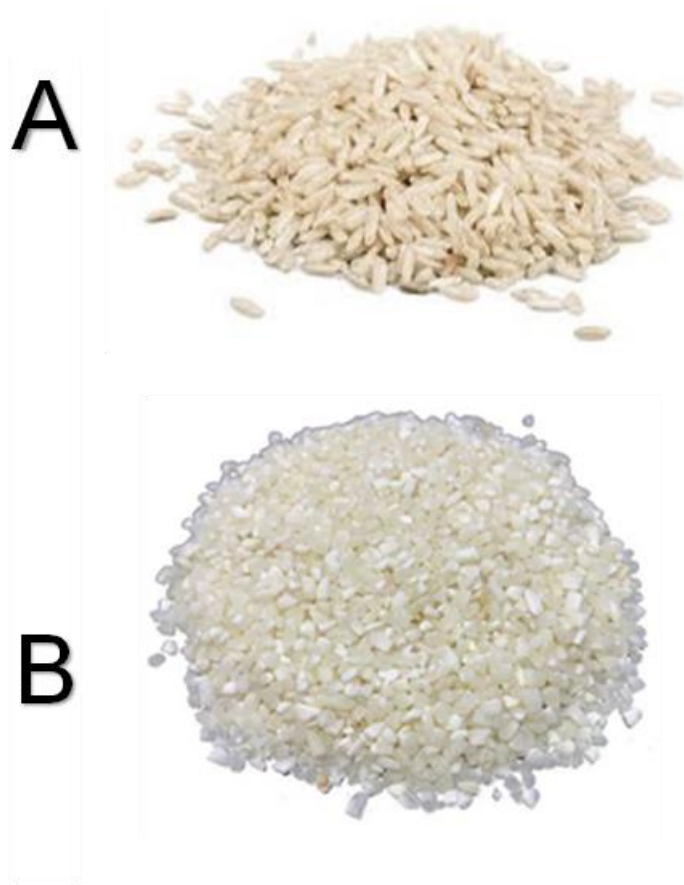


Figura 3. Aspectos del grano de arroz (A) y arroz quebrado (B).

China se ubicó como el principal productor de arroz con una producción de más de 214 millones de toneladas, seguido de India, Indonesia, Bangladesh (FAOSTAT 2022). México en 2021, tuvo una producción de más de 257 mil toneladas, siendo el arroz cultivado principalmente en los estados de Nayarit, Campeche, Michoacán (FAOSTAT 2021).

c. Clasificación

Para el CODEX STAN 198-1995, el grano de arroz puede ser clasificado según su tamaño, pudiendo ser largo, medio y corto, de la siguiente manera:

Grano entero: se le conoce al grano que no presenta ninguna sección rota.

Arroz de primera: se le llama al grano que su longitud es \geq que $\frac{3}{4}$ partes de la longitud promedio del grano entero.

Arroz quebrado grande: se le considera a la parte del grano que su longitud es $<$ que $\frac{3}{4}$ partes, pero es $>$ que $\frac{1}{2}$ de la longitud promedio del grano entero.

Arroz quebrado medio: se le considera a la sección del grano cuya longitud es \leq a $\frac{1}{2}$, pero $>$ a $\frac{1}{4}$ parte de la longitud promedio del grano entero.

Arroz quebrado pequeño: es la parte del grano que su longitud es \leq a $\frac{1}{4}$ parte de la longitud promedio del grano entero, sin embargo, no puede pasar por medio de un tamiz metálico que presenta perforaciones circulares con 1.4 milímetros de diámetro.

Grano quebrado muy menudo: es la parte del grano que puede pasar por medio de un tamiz metálico que presenta perforaciones circulares con 1.4 milímetros de diámetro.

d. Composición química y aspectos nutricionales

En el **Cuadro 1** puede observarse la composición química del arroz y otros cereales. Si bien su contenido de proteína es bajo (7-9 % promedio en peso), el grano de arroz es la mayor fuente proteica en los países consumidores de este cereal aportando el 60 % de la proteína total de la dieta en Asia (Shih 2003).

El arroz representa un alimento básico en más de 30 países, mayormente en Asia, América del Norte y Sur, y África. Este cereal proporciona el 50 por ciento del suministro de energía alimentaria del mundo (FAO, 2014b). El grano integral aporta importantes niveles de energía y es una rica fuente de vitaminas como la tiamina, riboflavina y niacina. El perfil de aminoácidos del arroz indica que presenta altos contenidos de ácido glutámico y aspártico, en tanto que la lisina es el aminoácido limitante (FAO 2014b).

e. Utilización de arroz quebrado en la producción de alimentos funcionales

Los criterios de calidad más importantes del arroz son: el rendimiento de la molienda, la apariencia del grano crudo, el comportamiento en la cocción y la textura y aroma del grano cocido (Loubes y Tolaba 2013).

Sriwattana y col (2008) realizaron la optimización sensorial de botanas a base de arroz partido fortificados con proteínas y fibra, este estudio reveló que una mezcla de goma guar y aislado de proteína de soya fue eficaz para la fortificación nutricional en las formulaciones de bocadillos a base de arroz partido.

Cuadro 1. Composición proximal de diferentes cereales (Shih 2003).

Propiedad (%)	Arroz	Trigo	Maíz	Cebada	Sorgo	Centeno	Avena
Proteínas	7.3	10.6	9.8	11.0	8.3	8.7	9.3
Lípidos	2.2	1.9	4.9	3.4	3.9	1.5	5.9
Carbohidratos	64.3	69.7	63.6	55.8	58.0	71.8	62.9
Fibra Total	0.8	1.0	2.0	3.7	4.1	2.2	5.6
Cenizas	1.4	1.4	1.4	1.9	2.6	1.8	2.3

Un tamaño de porción (30 g) del producto de refrigerio optimizado elegido proporcionó 6.58 g de proteína y 3.80 g de fibra dietética, lo que cumplió con la definición de la FDA.

Coutinho y col (2013) trabajaron en la optimización de variables de extrusión para la producción de botanas a partir de subproductos de arroz y soya, evaluando el efecto del contenido de humedad y temperatura de extrusión sobre expansión y color de los productos obtenidos. Los autores concluyeron que la combinación de los granos de arroz quebrados con las proteínas y lípidos del salvado de arroz y la soya negra okara resultó en un producto extrudido de alto valor nutricional, con 41% más de proteínas, 64% más de lípidos, 27% más de carbohidratos, y un valor energético 17% superior al del tradicional snack de maíz disponible en el mercado.

2. Calabaza Cehualca

a. Generalidades

La calabaza de invierno pertenece a la familia de las Cucurbitáceas, y se clasifica según su textura y forma de tallo en *Cucurbita pepo*, *C. moschata*, *C. maxima* y *C. mixta*. Entre una amplia gama de variedades de *Cucurbita moschata* D., la calabaza “Cehualca” es una variedad de cáscara dura cultivada en México, donde el uso principal de esta calabaza de invierno es para la alimentación animal. Asimismo, se utiliza para el consumo humano en forma de dulces en conserva obtenidos a partir de su pulpa, o snacks elaborados a partir de sus semillas (Delgado-Nieblas y col 2015).

El principal producto elaborado a partir de pulpa de calabaza Cehualca (**Figura 4**) es el pan relleno con calabaza, además de calabaza cristalizada, sin embargo, la cáscara de calabaza es altamente desperdiciada.

En 2020, México fue el séptimo productor más importante de calabazas de todos los tipos a nivel mundial con más de 756 mil toneladas (FAOSTAT 2022).

Cucurbita moschata es un cultivo de temporada que se ha utilizado desde la antigüedad, ha sido esencial en la dieta de las comunidades rurales y algunas áreas urbanas de las Américas y muchas otras partes del mundo. *C. moschata* también se consume como verdura y se cultiva por sus brotes tiernos, flores carnosas, comestibles. En México, el uso principal de esta calabaza es en la elaboración del postre típico regional “calabaza en conserva”. Sus semillas se comen enteras, asadas, tostadas y molidas en diferentes guisos (Jacobo-Valenzuela 2011).

b. Clasificación

La calabaza pertenece al Reino: Plantae, División: Magnoliophyta, Clase: Magnoliopsida, Orden: Violales, y Familia: Cucurbitaceae (CONABIO 2012). Esta familia se encuentra constituida por aproximadamente 90 géneros y de 700 a 850 especies (Armougom 1998; CONABIO 2012).

El género *Cucurbita* es considerado el más importante económicamente y durante muchos años ha sido conformado por 20-27 especies (Bayley 1943). Sin embargo, las principales especies cultivadas son cinco: *Cucurbita argyrosperma* Huber, *Cucurbita ficifolia*, *Cucurbita maxima*, *Cucurbita pepo*, y *Cucurbita moschata* (Armougom 1998).



Figura 4. Aspectos de calabaza cv. Cehualca (*Cucurbita moschata* D.).

Dichas especies han sido clasificadas, dado sus características ecológicas de su hábitat y por la duración de su ciclo de vida, en el grupo de las especies de hábitat más o menos mesolíticos, anuales o perennes de vida corta, aunque cuyas raíces son fibrosas. Sin embargo, debido a la extraordinaria variación morfológica del grupo, principalmente de los frutos y las semillas, ha dado lugar a que una gran cantidad de nombres científicos y esquemas de clasificación hayan sido propuestos para designarlas y ordenarlas (Bayley 1943; Lira y col 1995).

c. Partes estructurales

Según el análisis descriptivo realizado por Aguilar-Gutiérrez (2009) de los diferentes componentes de la calabaza, fue reportado que el $79.6 \pm 4.44\%$ del peso de las calabazas lo constituye la pulpa, seguido por la cáscara con $10.36 \pm 1.88\%$ y tan sólo $3.71 \pm 0.94\%$ lo conforman las semillas.

El porcentaje restante ($6.33 \pm 0.89\%$) lo constituyen principalmente las fibras en las cuales se encuentran embebidas las semillas.

d. Composición química

Se ha evaluado la composición química de calabaza (*Cucurbita moschata* D.), encontrándose cantidades altas de pectina, minerales, carotenos, vitaminas y otras sustancias benéficas para la salud humana (Jacobo-Valenzuela 2011). *Cucurbita moschata* constituye una importante fuente de carotenoides, especialmente β -caroteno y luteína, cuyo consumo presenta beneficios potenciales en la salud.

Otros carotenoides presentes en calabaza son α -caroteno y carotenoides menores, zeaxantina, violaxantina, β -caroteno 5, 6-epóxido, β -criptoxantina, taraxantina, luteoxantina, auroxantina, fitoflueno, neurosporeno y neoxantina. Se ha reportado que una dieta rica en carotenoides se asocia con aumento de la respuesta inmune y disminución de la incidencia de enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares, cataratas, entre otras enfermedades de la vista. La calabaza es considerada un alimento con un escaso aporte calórico, ya que está constituida aproximadamente de un 90 % de agua, además, de que posee un bajo contenido de carbohidratos y grasa. Sin embargo, es considerada una hortaliza rica en compuestos carotenoides con actividad antioxidante y como provitamina A (Durán y Moreno-Álvarez 2000).

Por otra parte, es una buena fuente de fibra dietaria que ofrece el valor de saciedad y mejora el tránsito intestinal por la alta presencia de mucílagos (Casper 2001). Aguilar-Gutiérrez (2009) realizó un análisis proximal de la composición química de pulpa, cáscara y semilla de calabaza Cehualca, encontrando los mayores valores en cáscara, obteniendo un valor de cenizas de $8.85 \pm 0.19\%$, fibra cruda de 17.65 ± 0.26 a $26.71 \pm 0.21\%$, lípidos de 2.58 ± 0.13 a $3.03 \pm 0.10\%$, y proteínas de 10.76 ± 0.95 a $19.66 \pm 0.39\%$, presentando valores más bajos de humedad (84.05 ± 2.71 a $86.90 \pm 1.21\%$) que la pulpa. Otra característica química importante fue el valor obtenido de fibra dietaria total en la cáscara, el cual fue superior al encontrado en pulpa, mostrando valores de $34.94 \pm 0.34\%$ a $44.64 \pm 0.06\%$.

3. Garbanzo

a. Generalidades

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) pertenece a la familia de las leguminosas. Es una planta anual, tiene raíces profundas, tallos pelosos y ramificados, que alcanzan una altura de hasta 0.60 m. Sus frutos nacen en vaina bivalva con una o dos semillas en su interior, ligeramente arrugadas, con dos grandes cotiledones (Frimpong y col 2010). El garbanzo es consumido en el mundo mayormente como grano y su forma de preparación depende de costumbres étnicas en las diferentes regiones. En ciertos países de Asia y África, es utilizado para preparar sopas, ensaladas, además de consumirse en forma salada o fermentada. Estas diferentes formas de consumo ofrecen a las personas una valiosa nutrición y beneficios potenciales para la salud (Jukanti y col 2012).

En México, esta leguminosa es consumida en forma fresca, frita con picante, o en forma de aperitivo. Para alimentos tradicionales se utiliza en sopas, cremas, harina para la preparación de atole y mondongo (Jukanti y col 2012).

b. Composición química

El garbanzo presenta elevados niveles de proteínas y fibra dietaria, siendo el contenido de proteínas de alrededor del 22 %, incrementándose la relación de proteínas (25.3-28.9 %) cuando el garbanzo es descascarado. El garbanzo aporta alto contenido de carbohidratos y proteínas, representando un alto porcentaje de su peso en base seca, siendo ampliamente consumidas las variedades Kabuli y Desi.

Cabe señalar que se ha reportado que la calidad de la proteína del garbanzo resulta ser mejor que otras leguminosas tales como del frijol negro, judía mungo y frijol rojo (Aguilar-Raymundo 2013).

El garbanzo (**Figura 5**) presenta en su composición vitaminas hidrosolubles y liposolubles. Del grupo del complejo B destacan la riboflavina (vitamina B2) que se encuentra en pequeñas cantidades, esta se activa después de ser absorbida en el intestino delgado; la niacina (vitamina B3) se asocia con el contenido de proteínas, por lo que alimentos ricos en proteína son fuentes importantes de niacina; asimismo, el garbanzo aporta niveles importantes de piridoxina, presentándose en tres formas químicas, piridoxina, piridoxal y piridoxamina (Wood y Grusak 2007).

El contenido de folato varía de 150-557 $\mu\text{g/g}$ y de vitamina C, 4 mg/100 g, por otra parte, el garbanzo contiene 13.7 mg/100 g de vitamina E (Wood y Grusak 2007; Jukanti y col 2012).

c. Producción de garbanzo

En el año 2020 hubo una producción mundial de garbanzo mayor a los 15 millones de toneladas, siendo la India el mayor productor mundial, produciendo más de 11 millones de toneladas. Asimismo, en el año 2020 México tuvo una producción de más de 125 mil toneladas (FAOSTAT 2022), siendo Sinaloa el principal productor de garbanzo en el país (SIAP, 2020).



Figura 5. Aspecto del garbanzo (*Cicer arietinum* L.).

4. Proteína de leche

a. Generalidades

La leche es un alimento con importante aporte nutrimental, ya que presenta una mezcla equilibrada de carbohidratos (lactosa), lípidos (triglicéridos y fosfolípidos), proteína (caseína y proteínas de suero), minerales (calcio y fósforo) y vitaminas (Haug y col 2007; Claeys y col 2013). Este alimento, presenta un alto aporte nutricional en relación a las calorías aportadas, así como una amplia gama de nutrientes (a excepción del hierro, que se encuentra en niveles deficientes). La caseína representa alrededor del 80% del contenido total de proteínas de la leche.

b. Incorporación de leche en la producción de alimentos botana

En distintos trabajos se ha adicionado leche mezclándose con otros ingredientes como el almidón (Amaya-Llano y col 2007) para la producción de alimentos botana mediante el proceso de extrusión.

Algunos de los trabajos que se han realizado en los últimos años sobre elaboración de alimentos botana adicionados con leche a partir de la tecnología de extrusión se muestran a continuación:

Limón-Valenzuela y col (2010) evaluaron los efectos de adicionar concentrado proteínico de leche (CPL) en una mezcla de maíz de calidad proteínica y almidón de maíz, sobre diferentes características físicas y fisicoquímicas de alimentos botana indirectamente expandidos obtenidos mediante la tecnología de extrusión. Se obtuvo que la expansión se incrementó con el aumento en el CPL hasta un nivel del 4%, pero

comenzaba a disminuir cuando el porcentaje en de CPL en las mezclas era >4%, mientras que la densidad aparente y los parámetros de color (a^* y b^*) aumentaron.

Yadav y col (2014) elaboraron una botana nutritiva a base de perlas de mijo adicionada de distintos niveles de proteína de suero de leche (PL; 0, 2.5, 5 y 7.5%) a un contenido de humedad del 14%. A altos contenidos de PL se generaron productos poco expandidos y duros. Por otra parte, la adición de PL, impactó positivamente en la aceptabilidad sensorial general y perfil nutricional. Teniendo en cuenta la aceptabilidad general, nutricional y de textura, se recomendó la incorporación de PL a un nivel del 5% en granos de mijo para la preparación de botanas expandidas aceptables.

Felicori-Fernandes y col (2016) evaluaron el efecto de diferentes niveles de concentrado proteínico de leche (CPL) y temperatura de extrusión sobre las propiedades físicas y sensoriales de alimentos botana indirectamente expandidos producidos utilizando maíz, concluyendo que la sustitución de grits de maíz por CPL hasta niveles del 17%, y utilizando una temperatura de extrusión hasta 75°C, produjeron pellets con aceptables propiedades de expansión. Los productos con 5% de CPL obtuvieron mayor aceptación sensorial que los productos sin CPL, reportando que en dicha concentración se obtuvieron las botanas con mejores características.

Ruiz-Armenta y col (2019) obtuvieron mediante el proceso de extrusión alimentos botana utilizando como materias primas almidón de maíz, maíz amarillo integral, bagazo de naranjita, y proteína de leche, los cuales fueron expandidos por microondas. Se obtuvieron productos con altos niveles de compuestos fenólicos, carotenoides totales, fibra dietaria, y actividad antioxidante, siendo evaluadas estas propiedades en las distintas etapas de procesamiento. Asimismo, los alimentos botana expandidos por

microondas mostraron niveles aceptables de color, sabor, y textura en el análisis sensorial.

C. PROCESO DE EXTRUSIÓN

1. Generalidades

Extrusión se puede definir como un tipo de procesamiento donde las materias primas se forzan a fluir utilizando diferentes tipos de mezclado, temperaturas y cizalla, por medio de un dado, el cual le da forma o expande los materiales que salen del extrusor (Zazueta-Morales y col 2011).

Uno de los objetivos de la tecnología de extrusión es incrementar la variedad de alimentos disponibles para la dieta de la población, utilizando materias primas básicas. Asimismo, el obtener alimentos con diferente tipo de textura y forma. El equipo de extrusión moldea las materias primas por medio de la utilización de diferentes temperaturas, cizallamiento y cambio de presión. Este equipo está formado por un tornillo o sin fin que presenta álabes helicoidales unidos alrededor, que muestran una rotación (Gómez-López 2013). En la **Figura 6** se muestra un extrusor de doble tornillo.

2. Componentes de un extrusor

Un extrusor está formado por un tornillo o tornillos que están rotando en un cilindro, al que encajan con alta exactitud. Estos tornillos se movilizan a través de un motor por medio de la transmisión, utilizándose para cambiar su velocidad. El mecanismo de alimentación está compuesto por una tolva para recibir el material a ser extrudido y de un tornillo alimentador (Harper 1998).



Figura 6. Extrusor de doble tornillo.

En un extrusor, su principal componente es el tornillo, este equipo está formado por 3 secciones que presentan diferentes funciones: (1) sección de alimentación, la cual presenta alabes hondos que se adaptan a las materias primas crudas, que son transportadas hacia la salida. Al transportarse las materias primas, el aire se elimina, provocando que los alabes sean llenados por completo. (2) sección de compresión o transición, las materias primas húmedas se convierten en un material termoplástico debido a que el almidón se gelatiniza parcialmente y las proteínas tienden a desnaturalizarse; en esta sección ocurre una reducción en la altitud de las hélices (Harper 1998). (3) En la sección de medición o cocimiento el material es sometido a una presión, compresión y velocidad de corte elevadas. En esta sección existen hélices de baja profundidad, presentando una reducción de tornillo, y la masa termoplástica es transformada en una masa plástica, como resultado de una conversión de energía mecánica en energía térmica, la acción de corte en esta zona se homogeniza y adiciona más calor a la mezcla (Fellows 1990).

También se ha reportado que el extrusor presenta la sección de alimentación donde entra el producto, la sección de transición donde se convierte el material en masa termoplástica, y la sección final donde se logra una alta homogenización del producto, lo que permite que se eleve la presión previa a la salida por el dado final (Gómez-López 2013).

3. Elaboración de alimentos botana por extrusión

El proceso de extrusión presenta una amplia ventaja en cuestiones de economía, nutrición y producción, proporcionando alimentos con alto valor nutrimental,

convenientes, y aportando amplios márgenes de rendimiento (Repo-Carrasco y col 2011).

La producción de alimentos expandidos utilizando equipos de extrusión tiene altas ventajas, debido a que no es utilizada grasa en el proceso de cocción. En la producción de alimentos botana “snacks” se afectan mínimamente la mayoría de las propiedades químicas de las materias primas. Durante este procesamiento, son utilizadas cantidades menores de materias primas comparado con otros procesos alternativos, siendo un proceso rápido. No obstante, este procesamiento puede incrementar las temperaturas, y causar una degradación de los constituyentes químicos de los alimentos. Sin embargo, en términos generales los productos finales son considerados de alta calidad y costo reducido.

El procesamiento por extrusión puede causar cambios en la composición del alimento debido a los niveles de temperatura, fuerzas de corte y alta presión, a la cual son sometidos los materiales, produciéndose diferentes fenómenos tales como: a) cambios en la estructura de los polímeros debido una gelatinización del almidón y desnaturalización de los componentes proteicos, b) formación de interacciones amilosa-lípidos, proteínas-lípidos, y proteínas-proteínas, c) formado de enlaces intermoleculares, dando origen a materiales expandidos estables y d) formación de almidón resistente.

Entre los trabajos de producción de alimentos botana de segunda generación a partir del proceso de extrusión se encuentran los siguientes:

Norfezah y col (2012) obtuvieron un producto extrudido mezclando grits de maíz con diferentes partes de calabaza (cáscara, pulpa y semilla), encontrando que en condiciones mayores al 10% de calabaza, se obtuvieron alimentos botana extrudidos con menor expansión y mayor densidad aparente. La inclusión de material de subproductos (cáscara, pulpa y semillas) al 10%, generó productos extrudidos con características de expansión y densidad similares a las de la muestra de control; sin embargo, una inclusión de más del 10% generó mayor dureza del producto.

Urías-Ruelas (2012), elaboró alimentos botana de segunda generación utilizando maíz blanco, almidón de maíz, y harina de pulpa de calabaza Cehualca, encontrando que al incrementar la temperatura y disminuir la humedad se presentaron los alimentos botana con mayor expansión. En dicho trabajo se obtuvieron botanas con aceptables niveles de carotenoides y actividad antioxidante, así como una buena aceptabilidad sensorial.

Kothakota y col (2013) llevaron a cabo la caracterización de productos extrudidos elaborados a partir de diversos subproductos, tales como harina de arroz quebrado, harina de pulpa de desecho de piña deshidratada y harina de gramo rojo, que fueron producidos utilizando un extrusor de doble tornillo. Las respuestas del producto, como la densidad aparente, expansión lateral y dureza se vieron afectadas de forma importante por cambios en la temperatura y el contenido de humedad de alimentación.

IV. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, existe en el mercado una alta producción de alimentos botana de segunda generación, utilizándose como materia prima principal para su elaboración al almidón de maíz, lo que les confiere un bajo aporte nutrimental. En el afán de mejorar la composición nutrimental/nutracéutica de las botanas obtenidas mediante el proceso de extrusión se ha sugerido la adición de materias primas ricas en compuestos bioactivos, destacando la utilización de harina de cáscara de calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata* D.), ya que es una excelente fuente de fibra dietaria, compuestos carotenoides y fenólicos, presentando apropiadas características antioxidantes. Asimismo, con la utilización de arroz quebrado (*Oryza sativa* L.) en la producción de este tipo de alimentos se aprovecharía este subproducto de la molienda del arroz que es altamente desperdiciado. Igualmente, la adición de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), permitiría el mejoramiento de la calidad de proteínas de las botanas al combinarse con las proteínas del arroz, y darle valor agregado a esta leguminosa altamente producida en el estado de Sinaloa. Las botanas directamente expandidas tienen alta demanda, las cuales podrían utilizarse como un excelente vehículo para la incorporación de nutrientes y de compuestos bioactivos. En el presente trabajo, se estaría generando información científica inédita, ya que no se han encontrado reportes científicos donde se combinen arroz quebrado, garbanzo y cáscara de calabaza Cehualca, en la elaboración de botanas de segunda generación utilizando el proceso de extrusión.

V. HIPÓTESIS

La utilización de una mezcla de harinas de arroz quebrado, garbanzo y cáscara de calabaza Cehualca, en la elaboración de alimentos botana de segunda generación por extrusión, mejora su nivel de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, presentando propiedades fisicoquímicas similares a las de productos comerciales.

VI. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Realizar una caracterización fisicoquímica y nutracéutica de alimentos botana de segunda generación elaborados con arroz quebrado (*Oryza sativa* L.), garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y cáscara de calabaza (*Cucurbita moschata* D.) cv. Cehualca.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar las materias primas en relación a su composición proximal y propiedades nutracéuticas.
2. Realizar un estudio preliminar de extrusión para establecer los factores de estudio (contenido de humedad (CH) y contenido de cáscara de calabaza (CHCC)) y niveles de variación.
3. Estudiar el efecto de los factores de estudio sobre las características fisicoquímicas (índice de expansión, densidad aparente, índice de adsorción de agua, índice de solubilidad en agua y color) de los alimentos botana directamente expandidos.
4. Evaluar el efecto de los factores de estudio sobre propiedades fitoquímicas (carotenoides totales, compuestos fenólicos totales) y antioxidantes (capacidad antioxidante por los métodos DPPH, ABTS, Deoxi-D-Ribosa y LDL) de las botanas obtenidas.
5. Optimizar el proceso de extrusión para obtener las mejores condiciones de procesamiento.
6. Realizar un análisis sensorial en las botanas obtenidas en condiciones optimizadas de extrusión.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. MATERIALES

1. Materias primas

Se utilizaron como materias primas para la producción de los alimentos botana de segunda generación, arroz quebrado (*Oryza sativa* L.), el cual se obtuvo de la empresa Grupo ANSERA S.A de C.V., harina de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), que fue donada generosamente por la Empresa Macfrut S.P.R de R.I., harina de cáscara de calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata* D.), y leche en polvo producida por Industrias lácteas de Vallejo, S. de R.L. de C.V.

La harina de cáscara de calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata* D.), se obtuvo a partir de la deshidratación de la cáscara de esta hortaliza, de acuerdo con el proceso de secado reportado por Delgado-Nieblas y col (2015) con modificaciones de Pérez-Murillo (2015). La cáscara fue escaldada a una temperatura de $92 \pm 2^\circ\text{C}$ por 2 minutos, y posteriormente deshidratada utilizando una temperatura de $72 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 110 min en una estufa de laboratorio BINDER redLINE RE 115. Posteriormente, la cáscara deshidratada fue molida utilizando un molino de martillos marca PULVEX, modelo mini-100, con una malla de 1 mm. Después, el material fue tamizado utilizando una malla # 40 (Marca Fisherbrand), obteniendo harinas que presentaron un tamaño de partícula $< 420 \mu\text{m}$, que se utilizaron en las mezclas utilizadas para la producción de las botanas por extrusión. Estas harinas se almacenaron en bolsas de plástico negro para resguardarlas de la luz y fueron refrigeradas ($\sim 5^\circ\text{C}$), hasta su utilización.

En el caso de la harina de arroz quebrado, se obtuvo a partir de la molienda de este cereal llevada a cabo en un molino de martillos marca PULVEX modelo 200, con una malla de 0.5 mm, y posterior tamizado utilizando una malla # 40 (Marca Fisherbrand), obteniendo harinas con tamaño de partícula < a 420 μm , que se utilizaron en las mezclas utilizadas para la producción de los alimentos botana.

B. MÉTODOS EXPERIMENTALES

1. Proceso de extrusión

Se realizó utilizando un extrusor de laboratorio de doble tornillo, marca Shandong Light LT32L, utilizándose tornillos que presentaron relación de compresión 1:1, siendo el diámetro del dado del extrusor de 4 mm. La proporción de materias primas utilizada en la mezcla base (arroz quebrado, garbanzo y leche en polvo) se determinó mediante un estudio preliminar, siendo 75:20:5, respectivamente. Asimismo, el contenido de cáscara de calabaza Cehualca se varió de 0.64 a 13.36%, de acuerdo al diseño experimental. Las muestras de harinas utilizadas durante el proceso de extrusión con un peso de aproximadamente 1000 g fueron ajustadas a porcentajes de humedad de 20.34 a 31.66%, de acuerdo al diseño experimental utilizando una batidora de laboratorio (KitchenAid, Model K5SS, Michigan, USA) a mínima velocidad. Para los distintos tratamientos, fueron mantenidas constantes las temperaturas en las 3 zonas del equipo de extrusión, utilizando 75 °C, 115 °C, y 140 °C, en las zonas de alimentación, mezclado/cocción, y salida, respectivamente, y una velocidad de tornillo constante de 281 rpm durante todos los tratamientos.

El producto extrudido fue cortado manualmente en segmentos de 5.0 cm, los cuales se secaron en una estufa de laboratorio (marca BINDER redLINE RE 115) a una temperatura de $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 12 h aproximadamente, para realizar los diferentes análisis.

C. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Caracterización de materias primas

a. Análisis proximal

Se realizó esta determinación en las materias primas (harina de arroz quebrado (*Oryza sativa* L.), harina de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), harina de cáscara de calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata* D.), y leche en polvo), que fueron utilizadas para la producción de los alimentos botana. Se determinó el contenido de proteínas (960.52), lípidos (920.39), cenizas (923.03), humedad (925.10), fibra cruda (962.09), y el contenido de carbohidratos por diferencia de los restantes componentes, de acuerdo a la metodología reportada por la AOAC (2012).

D. MÉTODOS FISICOQUÍMICOS

1. Índice de expansión (IE)

Esta determinación fue realizada en los alimentos botana obtenidos en los diferentes tratamientos del diseño experimental. Se midió el diámetro transversal de los alimentos botana extrudidos, así como el diámetro interior del dado de salida del equipo de

extrusión utilizando un equipo Vernier. Se llevaron a cabo 30 mediciones en cada uno de los diferentes tratamientos, calculando el IE utilizando la siguiente fórmula:

$$IE = \frac{\text{Diámetro de los alimentos botana extrudidos (mm)}}{\text{Diámetro interior del dado de salida del extrusor (mm)}}$$

2. Densidad aparente (DA)

Se llevó a cabo esta determinación en los alimentos botana de segunda generación siguiendo la metodología reportada por Wang y col (1993). Se tomaron 30 piezas de alimentos botana por cada tratamiento de alrededor 50 mm de longitud (l), fueron pesadas (Pm= peso de la muestra), y fue determinado su diámetro (3 mediciones equidistantes) (d), siendo reportados los valores de densidad aparente en kg/m³. Se efectuaron los cálculos mediante la siguiente ecuación:

$$DA = \frac{Pm}{[(\pi) \left(\frac{d}{2}\right)^2 (l)]}$$

3. Parámetros de color

Para su determinación fue utilizado el método reportado por Bhattacharya y col (1997), determinándose en las materias primas, mezclas sin procesar, y en las botanas extrudidas de los diferentes tratamientos del diseño experimental, utilizándose un colorímetro triestímulo Minolta CR 210. Para su determinación, los materiales se molieron con ayuda de un molino PULVEX modelo 200, utilizando una malla de 0.5 mm, para ser subsecuentemente cribados mediante un tamiz de malla # 40

Fisherbrand. Se colocaron los materiales en una caja Petri con un diámetro de 5 cm, efectuándose cinco mediciones equidistantes. Se tomaron 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))]. Igualmente, fueron calculados los parámetros ΔL^* , Δa^* y Δb^* , que muestran la diferencia total de color entre las mezclas sin procesar por extrusión, respecto a las botanas extrudidas. La diferencia total de color (ΔE) fue obtenida utilizando la fórmula que se presenta a continuación:

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

4. Índice de adsorción 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 las botanas extrudidas que fue suspendida 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 fue centrifugada en un equipo (Eppendorf, 5804R, Hamburgo, Alemania) a 3200 xg por 30 min, a una temperatura de 25°C. El sobrenadante fue decantado en un recipiente para la determinación de la solubilidad en agua, mientras que el gel que se formó fue pesado y el IAA fue determinado por triplicado utilizando la siguiente ecuación:

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

5. Índice de solubilidad en agua (ISA)

Fue obtenido utilizando los sólidos secos que se recuperaron al evaporar el sobrenadante que se obtuvo en la medición de IAA. La solubilidad en agua se obtuvo a partir del % de sólidos secos que se recuperaron utilizando 0.25 gramos de muestra. La evaluación se realizó por triplicado para cada uno de los diferentes tratamientos del diseño experimental (AACCC 2010).

E. MÉTODOS FITOQUÍMICOS Y ANTIOXIDANTES

1. Carotenoides totales (CT)

a. Extracción de la muestra

Fue realizada siguiendo la metodología descrita por Kimura y Rodríguez-Amaya (2004). Se pesó 1 g de muestra, la cual fue rehidratada utilizando 5 mL de agua desionizada, siendo dejada en reposo en un agitador Vari-Mix durante 30 minutos. Subsecuentemente, fueron agregados 10 mL de acetona fría, siendo la mezcla homogenizada durante 15 minutos en un Vari-Mix. El homogenizado fue filtrado utilizando papel Whatman # 40 utilizando una bomba con vacío, para después ser recolectado el extracto, siendo realizada una nueva extracción con 5 mL de acetona fría (-20 °C). Este procedimiento fue repetido hasta que el residuo no presentó color. Posteriormente, a una tercera parte del volumen que se recuperó durante la extracción le fueron agregados 7 mL de éter de petróleo, y 20 mL de agua destilada, sin realizar la agitación de la mezcla para que no se formara una emulsión. La mezcla fue dejada

en reposo por 15 min para la separación de fases, descartando la fase acuosa, y fue recuperado el éter de petróleo. El proceso se realizó por duplicado recuperando en cada paso una tercera parte del volumen de la extracción filtrada, y se leyó la absorbancia del extracto a una absorbancia de 450 nm.

b. Determinación de carotenoides totales

El contenido de carotenoides totales fue determinado utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Carotenoides totales } (\mu\text{g/g}) = \frac{(A \text{ total} \times \text{Volumen total en mL} \times 10^4)}{\left(\frac{A1\%}{1\text{cm}} \times \text{peso de la muestra en gramos}\right)}$$

Donde:

A total = Absorbancia medida

A1% / 1 cm = Coeficiente de absorción de carotenoides en éter de petróleo en una celda de 1 cm (2500).

Los resultados se expresaron como microgramos de carotenoides totales por gramo de muestra (μg de CT/ g).

2. Compuestos fenólicos totales (CFT)

a. Extracción de fitoquímicos libres (CFLib)

Esta extracción fue realizada siguiendo el procedimiento reportado por Adom y Liu (2002) con modificaciones de Moore y col (2005), realizándose esta medición en las materias primas, diferentes tratamientos del diseño experimental, y en el producto

óptimo. Los compuestos fueron extraídos mediante una agitación por 10 min de 10 mL de etanol al 80% (v/v) y un gramo de muestra. Posteriormente, se realizó una centrifugación a 3,000 g /10°C por 10 min, siendo el sobrenadante colocado dentro de un tubo, realizándose dicho procedimiento en 4 ocasiones para la obtención de aproximadamente 40 mL de sobrenadante. Subsecuentemente, se realizó una concentración utilizando un rotaevaporador Heidolph (modelo LABOROTA 4011, Alemania) utilizando una presión baja, a una temperatura de 45°C, para la obtención de un volumen final de 2 mL. El concentrado fue llevado a sequedad usando una estufa, siendo posteriormente reconstituido utilizando metanol al 50%, y el extracto fue almacenado a 4°C para ser posteriormente ser utilizado en la determinación de compuestos fenólicos y propiedades antioxidantes correspondientes a los fitoquímicos libres. Asimismo, el precipitado fue almacenado para obtener los extractos correspondientes a fitoquímicos ligados.

b. Extracción de fitoquímicos ligados (CFLig)

El precipitado que se obtuvo de la extracción de fitoquímicos libres fue utilizado para extraer los compuestos fitoquímicos ligados de acuerdo a la metodología descrita por 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), siendo neutralizado mediante 2 mL de HCl concentrado, y agitado durante 2 min utilizando un equipo vortex Thermolyne, modelo MG3215, USA. Subsecuentemente, fueron agregados 10 mL de hexano, siendo realizada una centrifugación durante 10 min a 3,000 g y fue eliminado el sobrenadante.

Posteriormente, fue agregado acetato de etilo, se agitó durante 10 min, y fue centrifugado a 3,000 xg con una temperatura de 10°C durante 10 min, fue recuperado el acetato de etilo y almacenado en un tubo, realizándose cuatro ocasiones la extracción. El acetato de etilo fue evaporado hasta sequedad, siendo los compuestos extraídos reconstituidos utilizando metanol al 50% y almacenados a una temperatura de 4°C para su posterior utilización en las diferentes técnicas.

c. Curva de calibración

Para la realización de esta curva de calibración fue preparada una solución stock de 1000 ppm. Se pesaron 0.01 gramos de ácido gálico monohidratado, siendo disueltos con 10 mL de metanol. Asimismo, fueron preparadas diluciones desde 10 hasta 120 ppm, que se utilizaron durante el método Folin-Ciocalteu que es explicado en la siguiente sección.

d. Determinación de compuestos fenólicos libres, ligados y totales

Se determinó mediante una modificación del método de Folin-Ciocalteu (Singleton y col 1999); donde se tomaron 30 μL de extracto, 3 mL de agua destilada y 200 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu. Estos materiales fueron colocados en un tubo de ensayo ocurriendo la reacción durante 10 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se añadieron 600 μL de una solución de carbonato de sodio al 20% y se incubó por 20 min a 40°C en un baño de temperatura controlada (Marca Heidolph modelo LABOROTA 4011). Después, se llevó a cabo un enfriamiento con hielo, siendo posteriormente medida la absorbancia desarrollada mediante un espectrofotómetro

Thermo Spectronic (modelo GENESYS 10 UV, SA). Los datos obtenidos se compararon con la curva de calibración descrita en la sección anterior y el contenido de compuestos fenólicos se reportó en miligramos de ácido gálico/ g de muestra (mg EAG/ g b.s.).

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

a. Extracción de la muestra

Para realizar esta determinación fueron utilizados los extractos empleados para medir el contenido de compuestos fenólicos

b. Curva de calibración

Para esta medición de capacidad antioxidante fue utilizada una modificación del método reportado de Brand-Williams y col (1994), la cual fue propuesta por Kim y col (2002), adaptándose para realizarla utilizando tubos de vidrio de 6 mL. Fueron pesados de 2.4 a 3 mg del radical DPPH, aforándose a 100 mL utilizando metanol. Después, fue fijada la absorbancia de 0.76-0.78 a una longitud de onda de 515 nm en la solución con el radical que fue utilizada para la prueba. Para realizar la curva de calibración fue relacionada la concentración de las diluciones respecto a la absorbancia. Por lo anterior, fueron pesados 0.01 gramos de trolox y aforados a 10 mL con metanol, obteniéndose una solución que presentó una concentración de 1000 ppm. Fueron formadas diferentes diluciones desde 0.5 hasta 50.5 $\mu\text{L}/10\text{ mL}$, midiéndose la absorbancia del control, y de cada una de las diluciones.

c. Medición de la capacidad antioxidante

En esta determinación se midió la absorbancia (A_o) del control que estaba formado por 2900 μL del radical DPPH y 100 μL de metanol. Igualmente, en los tubos fueron adicionados 2900 μL del radical DPPH y 100 μL del extracto de la muestra. Fueron dejados en reposo 30 min resguardados de la luz, y posteriormente fue leída la absorbancia a 515 nm. La capacidad antioxidante se reportó en micromoles equivalentes de trolox por gramo ($\mu\text{mol ET/g b.s.}$).

4. Capacidad antioxidante-ABTS

a. Extracción de la muestra

Para realizar esta determinación antioxidante fueron utilizados los extractos empleados para medir el contenido de compuestos fenólicos

b. Curva de calibración

Fue utilizado el método propuesto por Pellegrini y col (1999), presentando ligeras modificaciones. Se preparó el radical catión ABTS $^{\cdot+}$ mezclando 5 mL de ABTS (7mM) con 88 μL de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (140 mM). Esta mezcla fue dejada en reposo durante 16 horas a temperatura ambiental resguardada de la luz. Al formarse el radical se ajustó la absorbancia a 0.70 a una longitud de onda de 734 nm, siendo empleado para realizar la prueba. Fueron pesados 0.01 g de trolox, los cuales se disolvieron con 10 mL de metanol, para obtener la solución madre con 1000 ppm (1 mg/mL), lo que sirvió para

obtener soluciones de 20 a 120 ppm de trolox para realizar la curva de calibración, utilizándose 60 µL de las diferentes soluciones de trolox y 1940 µL del radical ABTS·+. Igualmente, fue determinada la absorbancia (A0) del control que presentaba 60 µL de metanol y 1940 µL de radical ABTS·+. Subsecuentemente, los diferentes tubos fueron mezclados con vortex durante 10 s, para medir la absorbancia (A) a una longitud de onda de 734 nm en las soluciones con trolox y el radical ABTS·+. La inhibición se reportó como porcentaje utilizando la fórmula siguiente para su obtención:

$$\% \text{ inhibición} = \left(\frac{A_0 - A}{A_0} \right) \times 100$$

Donde:

A0 = Absorbancia del control

A = Absorbancia utilizada para observar el efecto antioxidante sobre el radical ABTS·+.

c. Medición de la capacidad antioxidante ABTS

Después de ser obtenido el % de inhibición, fue realizado un gráfico en función de la concentración de la solución de trolox. La capacidad antioxidante ABTS fue obtenida utilizando un análisis de regresión mediante una ecuación que relaciona la concentración de equivalentes trolox (ET) con el porcentaje de inhibición. Los resultados se reportaron en µmol ET/ g en base seca.

5. Capacidad antioxidante (inhibición de la degradación de Deoxi-D-ribosa)

Este ensayo determina la capacidad de captación del radical hidroxilo (OH⁻). Dicho radical es generado a partir del peróxido de hidrógeno y una mezcla de ácido ascórbico,

cloruro de hierro III y EDTA mediante la reacción de Fenton. Este radical puede actuar sobre la Deoxi-D-Ribosa, en donde por la adición del ácido tiobarbitúrico se forma el complejo tiobarbitúrico malondialdehído (ATB2-MDA), una disminución de la coloración rosa, respecto a un control implica la captación del radical OH^- . La metodología propuesta por Halliwell y col (1987) fue utilizada para la realización de este ensayo en las materias primas, diferentes tratamientos del diseño experimental y el producto óptimo. Se pesó 1 mg de extracto de cada muestra y del estándar catequina, los cuales se disolvieron con 1 mL de una solución de catequina. Se colocaron en tubos, 500 μL de dilución 100 μL de Deoxi-D-Ribosa (28 mM), 200 μL de solución premezclada de cloruro férrico: ácido etilén-diamino-tetracético (100 μL de EDTA 1000 μM : 100 μL FeCl_3 1000 μM), 100 μL de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) 10 Mm y 100 μL de ácido ascórbico 1mM. Posteriormente, dichos reactivos fueron agitados utilizando vortex, siendo incubados a una temperatura de 37 °C durante 1 h, para después añadir 1 mL de ácido tricloroacético (TCA) 2.8% y 1 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) 1%, realizándose una agitación posterior y calentamiento en baño de agua a una temperatura de 95 °C durante 20 min. Posteriormente, fue detenida la reacción sometiendo a enfriamiento (3-5 °C) a las muestras (3-5 °C) por 5 minutos con hielo, para después adicionar 2 mL de n-butanol en los tubos y agitarlos por 1 min. Después, se llevó a cabo una centrifugación a 4500 rpm durante 10 min utilizando una temperatura de 25 °C, para realizar la separación de la fase orgánica de la acuosa. Fue ajustado el espectrofotómetro usando n-butanol y después fue utilizada como blanco (A_0) una solución buffer de fosfatos en vez de las muestras, para leer la absorbancia de la fase orgánica (rosa) a una longitud de onda de 532 nm. Al calcularse

el % de inhibición, se realizó un gráfico en función de la concentración de catequina con el % de inhibición, realizándose los cálculos mediante la ecuación siguiente:

$$\% \text{ Inhibición de degradación} = \frac{\text{Absorbancia blanco} - \text{Absorbancia muestra}}{\text{Absorbancia blanco}} \times 100$$

Los resultados fueron expresados como % Inhibición de la degradación.

F. PARÁMETROS BIOLÓGICOS

1. Capacidad antioxidante (inhibición de oxidación de lipoproteínas de baja densidad (LDL))

Esta prueba determina la capacidad de captación del radical peroxilo (ROO^-). Dicho radical se obtiene de la peroxidación de liposomas, emulando a las membranas orgánicas a 37°C en el sistema cloruro de hierro III y ácido ascórbico. Al igual que en el ensayo de Deoxi-D-Ribosa la adición del ácido tiobarbitúrico forma el cromógeno tiobarbitúrico malondialdehído (ABT2-MDA). Una disminución en la coloración rosa respecto al control implica la captación del radical, peroxilo. Para la determinación de la capacidad de inhibición de la oxidación de las LDL, en materias primas, diferentes tratamientos del diseño experimental, y en el producto óptimo, se siguió el método de Loy y col (2002), realizando ciertas modificaciones. Fueron utilizados 10 mL de plasma sanguíneo humano, agregando 1 mL del reactivo precipitante (marca SPINREACT, Girona, España) para la obtención de LDL. Posteriormente, la mezcla se centrifugó a 4500 rpm/10 min/ 25°C . Al recuperarse las LDL, fueron realizadas diluciones utilizando un buffer de fosfatos con $\text{pH} = 7.4$ formándose una concentración de 1000 ppm. Fueron

colocados 300 µL de LDL en tubos de cristal de 5 mL, agregándose subsecuentemente 100 µL de muestra y 100 µL de CuSO₄ a 50 mM. Posteriormente, los tubos fueron llevados a 1 mL utilizando el buffer de fosfatos. La mezcla fue agitada en vortex y fue incubada durante 3 h/37°C, pasado el tiempo, se agregaron 1 mL de ácido tricloroacético (TCA) al 15% y 1 mL de ácido tiobarbitúrico (TBA) al 0.37%. Fue realizada una agitación en vortex y un calentamiento en baño de agua en ebullición durante 20 min. Fue detenida la reacción mediante el enfriamiento de las muestras (3-5°C) con hielo, para después añadir 2 mL de n- butanol en los tubos, que fueron posteriormente centrifugados utilizando 4500 rpm durante 10 min. Fue ajustado el espectrofotómetro utilizando n-butanol y fue leída la absorbancia de fase orgánica (rosa) a una longitud de onda de 532 nm. Para el blanco se realizó el mismo procedimiento, pero con ausencia de la muestra.

El porcentaje de inhibición de oxidación de las LDL fue calculado con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Inhibición de oxidación de LDL} = \frac{\text{Absorbancia blanco} - \text{Absorbancia muestra}}{\text{Absorbancia blanco}} \times 100$$

G. MÉTODOS ESTADÍSTICOS

1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental central compuesto rotatable de segundo orden con un $\alpha = 1.414$, teniendo como variables independientes el contenido de humedad (CH) y el contenido de harina de cáscara de calabaza (CHCC), con cinco niveles cada una

(**Cuadro 2**). Los niveles de los factores de estudio se seleccionaron utilizando información bibliográfica y con los resultados del estudio preliminar realizado. Se optimizó el proceso de extrusión empleando la metodología de superficie de respuesta (MSR) utilizando el método gráfico.

2. Análisis de datos

Se utilizó la metodología 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 2018) versión 11.1.2.0. Las correlaciones de Pearson fueron realizadas utilizando el paquete estadístico Statistica 7.0 (Statsoft 2004).

H. ANÁLISIS SENSORIAL

Fue realizado en los alimentos botana extrudidos que se obtuvieron en las condiciones optimizadas, y en una muestra control, cuya única diferencia con la botana obtenida en condiciones óptimas, es que no presentó en su composición harina de cáscara de calabaza. Fue utilizada una escala hedónica de 9 puntos (en donde 1= me disgusta extremadamente, y 9= me gusta extremadamente) (Lim 2011), utilizándose esta misma escala para los análisis de aceptabilidad por atributos (color, sabor, y textura). Los alimentos botana directamente expandidos fueron cortados en segmentos de alrededor de 5 cm de longitud, y almacenados en bolsas oscuras antes de la realización del análisis sensorial. El estudio se realizó con 120 jueces no entrenados,

Cuadro 2. Diseño experimental central compuesto rotable con 2 factores de estudio: Contenido de humedad (CH) y contenido de harina de cáscara de calabaza (CHCC) ($\alpha= 1.414$).

Tratamientos	CH (%)	CHCC (%)
T1	2.50	22
T2	2.50	30
T3	11.50	22
T4	11.50	30
T5	7	20.34
T6	7	31.66
T7	0.64	26
T8	13.36	26
T9	7	26
T10	7	26
T11	7	26
T12	7	26
T13	7	26

siendo 60 mujeres y 60 hombres, utilizando como criterio que a los evaluadores les gustara consumir alimentos botana. Los productos fueron presentados a los jueces no entrenados aleatoriamente, pidiéndoles que expresaran su aceptabilidad general y por atributos, así como su intención de compra. Se realizó una comparación de medias para los valores de aceptabilidad general, analizándose estadísticamente los datos con la prueba de Fisher (LSD, $p < 0.05$).

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. MÉTODOS ANALÍTICOS

1. Caracterización de las materias primas

a. Composición proximal

En el análisis de composición química de las materias primas (**Cuadro 3**) utilizadas para la producción de los alimentos botana, se encontró que los valores obtenidos de la harina de arroz quebrado fueron similares a los reportados por Ralda y col (2020). Asimismo, la harina de cáscara de calabaza mostró valores humedad y cenizas superiores a los presentados por Jacobo-Valenzuela y col (2011) en cáscara de calabaza. Sin embargo, presentó menores valores de lípidos, fibra cruda, proteínas y carbohidratos a los obtenidos por Jacobo-Valenzuela y col (2011), quienes reportaron valores de 9.37, 8.04, 4.76, 19.36, 12.67 y 55.17 % para humedad, cenizas, lípidos, fibra cruda, proteínas y carbohidratos, respectivamente. En el caso de la harina de garbanzo, esta presentó el mayor contenido de proteínas dentro de las materias primas, siendo este resultado similar a los valores reportados por Marioli-Nobile y col (2013), quienes reportaron valores de 18.46, 5.68, 3.55 y 64.81% para proteínas, lípidos, cenizas y carbohidratos, respectivamente. En el caso de la leche en polvo, los valores son similares a los obtenidos por Ruiz-Armenta y col (2019), quienes reportaron valores de 4.50, 15, 17, 63.5% para cenizas, proteínas, lípidos y carbohidratos, respectivamente.

Cuadro 3. Composición química de las materias primas utilizadas para producir las botanas de segunda generación.

Composición (%)	Harina de arroz quebrado	Harina de cáscara de calabaza	Harina de garbanzo	Leche en polvo
Proteínas**	7.6 ± 0.01	12.6 ± 2.4	18.58 ± 0.22	15.74 ± 0.34
Lípidos**	1.99 ± 0.01	3.41 ± 0.21	6.05 ± 0.2	14.26 ± 0.17
Cenizas**	2.27 ± 0.08	14.62 ± 0.13	1.41 ± 0.02	5.60 ± 0.27
Carbohidratos*	85.79	51.01	58.18	64.4
Fibra cruda**	2.35 ± 0.17	18.36 ± 1.4	15.78 ± 0.29	ND
Humedad**	11.58 ± 0.1	14.05 ± 0.1	11.06 ± 0.1	3.46 ± 0.1

*Calculado por diferencia

** Media ± Desviación estándar

Resultados expresados en base seca

ND: No detectado

2. Propiedades fisicoquímicas de las materias primas

a. Índice de adsorción de agua e índice de solubilidad en agua de las materias primas

En el **Cuadro 4**, se muestran los resultados obtenidos de la determinación de índice de adsorción en agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión. La harina de cáscara de calabaza fue la materia prima que mostró el mayor valor (11.41 ± 0.4 g.a.a./ g.s.s.) de IAA, lo cual podría deberse a su alto contenido de fibra dietaria soluble (pectinas y gomas), de acuerdo a lo reportado por Jacobo-Valenzuela y col (2011). Asimismo, la leche en polvo presentó el mayor valor de ISA, lo cual puede deberse a su alto contenido de azúcares, siendo los valores similares a los reportados por Ruiz-Armenta y col (2019).

b. Parámetros de color

Se realizaron las mediciones de los parámetros de color en las materias primas (**Cuadro 5**), presentando la leche en polvo y harina de arroz quebrado los mayores valores de L^* , lo cual puede atribuirse al color blanquecino presentado por estas materias primas. El valor de L^* presentado por la harina de arroz quebrado es similar al reportado por Panga y col (2018), mientras que, el valor de L^* de la leche coincide con el valor reportado en leche en polvo por Ruiz-Armenta y col (2019). Asimismo, la harina de cáscara de calabaza fue la materia prima que mostró el mayor valor del parámetro b^* , lo cual puede atribuirse a la coloración amarilla-naranja mostrada por este material, debido a su alto contenido de carotenoides. Los valores son parecidos a aquellos obtenidos por Norfezah y col (2011) en harina de cáscara de calabaza.

Cuadro 4. Índice de adsorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de botanas directamente expandidas.

Propiedad	Harina de arroz quebrado	Harina de cáscara de calabaza	Harina de garbanzo	Leche en polvo
IAA (g.a.a./ g.s.s.)	2.11 ± 0.1	11.41 ± 0.4	3.86 ± 0.3	10.06 ± 1.2
ISA (%)	1.47 ± 0.1	13.11 ± 0.3	19.81 ± 0.6	90.28 ± 1.4

*Media ± Desviación estándar

Cuadro 5. Parámetros de color L*, a*, b* de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de botanas directamente expandidas.

Propiedad	Harina de arroz quebrado	Harina de cáscara de calabaza	Harina de garbanzo	Leche en polvo
L*	97.5 ± 0.59	70.19 ± 1.01	88.16 ± 0.66	98.34 ± 1.61
a*	0.07 ± 0.03	-0.35 ± 0.14	0.11 ± 0.10	-4.76 ± 0.14
b*	5.27 ± 0.12	23.31 ± 0.21	21.41 ± 0.35	19.75 ± 0.14

**Media ± Desviación estándar

B. MÉTODOS EXPERIMENTALES

1. Estudio preliminar de extrusión

Fue realizado para determinar los niveles de los factores de estudio utilizados para producir los alimentos botana directamente expandidos. En dicho estudio preliminar, se utilizaron niveles de temperatura de extrusión de 90, 115 y 140°C, velocidad de tornillo de 225, 281 y 337 rpm, contenido de humedad de 16, 22 y 28%, y contenido de harina de cáscara de calabaza de 2, 9 y 16%.

Se obtuvo que al utilizar un contenido de humedad (CH) menor de 18% se presentó dificultad para el flujo de los materiales dentro del extrusor, por lo que se fijaron en el diseño experimental valores de CH en un rango de 20.34 a 31.66%, ya que a mayores niveles de CH ocurre una disminución de la expansión de las botanas, lo que no se desea en estos productos, ya que la expansión uno es de los parámetros de calidad más importantes en las botanas. Para el factor contenido de harina de cáscara de calabaza (CHCC), fue observado que en niveles por encima de 14%, las botanas mostraban bajos valores de expansión, por lo que se fijaron valores de CHCC en el diseño experimental de 0.64% a 13.36%. Asimismo, a partir de este estudio preliminar fue concluido que la temperatura de extrusión (TE) en la zona de salida del extrusor se fijaría en 140°C, ya que en un estudio previo se encontró que a TE superiores se dificultaba el flujo de los materiales en el extrusor, mostrando una coloración oscura. Mientras que, a TE por debajo de 140°C, el índice de expansión disminuía. Asimismo, se fijó un valor de velocidad de tornillo (VT) de 281 rpm, ya que en estas condiciones las botanas presentaban mejores propiedades de expansión.

C. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

En el **Cuadro 6** es mostrado el análisis de varianza para las variables de respuesta fisicoquímicas índice de expansión (IE), densidad Aparente (DA), índice de adsorción de Agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), y los parámetros de color (L^* , a^* , b^* , y ΔE). Los parámetros evaluados mostraron un modelo de significativo ($p < 0.05$), mostrando valores de R^2 ajustada > 0.8 para las variables de respuesta (excepto L^*), sin presentar falta de ajuste ($p > 0.05$). Se obtuvo (**Cuadro 7**) que el factor contenido de humedad (CH) presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en su término lineal sobre las respuestas IE, IAA, ISA, parámetro de color L^* , y parámetro de color b^* . Igualmente, el factor contenido de harina de cáscara de calabaza (CHCC) mostró efecto significativo en su término lineal sobre el ISA, y parámetros de color L^* , a^* , y b^* . En el caso de los términos cuadráticos, CH^2 mostró efecto significativo ($p < 0.05$) sobre IE, densidad aparente (DA), ISA, y el parámetro de color a^* . Por otro lado, $CHCC^2$ presentó efecto significativo sobre ISA, parámetro de color a^* , y parámetro de color b^* . En el análisis de interacciones fue obtenido que la interacción $CH*CHCC$ mostró efecto significativo ($p < 0.05$) sobre los parámetros de color b^* y ΔE .

1. Índice de Expansión (IE)

Las propiedades de expansión de las botanas extrudidas tienen un papel importante en la aceptabilidad del producto final. La relación de expansión de los productos extrudidos busca describir el grado de hinchamiento que sufre la masa cuando sale del

Cuadro 6. Análisis de varianza de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.

Respuesta	R² (Ajustada)	CV (%)	Valor F	p de F (modelo)	Falta de ajuste
IE	0.82	2.18	11.6	0.003	0.208
DA	0.80	3.56	10.67	0.004	0.437
IAA	0.82	3.01	28.2	<0.0001	0.410
ISA	0.98	2.09	102.7	<0.0001	0.055
L*	0.74	1.65	17.86	<0.0001	0.117
a*	0.86	10.53	15.41	<0.0001	0.063
b*	0.94	1.41	36.42	<0.0001	0.415
ΔE	0.83	6.88	12.56	0.002	0.488

CV= Coeficiente de variación; **IE=** Índice de expansión; **DA=** Densidad aparente (kg/m³); **IAA=** Índice de adsorción de agua (g a.a./ g s.s.); **ISA=** Índice de solubilidad en agua (%); **L*** = Luminosidad; **ΔE=** Diferencia total de color.

Cuadro 7. Coeficientes de regresión de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.

	IE	DA	IAA	ISA	L	a*	b*	ΔE
Intercepto	2.04	391.30	8.36	9.54	79.21	-2	22.52	7.22
Lineal								
CH	-0.08 (<0.001)	15.71 (0.01)	-0.65 (<0.001)	-1.34 (<0.001)	1.26 (0.02)	-0.02 (0.63)	-1.19 (<0.001)	-0.6 (<0.01)
CHCC	-0.01 (0.28)	1.84 (0.71)	-0.11 (0.22)	0.45 (<0.001)	-2.47 (<0.001)	0.18 (0.01)	0.78 (<0.001)	-0.36 (0.05)
Cuadrático								
CH	0.08 (<0.001)	-30.83 (<0.001)	--	1.05 (<0.001)	--	0.39 (<0.001)	-0.2 (0.12)	-0.34 (0.08)
CHCC	-0.01 (0.33)	7.61 (0.17)	--	0.46 (<0.001)	--	0.34 (<0.001)	-0.34 (0.02)	-0.96 (<0.001)
Interacciones								
CH*CHCC	0.04 (0.11)	-3.80 (0.58)	--	0.03 (0.78)	--	0.13 (0.15)	0.41 (0.03)	-0.6 (0.02)

CH= contenido de humedad; **CHCC**= contenido de harina de cáscara de calabaza; **IE**= Índice de expansión; **DA**= Densidad aparente (kg/m³); **IAA**= Índice de adsorción de agua (g a.a./ g s.s.); **ISA**= Índice de solubilidad en agua (%); **L***= Luminosidad; **ΔE**= Diferencia total de color.

extrusor, en donde la energía almacenada es liberada, aumentando el nivel de expansión (Yağci & Göğüş, 2008). En el análisis estadístico de la variable de respuesta IE, se utilizó un modelo cuadrático significativo ($p < 0.003$), dando un valor de $R^2_{ajustada}=0.8$, CV = 2.18 %, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.208$) (**Cuadro 6**).

El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 7**) fue el siguiente:

$$IE = 6.580 - 0.313 * CH - 0.051 * CHCC + 0.002 * CH * CHCC + 0.005 * CH^2 - 0.0008 * CHCC^2$$

En la **Figura 7** se muestra el efecto del CH y del CHCC sobre los valores de IE de los alimentos botana directamente expandidos. Puede observarse que los mayores valores de IE (> 2.2) fueron presentados combinando valores bajos de CH ($< 23\%$) con niveles bajos y medios de CHCC. Este comportamiento pudo deberse a que en bajos CH se presentó una mayor modificación en la estructura del almidón debido a la alta fricción presentada en el extrusor, incrementando las interacciones almidón-agua, aumentando la expansión de los productos. Asimismo, puede observarse que a bajos CH ($< 3\%$) conforme se incrementó el CHCC ($> 10\%$), los valores de IE disminuyeron, lo cual pudo deberse al alto contenido de fibra de la CHCC, provocando el colapso de las burbujas de aire. Un comportamiento similar, fue reportado por Makoswka y col (2017), quienes elaboraron botanas extrudidas a base de maíz adicionadas con soya, mostrando una disminución del IE al aumentar el contenido de soya. De igual manera, Navarro-Cortez y col (2018) elaboraron botanas directamente expandidas con bagazo de naranja, encontrando altos IE a bajas concentraciones de bagazo de naranja.

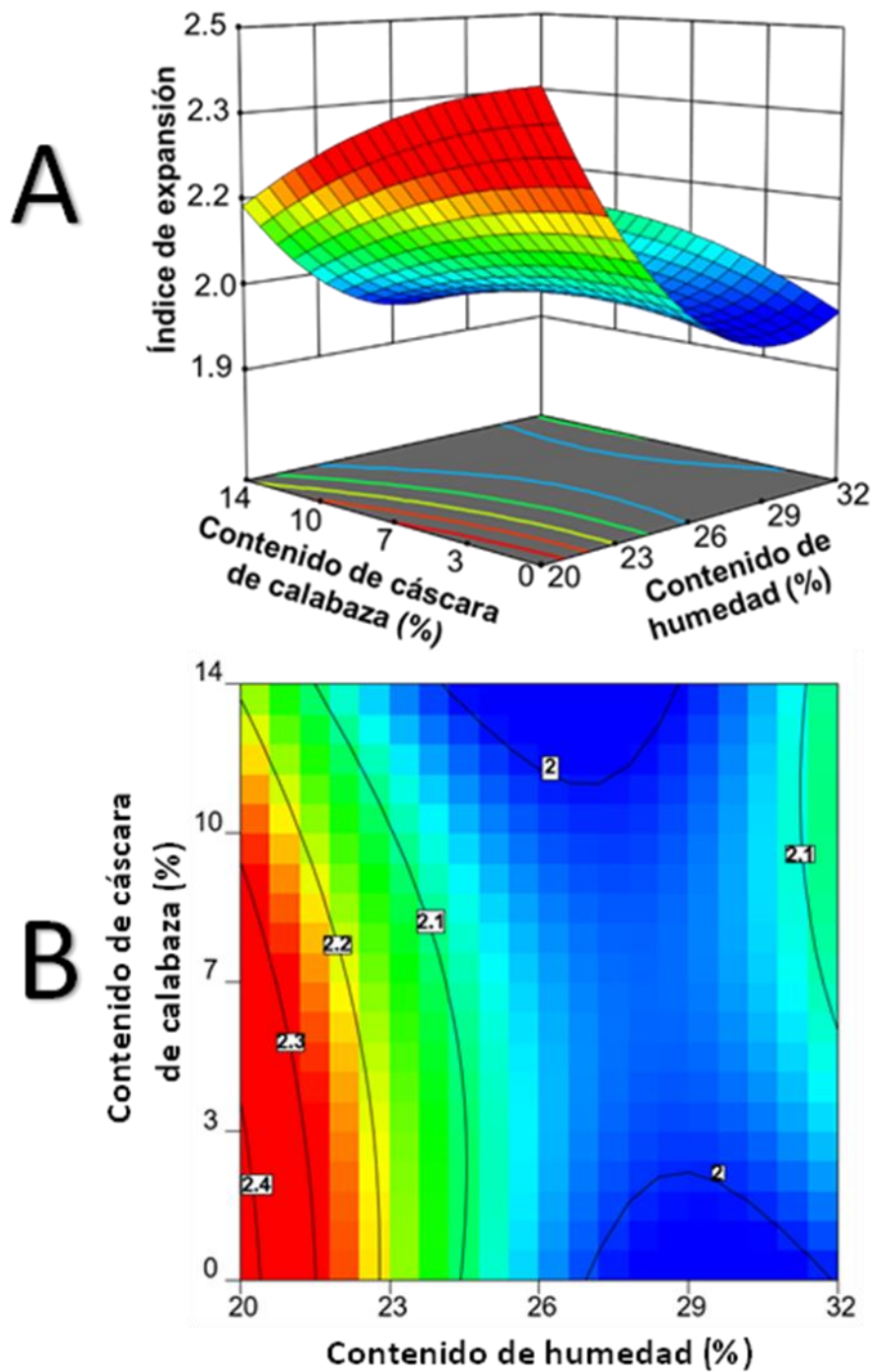


Figura 7. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el índice de expansión (IE) de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

Asimismo, Promsakha na Sakon Nakhon y col (2018) quienes elaboraron botanas extrudidas directamente a base de harina de calabaza y arroz integral germinado encontrando que el alto contenido de fibra de la calabaza tuvo un efecto sobre la reducción del tamaño y el número de celdas de aire internas debido a la ruptura prematura de las celdas de aire o la inhibición del hinchamiento de la matriz de almidón durante el proceso de extrusión. Algarni y col (2019) observaron un comportamiento similar en botanas extrudidas a base de arroz quebrado y harinas de lupino dulce, observando una reducción en la tasa de expansión a medida que se añadía harina de lupino dulce en las muestras extrudidas.

2. Densidad aparente (DA)

Para el análisis de esta variable de respuesta, densidad aparente (DA), se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.003$), presentando un valor de $R^2_{ajustada} = 0.88$ y $CV = 3.56\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.436$) (**Cuadro 6**). A continuación, se muestra el modelo matemático completo obtenido (**Cuadro 7**):

$$DA = -1034.644 + 105.480 * CH + 0.637 * CHCC - 0.211 * CH * CHCC - 1.924 * CH^2 + 0.376 * CHCC^2$$

En la **Figura 8** se muestra el efecto del CH y del CHCC sobre los valores de DA en los alimentos botana. Puede observarse que los menores valores de DA ($< 320 \text{ kg/m}^3$) fueron obtenidos a bajos niveles de CH ($< 23\%$) combinados con bajos CHCC ($< 7\%$). Este comportamiento puede deberse a una mayor gelatinización del almidón a bajos CH, ocurriendo una alta expansión y baja DA. Esta esta variable de respuesta presentó

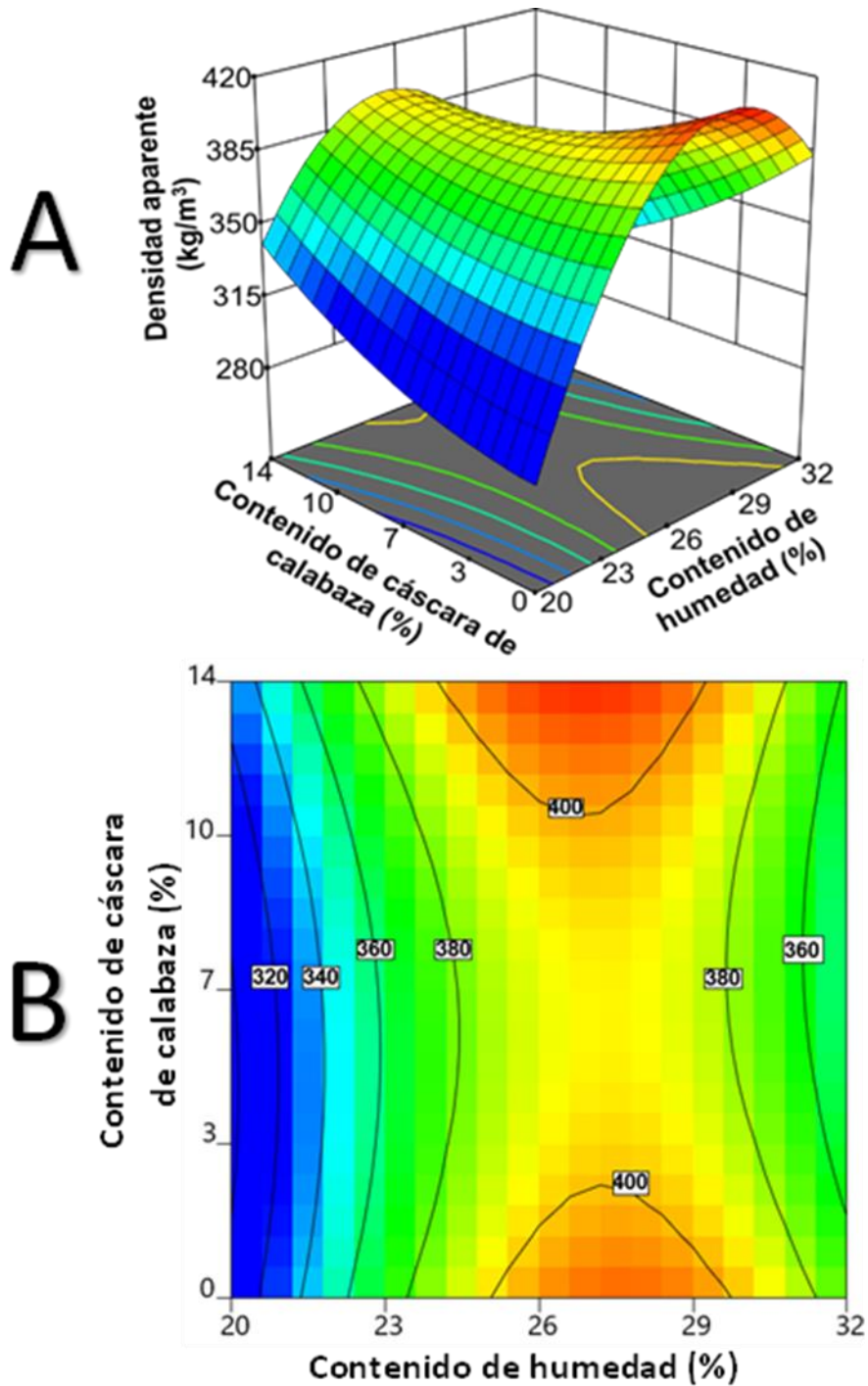


Figura 8. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de Calabaza (CHCC) sobre la densidad aparente (DA) de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

una moderada correlación inversa, ($r = -0.83$, $p = 0.0001$) con el IE. Potter y col (2013) reportaron que estas dos variables de respuesta, densidad aparente e índice de expansión, se encuentran inversamente relacionadas, ya que, al aumentar la densidad aparente del producto, disminuye la expansión.

Pardhi y col (2017) reportaron que la humedad tiene un efecto plastificante en alimentos que contienen almidón, lo que reduce su viscosidad y la disipación de energía mecánica en el extrusor, y consecuentemente aumenta la densidad del producto, mientras se comprime el crecimiento de burbujas, bajando la expansión.

Félix-Medina y col (2020) reportaron que al aumentar el contenido de frijol en los productos extrudidos los valores de densidad aparente y dureza aumentaban, reportando que un aumento en la fuerza máxima de penetración denota una mayor resistencia de las paredes de los alvéolos al rompimiento, así como una menor expansión. Algarni y col (2019) reportaron en botanas extrudidas elaboradas a base de arroz quebrado adicionadas con harina de lupino, que el aumento del nivel de harina de lupino en los productos extrudidos causó un aumento en los valores de densidad aparente. Dichos autores mencionaron que este aumento podría deberse a la presencia de fibra y proteína en estas condiciones, lo que podría tener influencia sobre el grado de gelatinización del almidón y propiedades reológicas de los materiales dentro del extrusor.

3. Índice de adsorción de agua (IAA)

El IAA puede utilizarse como un indicador de la capacidad de adsorción de agua del almidón y puede ser usado como indicador de la gelatinización (Neder-Suárez y col 2021).

Para analizar esta variable de respuesta, se utilizó un modelo lineal, el cual fue significativo ($p < 0.001$), presentando un valor de $R^2_{ajustada} = 0.82$, $CV = 3.01\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.41$) (**Cuadro 6**). El modelo matemático obtenido (**Cuadro 7**) se presenta a continuación:

$$IAA = 12.814 - 0.164 * CH - 0.025 * CHCC$$

En la **Figura 9** se muestra el efecto del CH y del CHCC sobre los valores de IAA de los alimentos botana directamente expandidos. Puede apreciarse que los valores máximos de IAA (> 9 g.a.a./ g.s.s.) fueron obtenidos en condiciones bajas de CH ($< 23\%$) en todo el rango de CHCC. En el actual estudio fue presentada alta correlación negativa ($r = -0.90$; $p = 0.0001$) con el factor de estudio CH. Este comportamiento puede atribuirse a que en estas condiciones por efecto de los bajos CH se presentó alta fricción dentro del extrusor mostrándose una mayor modificación de polímeros presentes en las materias primas, tales como el almidón, permitiendo una mayor exposición de los grupos hidrofílicos lo que permitió una mayor adsorción de agua. Este comportamiento es similar al reportado por Delgado-Nieblas y col (2015) en alimentos botana obtenidos mediante extrusión utilizando almidón de maíz, maíz amarillo y pulpa de calabaza deshidratada. Sofi-Sajad y col (2018) mencionan que un cambio en la composición de los alimentos y contenido de humedad pueden aumentar el índice de absorción de agua. Asimismo, el IAA mostró una moderada correlación positiva ($r = 0.63$; $p = 0.021$) con la variable de respuesta IE. Esto puede deberse a que un aumento en el IAA puede ser indicador de una mayor gelatinización del almidón, lo cual se ha correlacionado con un aumento en la expansión de los productos extrudidos.

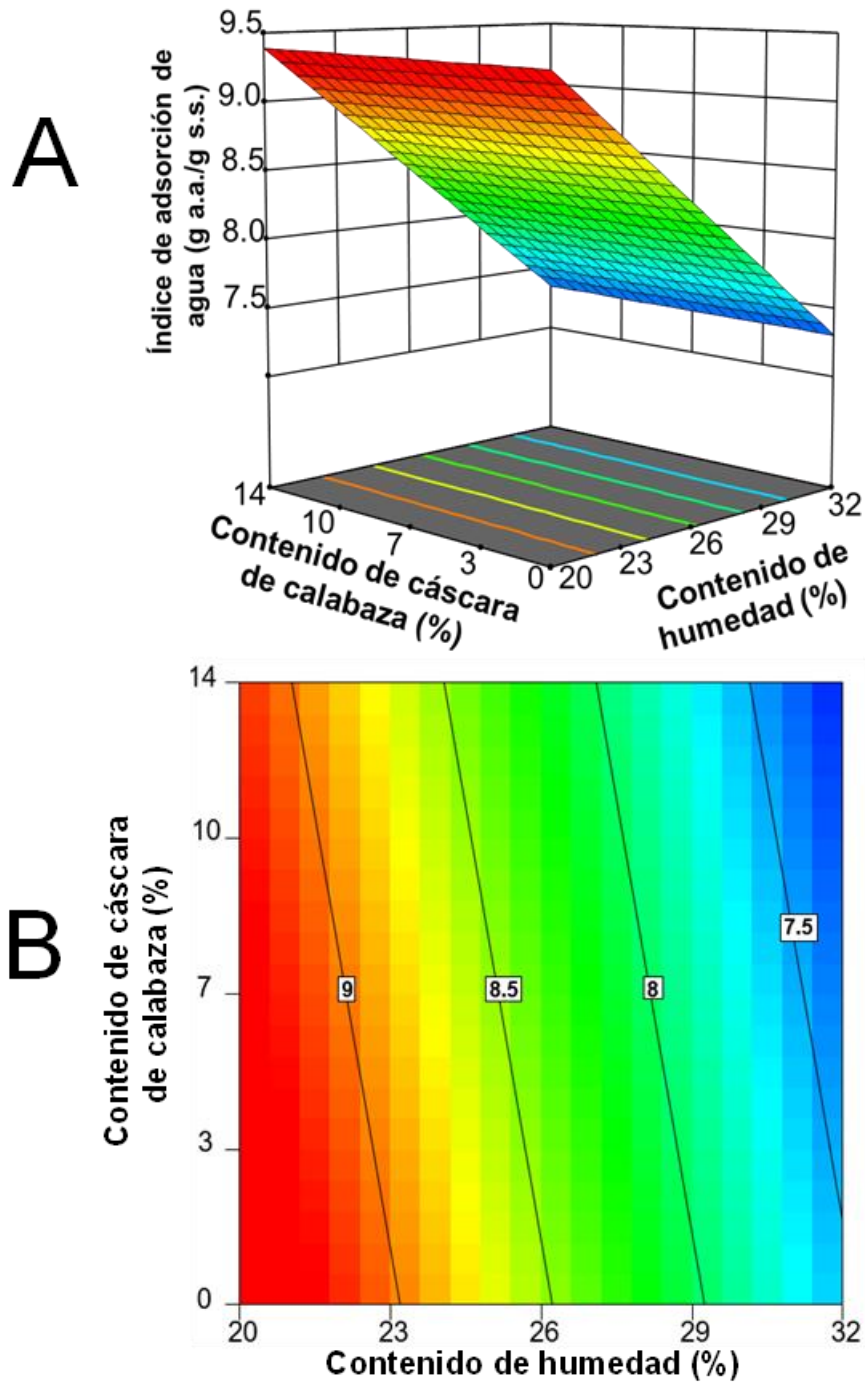


Figura 9. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el índice de adsorción de agua (IAA) de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

Neder-Suárez y col (2021) mostraron un comportamiento similar en botanas extrudidas, donde al disminuir el contenido de humedad aumentaron los valores de IAA, mencionando que este comportamiento se debe al grado de gelatinización del almidón en las mezclas de harinas utilizadas.

4. Índice de solubilidad en agua (ISA)

El ISA es un parámetro utilizado para determinar el nivel de degradación de los componentes moleculares, principalmente del almidón y fibra por efecto del proceso de extrusión (Gopirajah and Muthukumarappan, 2018). Para el análisis de esta variable de respuesta, se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.001$), presentando un valor de $R^2_{ajustada} = 0.98$, $CV = 2.09\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.054$) (**Cuadro 6**). El modelo matemático obtenido (**Cuadro 7**) fue el siguiente:

$$ISA = 63.189 - 3.746 * CH - 0.268 * CHCC + 0.001 * CH * CHCC + 0.0653 * CH^2 + 0.023 * CHCC^2$$

En la **Figura 10** puede observarse el efecto del CH y del CHCC sobre los valores de ISA de los alimentos botana de segunda generación. Puede apreciarse que los mayores valores de ISA ($> 13\%$) fueron obtenidos a bajos CH ($< 23\%$) en todo el rango de CHCC. Este comportamiento puede atribuirse a que en estas condiciones por efecto de una alta fricción dentro del extrusor se pudieron despolimerizar moléculas de alto peso molecular, como las de almidón y fibra, generando azúcares de bajo peso molecular con mayor solubilidad en agua. Este comportamiento es similar al reportado

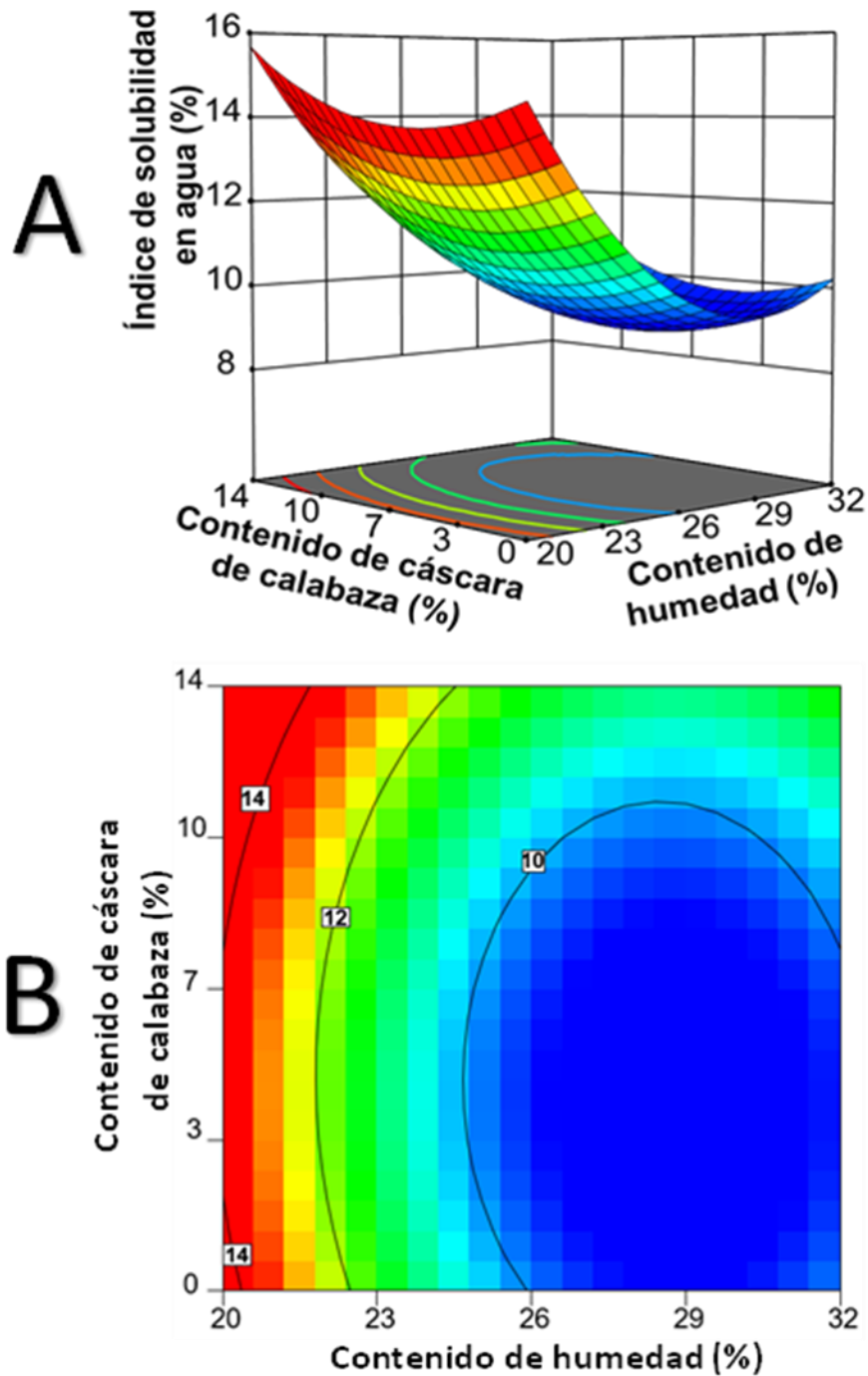


Figura 10. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el índice de solubilidad en agua (ISA) de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

por Makowska y col (2017) en alimentos botana directamente expandidos obtenidos a partir del proceso de extrusión. Neder-Suárez y col (2021) mencionan que el aumento de la solubilidad puede atribuirse a la dextrinización durante el proceso de extrusión, que incrementó el porcentaje de componentes hidrosolubles. Esta respuesta mostró una correlación negativa moderada ($r = -0.76$; $p = 0.002$) con el factor de estudio CH, ya que al aumentar CH disminuye la severidad del proceso y la degradación de macromoléculas. Asimismo, este parámetro, mostró correlaciones positivas con las variables de respuesta IE ($r = 0.74$; $p = 0.004$), DA ($r = 0.69$; $p = 0.009$) e IAA ($r = 0.62$; $p = 0.024$).

5. Parámetro de color L*

El color de las botanas es una característica muy importante para su comercialización, influyendo sobre este parámetro las materias primas que componen su formulación. Un valor más bajo para el parámetro de color L* puede relacionarse a un color más oscuro de la harina (Carvalho y col 2012). Para el análisis estadístico del parámetro de color L* se utilizó un modelo matemático lineal, siendo significativo ($p < 0.005$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.74$, $CV = 1.65\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.117$) (**Cuadro 6**).

El modelo matemático obtenido (**Cuadro 7**) se presenta a continuación.

$$L^* = 74.863 + 0.314 * CH - 0.548 * CHCC$$

La **Figura 11** muestra los efectos del CH y CHCC en los valores del parámetro de color L^* o luminosidad. Se puede observar cómo al incrementar el CHCC ($> 7\%$) se presentó una disminución de los valores del parámetro L^* (< 78). Este comportamiento puede deberse a una coloración más oscura de la harina de calabaza ($L^* > 70$) comparada con las restantes materias primas que se utilizaron para la producción de las botanas. Asimismo, este comportamiento puede atribuirse al alto contenido de azúcares presentes en la cáscara de calabaza, los cuales pudieron haber participado en reacciones de oscurecimiento de Maillard. Asimismo, puede observarse a bajos CHCC ($< 7\%$) y altos CH ($> 26\%$), los valores de L^* aumentaron, lo cual podría deberse al efecto lubricante de la humedad que causó una disminución de la viscosidad y del tiempo de residencia de los materiales dentro del extrusor, generando menor daño termomecánico y provocando menores reacciones de oscurecimiento. Este comportamiento coincide con el reportado por Delgado-Murillo (2019) en alimentos extrudidos adicionados con bagazo de noni. Por lo anterior, el parámetro de color L^* mostró una correlación negativa ($r = -0.79$; $p = 0.001$) con el factor de estudio CHCC. Algarni y col (2019) reportaron un comportamiento similar en botanas extrudidas, presentándose menores valores de L^* al adicionar harina de camote en las mezclas con harina de arroz quebrado.

6. Parámetro de color a^*

Para el parámetro de color a^* , se utilizó un modelo cuadrático, siendo significativo ($p < 0.012$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.86$, $CV = 10.53\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.062$) (**Cuadro 6**).

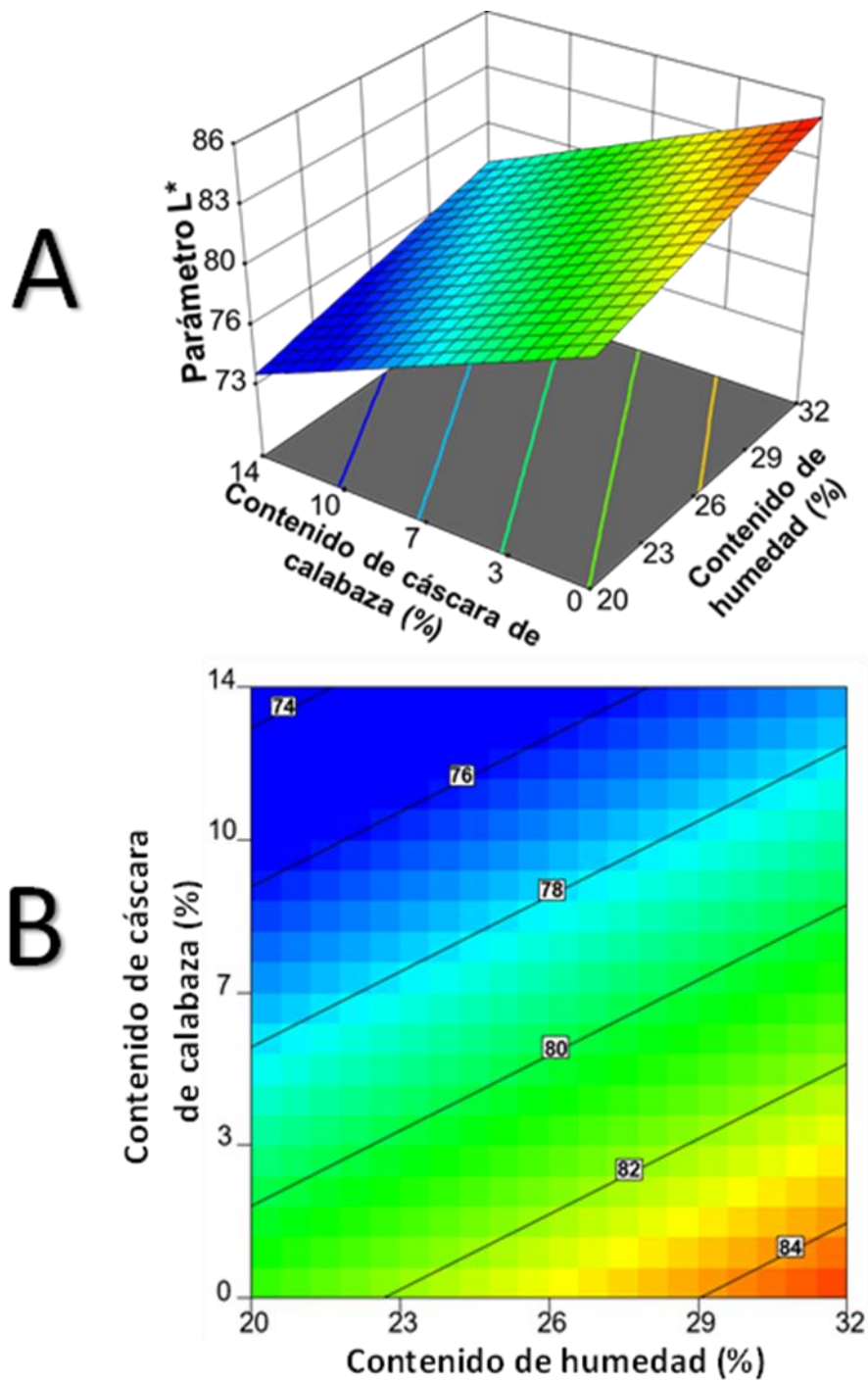


Figura 11. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el parámetro de color L^* de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

El modelo matemático obtenido (**Cuadro 7**) es mostrado a continuación.

$$a^* = 16.766 -1.344 * CH -0.384 * CHCC + 0.007 * CH * CHCC + 0.024 * CH^2 + 0.017 * CHCC^2$$

La **Figura 12** presenta los efectos del CH y del CHCC en los valores del parámetro a^* de los alimentos botana. Se puede observar que tanto a niveles altos y bajos de CH y CHCC se muestran los mayores valores del parámetro a^* que va de verde, para valores negativos, a rojo para valores positivos. Esto se puede deber a que la coloración de la cáscara de calabaza presentaba una mayor coloración anaranjada-amarillenta y anaranjada-rojiza, debido a la presencia de compuestos carotenoides quienes proporcionan esta coloración. Promsakha y col (2018) obtuvieron un comportamiento similar en extrudidos de arroz y harina de calabaza, donde el color se vió afectado tanto por la cantidad de calabaza como por la humedad del alimento.

7. Parámetro de color b^*

Para el parámetro de color b^* , se utilizó un modelo cuadrático, el cuál fue significativo ($p < 0.001$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.94$, $CV = 1.41\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.414$) (**Cuadro 6**).

El modelo matemático completo obtenido (**Cuadro 7**) es el siguiente:

$$b^* = 23.497 +0.222 * CH -0.179 * CHCC +0.023 * CH * CHCC -0.013 * CH^2 -0.017 * CHCC^2$$

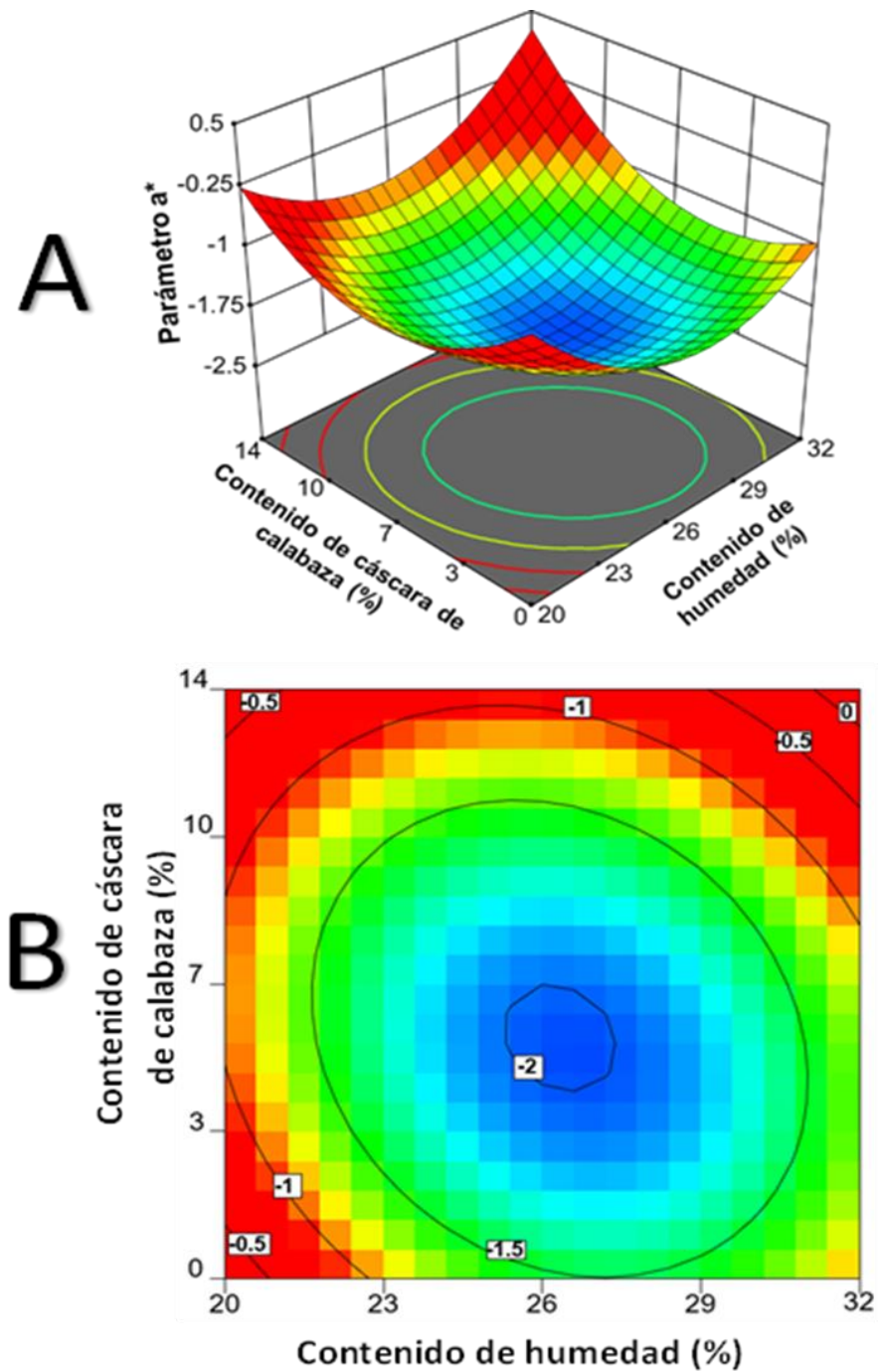


Figura 12. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el parámetro de color a^* de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

En la **Figura 13** se muestra el efecto del CH y del CHCC sobre los valores del parámetro b^* de color de los alimentos botana. Puede observarse que los mayores valores de b^* (> 23) fueron presentados a bajos niveles de CH ($< 23\%$) combinados con altos CHCC ($> 3\%$). Esto podría deberse a la coloración amarilla presentada por la cáscara debido a la presencia de los pigmentos carotenoides (Jacobó-Valenzuela y col 2011). El parámetro b^* de color presentó una correlación negativa ($r= -0.80$; $p=0.001$) con el parámetro L^* , ya que L^* disminuyó al aumentar el factor CHCC, mientras que b^* aumentó. Coutinho y col (2013) reportaron un comportamiento similar en botanas extrudidas elaboradas a partir de subproductos de arroz y soya, mostrándose reacciones de pardeamiento no enzimático a bajos CH durante el procesamiento, reportando que la intensidad del amarillo generalmente aumentó.

8. Diferencia total de color (ΔE)

ΔE indica cambios de color entre muestras sin procesar y procesadas, y puede brindar información sobre el grado de reacciones de oscurecimiento, tales como la reacción de Maillard, grado de cocción, caramelización y degradación de pigmentos, que podrían llevarse a cabo durante el proceso de extrusión (Altan, McCarthy, & Maskan, 2008).

Para el análisis estadístico del parámetro ΔE , se utilizó un modelo cuadrático, siendo significativo ($p < 0.002$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.83$, $CV = 6.88\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.488$) (**Cuadro 6**). El modelo matemático completo obtenido (**Cuadro 7**) es mostrado a continuación:

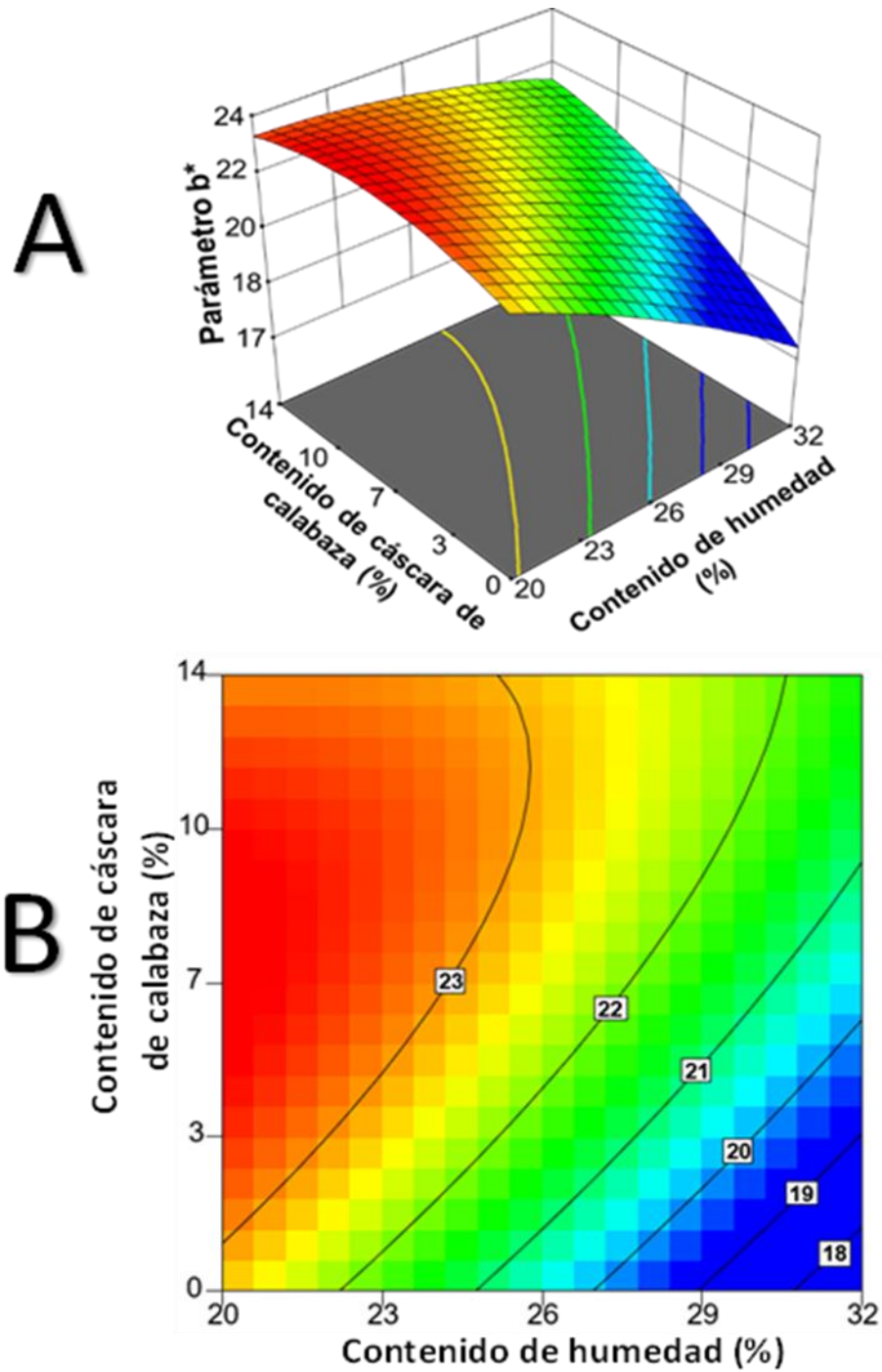


Figura 13. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el parámetro de color b^* de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

$$\Delta E = +1.030 + 0.723 * CH - 0.278 * CHCC + 0.033 * CH * CHCC - 0.021 * CH^2 - 0.047 * CHCC^2$$

En la **Figura 14** se muestra el efecto del CH y del CHCC sobre los valores del parámetro ΔE . Puede observarse que los mayores valores (> 6) se presentaron a bajos niveles de CH ($> 26\%$) y niveles bajos a medios de CHCC ($< 7\%$). Este comportamiento puede deberse a que los altos niveles de humedad permitieron disminuir la fricción dentro del extrusor, disminuyendo las reacciones de oscurecimiento y pérdida de pigmentos, principalmente carotenoides, causando menores diferencias de L^* y b^* entre las muestras sin extrudir y las muestras extrudidas, disminuyendo ΔE (Delgado-Nieblas y col 2012).

Igualmente, a altos niveles de CHCC disminuyeron los valores de ΔE posiblemente debido al efecto lubricante de la fibra dietaria soluble (gomas y pectinas) presentes en la calabaza, disminuyendo la fricción y reduciendo el tiempo de residencia de los materiales dentro del extrusor.

Este comportamiento coincide con el reportado por Ruiz-Armenta y col (2017), quienes reportaron para botanas extrudidas que los altos valores de ΔE obtenidos en los tratamientos con bajos niveles de CH podrían deberse a un mayor tiempo de residencia de las muestras debido a la alta fricción que se presenta dentro del extrusor. Por lo anterior, reacciones de Maillard o caramelización podrían haber producido mayor pardeamiento del material extrudido en comparación con los materiales sin extrudir, aumentando así los valores de ΔE .

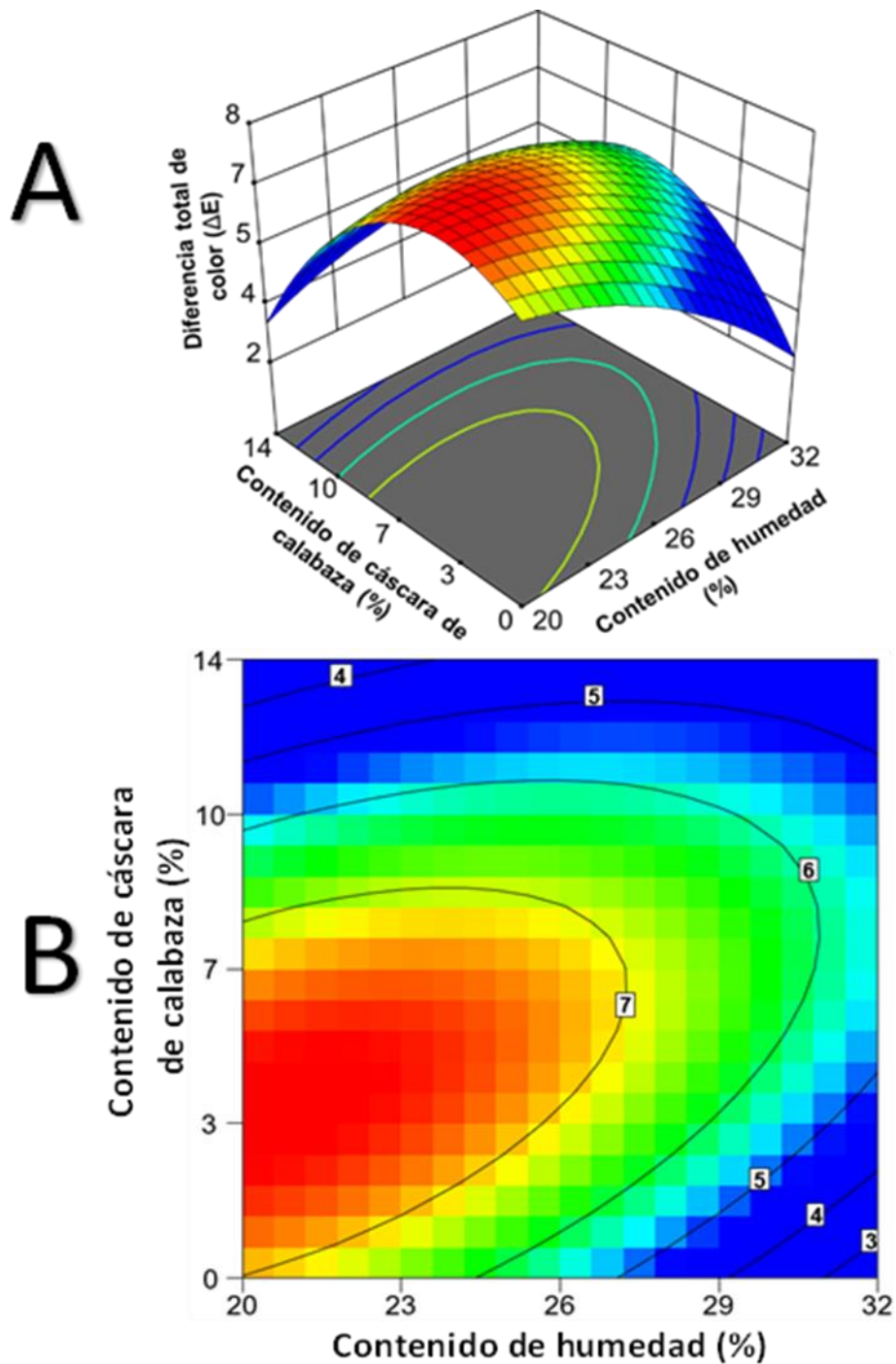


Figura 14. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la diferencia total de color (ΔE) en alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

D. PARÁMETROS FITOQUÍMICOS

El **Cuadro 8** presenta el análisis de varianza de las variables de respuesta contenido de carotenoides totales (CT), compuestos fenólicos totales (CFT), compuestos fenólicos libres (CFLib), y compuestos fenólicos ligados (CFLig). Los modelos matemáticos utilizados para las distintas variables fueron significativos ($p < 0.01$), mostrando $R^2_{ajustada} \geq 0.84$, $CV \leq 10.35\%$, y ninguna variable de respuesta presentó falta de ajuste ($p > 0.05$). Se obtuvo (**Cuadro 9**) que el factor CH presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en su término lineal sobre las variables de respuesta CFT, CFLib y CFLig.

Igualmente, el factor CHCC mostró efecto significativo en su término lineal sobre las variables de respuesta CT, CFT y CFLib. En el caso de los términos cuadráticos CH^2 mostró efecto significativo ($p < 0.05$) sobre CFT y CFLib. Por otro lado, $CHCC^2$ presentó efecto significativo sobre CFT, CFLib y CFLig. En el análisis de interacciones, se obtuvo que la interacción $CH*CHCC$ mostró efecto significativo ($p < 0.05$) sobre CFT, CFLib y CFLig.

1. Contenido de carotenoides totales (CT)

La calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata* D.) es una hortaliza cuyo color varía del amarillo intenso al naranja, lo que revela su alto contenido de carotenoides, principalmente β -caroteno (Jacobo-Valenzuela y col 2011).

En el análisis del contenido de CT de las materias primas que se utilizaron en la producción de los alimentos botana, fue encontrado que la harina de cáscara de calabaza (HCC) presentó un valor de CT de $88 \pm 0.36 \mu\text{g}$ de CT/ g bs. Por otro lado,

Cuadro 8. Análisis de varianza para los parámetros fitoquímicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.

Respuesta	R² (Ajustada)	CV (%)	Valor F	p de F (modelo)	Falta de ajuste
CT	0.84	10.35	31.39	<0.0001	0.344
CFT	0.94	4.21	40.81	<0.0001	0.567
CFLib	0.95	8.19	48.11	<0.0001	0.583
CFLig	0.91	1.61	24.01	0.0003	0.094

CT= carotenoides totales (µg de CT/ g); **CFT**= compuestos fenólicos totales (mg EAG/ g bs); **CFLib**= compuestos fenólicos del extracto libre (mg EAG/g bs); **CFLig**= compuestos fenólicos del extracto ligado (mg EAG/g bs).

Cuadro 9. Coeficientes de regresión de los parámetros fitoquímicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.

	CT	CFT	CFLib	CFLig
Intercepto	7.04	2.31	0.78	1.53
Lineal CH	0.53 (0.06)	0.28 (<0.001)	0.21 (<0.001)	0.06 (<0.001)
CHCC	1.97 (<0.001)	0.15 (<0.01)	0.16 (<0.01)	-0.01 (0.23)
Cuadrático CH	--	0.37 (<0.001)	0.37 (<0.001)	-0.003 (0.73)
CHCC	--	0.37 (<0.001)	0.4 (<0.001)	-0.03 (<0.01)
Interacciones CH*CHCC	--	0.23 (<0.01)	0.15 (0.01)	0.07 (<0.001)

CH= contenido de humedad; **CHCC**= contenido de harina de cáscara de calabaza; **CT**= carotenoides totales (μg de CT/ g); **CFT**= compuestos fenólicos totales (mg EAG/ g bs); **CFLib**= compuestos fenólicos del extracto libre (mg EAG/g bs); **CFLig**= compuestos fenólicos del extracto ligado (mg EAG/g bs).

la harina de garbanzo mostró un valor de CT de 12.09 ± 0.59 μg de CT/ g bs, mientras que, la harina de arroz quebrado presentó un valor de CT de 1.37 ± 0.12 μg de CT/ g bs. Para la respuesta de CT, se utilizó un modelo lineal significativo ($p < 0.001$), presentando un valor de $R^2_{\text{ajustada}} = 0.84$, $\text{CV} = 10.35\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.343$) (**Cuadro 8**).

El modelo completo obtenido (**Cuadro 9**) fue el siguiente:

$$\text{CT} = 0.509 + 0.133 * \text{CH} + 0.437 * \text{CHCC}$$

En la **Figura 15** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre los valores de CT de los alimentos botana. Puede observarse que los mayores valores (> 10 μg de CT/ g) fueron obtenidos combinando altos CH ($>26\%$) con altos CHCC ($> 10\%$). Este comportamiento puede atribuirse a que en niveles altos de CH disminuyó el cizallamiento dentro del extrusor, reduciendo la fricción y tiempo de residencia, causando menor degradación de los compuestos carotenoides. Esto coincide con lo reportados por diferentes autores quienes mencionan que el contenido de humedad presenta un efecto lubricante, disminuyendo la viscosidad y fricción dentro del extrusor. Delgado-Nieblas y col (2015) reportaron una tendencia parecida al producir botanas indirectamente expandidas utilizando almidón de maíz, maíz amarillo y harina de calabaza. En dicho trabajo, fue encontrado que un aumento del contenido de harina de calabaza incrementó los valores de CT. Pinho y col (2021) mencionan que la extrusión con alta humedad reduce la temperatura y la viscosidad dentro del extrusor, minimizando la degradación de los carotenoides.

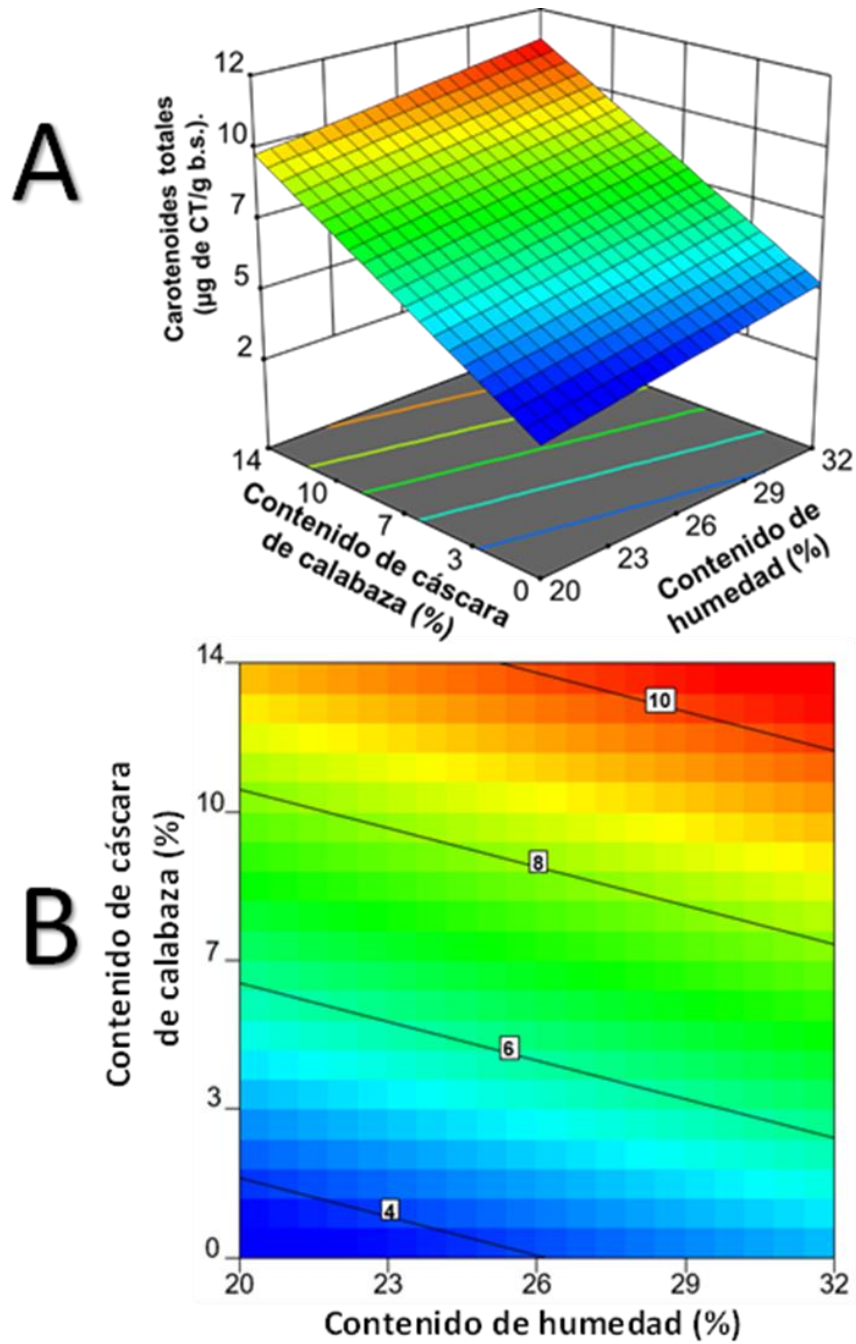


Figura 15. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el contenido de carotenoides totales (CT) de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

Asimismo, los mayores valores de CT en altos niveles de CHCC pueden deberse al mayor contenido de CT que se encuentran en esta, en relación a las restantes materias primas utilizadas.

2. Compuestos fenólicos totales (CFT)

Dentro de las materias primas utilizadas para producir los alimentos botana, fue encontrado que la harina de cáscara de calabaza (HCC) mostró los mayores valores de CFT, presentando un contenido de CFT de 18.88 ± 1.13 mg EAG/g b.s., seguido de la harina de garbanzo, la cual tuvo un valor de CFT de 7.37 ± 0.12 mg EAG/g b. s. Asimismo, la harina de arroz quebrado presentó el valor más bajo de CFT, siendo de 1.02 ± 0.06 mg EAG/g b.s. Para esta variable de respuesta CFT, se utilizó un modelo cuadrático significativo ($p < 0.0001$), presentando un valor de $R^2_{ajustada} = 0.94$, $CV = 4.21\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.567$) (**Cuadro 8**).

El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 9**) fue el siguiente:

$$\text{CFT} = +19.374 - 1.240 \cdot \text{CH} - 0.563 \cdot \text{CHCC} + 0.013 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} + 0.023 \cdot \text{CH}^2 + 0.018 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 16** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre los valores de CFT de los alimentos botana. Puede observarse que los valores máximos (>4 mg EAG/g b.s.) fueron obtenidos en niveles elevados de CH ($>29\%$) combinados con altos CHCC ($>10\%$). Los CFT presentaron una correlación positiva de Pearson con el factor CH ($r = 0.73$; $p = 0.002$).

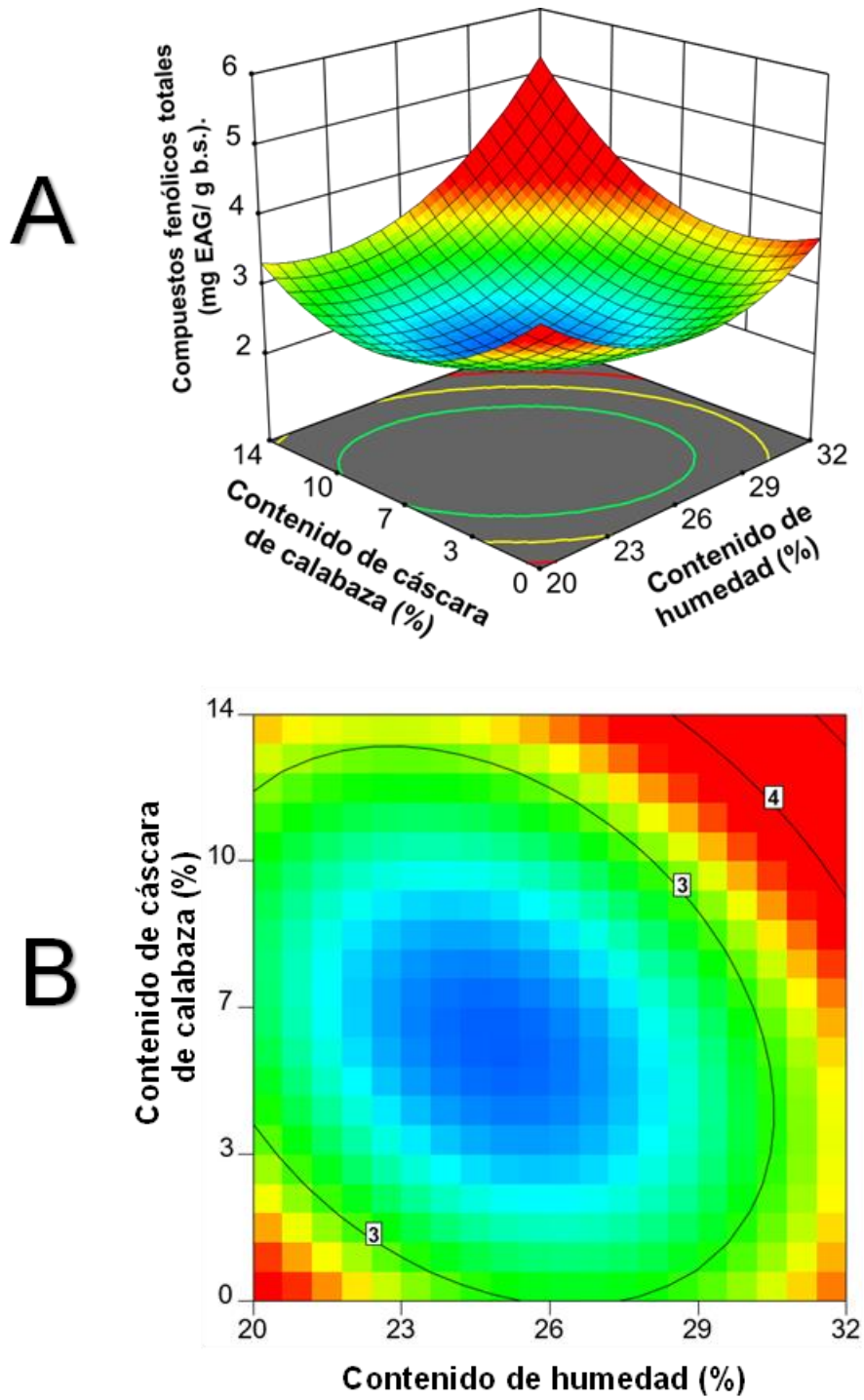


Figura 16. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el contenido de compuestos fenólicos totales de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

Este comportamiento puede ser atribuido al efecto lubricante que presentó el CH reduciendo el tiempo que permanecieron los materiales en el interior del extrusor, permitiendo disminuir el daño termomecánico de los compuestos fenólicos. Este comportamiento coincide con el reportado por Brennan y col (2011), quienes mencionan que altos niveles de humedad presentan un efecto protector sobre estos compuestos, disminuyendo su degradación. Neder-Suarez y col (2021) reportaron un comportamiento similar en alimentos botana indirectamente expandidos elaborados por extrusión, reportando que, al aumentar el CH, se presentó una mayor extractabilidad de los CFT. Asimismo, puede observarse en condiciones de bajos CH y CHCC altos valores de CFT. Esto puede atribuirse a que en estas condiciones de baja humedad se presentó una alta fricción dentro del extrusor, la cual pudo haber liberado compuestos fenólicos que estaban en forma ligada, principalmente aportados por el arroz y el garbanzo.

Diferentes autores como Delgado-Nieblas y col (2019) han mencionado que los compuestos fenólicos en cereales están mayormente en forma ligada, los ácidos fenólicos, principalmente el ácido ferúlico, y el ácido *p*-cumárico son los principales compuestos presentes en la capa de salvado de los granos, estando en su mayoría unidos covalentemente con polímeros insolubles. Asimismo, el aumento de los CFT al incrementar el CHCC puede deberse al mayor contenido de CFT presentado en la cáscara de calabaza en relación al encontrado en las restantes materias primas que se utilizaron para la obtención de las botanas.

3. Compuestos fenólicos libres (CFLib)

Para la variable de respuesta CFLib, se utilizó un modelo cuadrático significativo ($p < 0.001$), presentando un valor de $R^2_{ajustada} = 0.95$, $CV = 8.19\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.583$) (**Cuadro 8**). El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 9**) fue el siguiente:

$$\text{CFLib} = 17.722 - 1.238 \cdot \text{CH} - 0.472 \cdot \text{CHCC} + 0.008 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} + 0.023 \cdot \text{CH}^2 + 0.020 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 17** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre los valores del contenido de CFLib en botanas directamente expandidas. Puede observarse que son presentados altos valores en diferentes condiciones de procesamiento. Los altos valores de CFLib en condiciones de bajos CH ($< 23\%$) combinados con bajos CHHC ($< 3\%$) pueden deberse a una liberación de compuestos fenólicos en estas condiciones, en donde fue presentado alto contenido de arroz quebrado y garbanzo. Se ha reportado que los CFLib aumentan por efecto del procesamiento mediante extrusión debido a su liberación por la destrucción de paredes celulares que los contienen (Brennan y col 2011; Espinoza-Moreno y col 2016). Asimismo, se presentaron altos valores de CFLib a elevados niveles de CHCC, lo cual puede deberse al alto contenido de CFLib en la materia prima HCCC (12.48 ± 0.52 mg EAG/g b.s.), comparado con los valores de CFLib presentados por las restantes materias primas utilizadas.

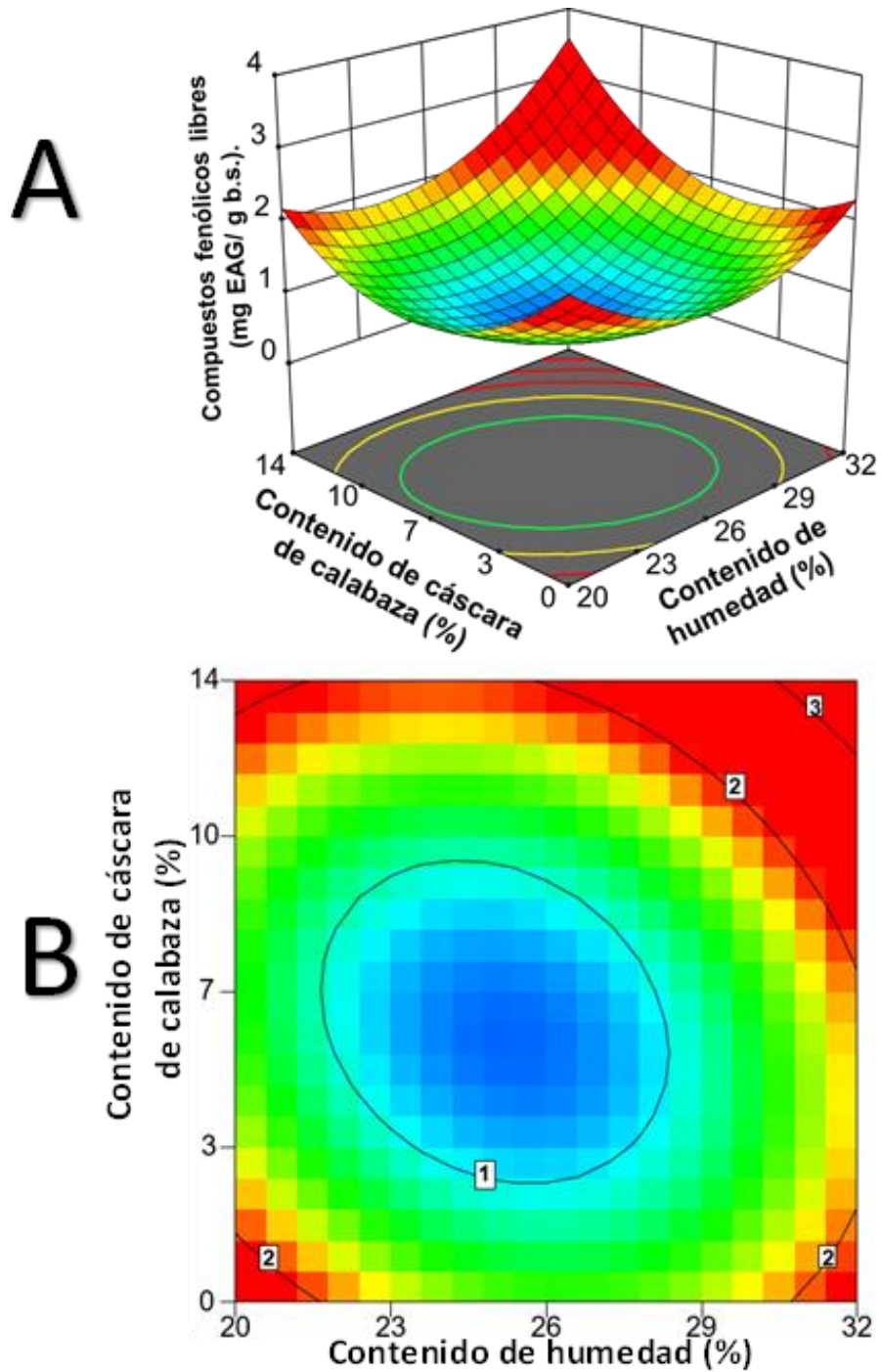


Figura 17. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el contenido de CFLib de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

4. Compuestos fenólicos ligados (CFLig)

Para la variable de respuesta CFLig, se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.001$), se obtuvo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.91$, $CV = 1.61\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.093$) (**Cuadro 8**). El modelo cuadrático completo obtenido fue el siguiente:

$$\text{CFLig} = 1.651 - 0.002 \cdot \text{CH} - 0.090 \cdot \text{CHCC} + 0.004 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} - 0.0001 \cdot \text{CH}^2 - 0.001 \cdot \text{CHCC}^2$$

La **Figura 18** presenta los efectos de los factores de estudio CH y CHCC en los valores de CFLig de los alimentos botana directamente expandidos. Puede observarse que los mayores valores (> 1.4 mg EAG/g b. s.) se presentaron en condiciones de altos CH ($> 29\%$) y CHHC ($> 7\%$), lo cual puede ser atribuido al mayor contenido de CFLig en la materia prima harina de cáscara de calabaza en relación a las restantes materias primas, que ya ha sido previamente mencionado. Asimismo, los mayores valores de CFLig se presentaron en condiciones de bajos CH ($< 23\%$) y bajos CHCC ($> 3\%$). Este comportamiento puede deberse a una mayor liberación de compuestos fenólicos en estas condiciones de bajos CH y alto cizallamiento, aumentando CFLig. Debido a que a bajos CHCC se presentó un mayor contenido de arroz y garbanzo, aportando sus compuestos fenólicos en forma ligada (Sheng-Gong y col 2020); Ma y col (2020) reportaron alta presencia de compuestos fenólicos ligados en el arroz.

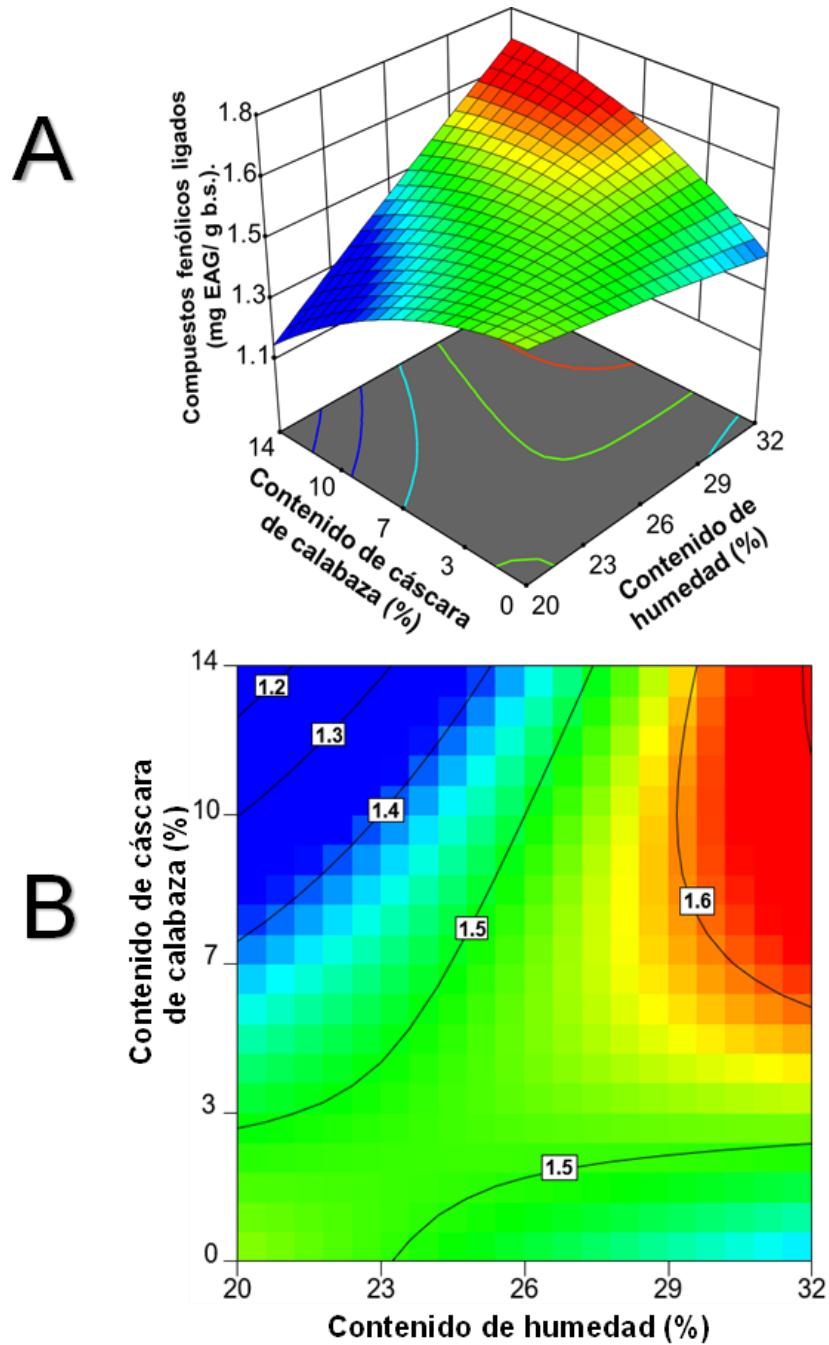


Figura 18. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre el contenido de CFLig de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

Asimismo, Segev y col (2014) mencionan que, en semilla de garbanzo, los compuestos fenólicos se consideran los principales materiales que contribuyen a la actividad antioxidante de esta leguminosa.

E. PARÁMETROS ANTIOXIDANTES

En el **Cuadro 10** se muestra el análisis de varianza para las variables de respuesta capacidad antioxidante total por el método DPPH (DPPHT), capacidad antioxidante-DPPH de los extractos libres (DPPHLib), capacidad antioxidante-DPPH de los extractos ligados (DPPHLig), capacidad antioxidante total por el método ABTS (ABTST), capacidad antioxidante-ABTS de los extractos libres (ABTSLib), capacidad antioxidante-ABTS de los extractos ligados (ABTSLig), capacidad antioxidante inhibición de la degradación de la Deoxi-D-Ribosa de extractos libres (DeoxiLib) y capacidad antioxidante inhibición de la degradación de la Deoxi-D-Ribosa de extractos ligados (DeoxiLig). Los modelos matemáticos fueron significativos ($p < 0.01$), presentando valores de $R^2_{ajustada} \geq 0.75$, excepto DeoxiLig, $CV \leq 6.16\%$ para las variables de respuesta, excepto DPPHLig y ABTSLig, y ninguna variable de respuesta presentó falta de ajuste ($p > 0.05$). Se obtuvo (**Cuadro 11**) que el factor CH presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en su término lineal sobre las variables de respuesta DPPHT, DPPHLib, ABTST, y ABTSLib. Igualmente, el factor CHCC mostró efecto significativo en su término lineal sobre las variables de respuesta DPPHT, DPPHLib, DPPHLig, ABTST, ABTSLib y ABTSLig. En el caso de los términos cuadráticos CH^2 mostró efecto significativo ($p < 0.05$) sobre DPPHLib, DPPHLig, ABTST, ABTSLig, DeoxiLib y DeoxiLig.

Cuadro 10. Análisis de varianza de los parámetros antioxidantes evaluados en las botanas directamente expandidas adicionadas con harina de cáscara de calabaza.

Respuesta	R² (Ajustada)	CV (%)	Valor F	p de F (modelo)	Falta de ajuste
DPPHT	0.92	4.57	64.99	<0.0001	0.510
DPPHLib	0.98	3.96	138.0	<0.0001	0.127
DPPHLig	0.83	16.39	12.43	0.002	0.940
ABTST	0.90	4.61	22.38	0.0004	0.060
ABTSLib	0.85	6.16	14.58	0.001	0.077
ABTSLig	0.75	16.85	8.17	0.007	0.061
DeoxiLib	0.83	3.80	12.54	0.002	0.077
DeoxiLig	0.64	5.07	5.18	0.026	0.604

DPPHT= capacidad antioxidante total por método DPPH ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **DPPHLib**= capacidad antioxidante del extracto libre por método DPPH ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **DPPHLig**= capacidad antioxidante del extracto ligado por método DPPH ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **ABTST**= capacidad antioxidante total por método ABTS ($\mu\text{mol ET/g bs}$); **ABTSLib**= capacidad antioxidante del extracto libre por método ABTS ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **ABTSLig**= Capacidad antioxidante del extracto ligado por método ABTS ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **DeoxiLib**= CAO-Inhibición de la degradación de Deoxi-D-ribosa de extractos Libres (% Inhibición de oxidación); **DeoxiLig**= CAO-Inhibición de la degradación de Deoxi-D-ribosa de extractos Ligados (% Inhibición de oxidación).

Cuadro 11. Coeficientes de regresión de los parámetros antioxidantes evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.

	DPPHT	DPPH Lib	DPPH Lig	ABTST	ABTS Lib	ABTS Lig	Deoxi Lib	Deoxi Lig
Intercepto	7.25	6.25	1.20	2.49	1.82	0.67	42.93	40.96
Lineal CH	0.72 (<0.001)	0.66 (<0.001)	0.06 (0.56)	-0.15 (<0.01)	-0.12 (0.01)	-0.02 (0.66)	1.48 (0.05)	1.38 (0.12)
CHCC	1.12 (<0.001)	1.56 (<0.001)	-0.44 (<0.01)	0.28 (<0.001)	0.15 (<0.01)	0.12 (0.04)	1.87 (0.02)	1.35 (0.13)
Cuadrático CH	--	-0.76 (<0.001)	0.56 (<0.01)	0.27 (<0.01)	-0.06 (0.13)	0.33 (<0.001)	3.38 (<0.01)	3.37 (<0.01)
CHCC	--	0.77 (<0.001)	0.66 (<0.001)	-0.07 (0.14)	-0.12 (0.01)	0.04 (0.43)	3.64 (<0.01)	2.14 (0.04)
Interacciones CH*CHCC	--	-0.10 (0.36)	-0.15 (0.37)	-0.21 (<0.01)	-0.29 (<0.01)	0.08 (0.32)	-1.05 (0.27)	-0.53 (0.64)

CH= contenido de humedad; **CHCC**= contenido de harina de cáscara de calabaza; **DPPH**= capacidad antioxidante total por método DPPH ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **DPPHLib**= capacidad antioxidante del extracto libre por método DPPH ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **DPPHLig**= capacidad antioxidante del extracto ligado por método DPPH ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **ABTS**= capacidad antioxidante total por método ABTS ($\mu\text{mol ET/g bs}$); **ABTSLib**= capacidad antioxidante del extracto libre por método ABTS ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **ABTSLig**= Capacidad antioxidante del extracto ligado por método ABTS ($\mu\text{mol ET/ g bs}$); **DeoxiLib**= CAO-Inhibición de la degradación de Deoxi-D-ribosa de extractos Libres (% Inhibición de oxidación); **DeoxiLig**= CAO-Inhibición de la degradación de Deoxi-D-ribosa de extractos Ligados (% Inhibición de oxidación).

Por otro lado, CHCC² presentó efecto significativo sobre DPPHLib, DPPHLig, ABTSLib, DeoxiLib y DeoxiLig. En el análisis de interacciones, se obtuvo que la interacción CH*CHCC mostró efecto significativo ($p < 0.05$) sobre ABTST, y ABTSLib.

1. Capacidad antioxidante DPPH total (DPPHT)

Se obtuvo que, dentro de las materias primas empleadas para producir las botanas, la harina de cáscara de calabaza (HCC) presentó el mayor valor de DPPHT ($18.61 \pm 1.19 \mu\text{mol ET/g.b.s.}$), seguido de la harina de garbanzo, la cual mostró un valor de $9.06 \pm 0.5 \mu\text{mol ET/g.b.s.}$ Asimismo, la harina de arroz quebrado fue la que presentó el valor más bajo, siendo de $4.43 \pm 0.45 \mu\text{mol ET/g.b.s.}$

Para esta variable de respuesta, se utilizó un modelo lineal significativo ($p < 0.0001$), obteniendo un valor de $R^2_{\text{ajustada}} = 0.92$, $\text{CV} = 4.57 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.510$) (**Cuadro 10**). El modelo lineal completo obtenido (**Cuadro 11**) fue el siguiente:

$$\text{DPPHT} = 0.772 + 0.182 \cdot \text{CH} + 0.248 \cdot \text{CHCC}$$

En la **Figura 19** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre DPPHT de los alimentos botana, presentándose los mayores valores ($> 9 \mu\text{mol ET/g.b.s.}$) combinando altos CH ($> 26\%$) y altos CHCC ($> 10\%$). Esta respuesta presentó una alta correlación positiva con el factor CHCC ($r = 0.80$; $p = 0.001$). Este comportamiento se puede atribuir a que en estas condiciones fue presentado el mayor contenido de CFT. De acuerdo a lo reportado por Heiras-Palazuelos y col (2013), un alto contenido de compuestos fenólicos puede correlacionarse con una alta capacidad antioxidante.

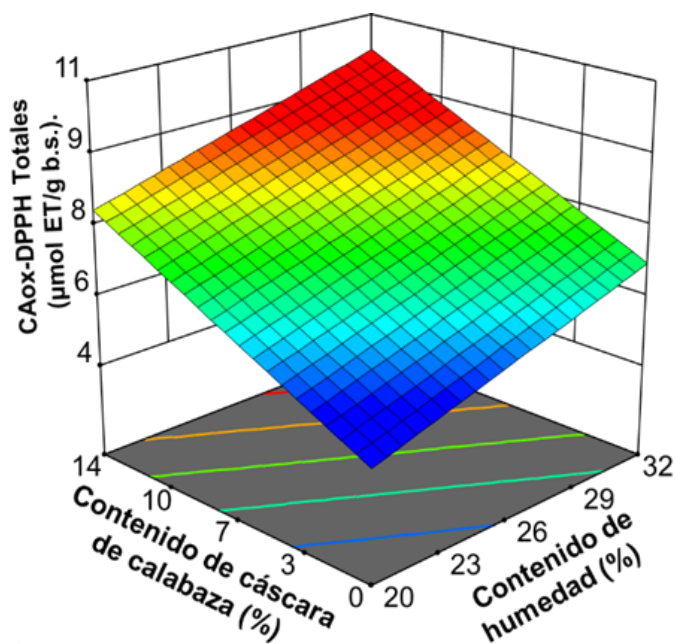
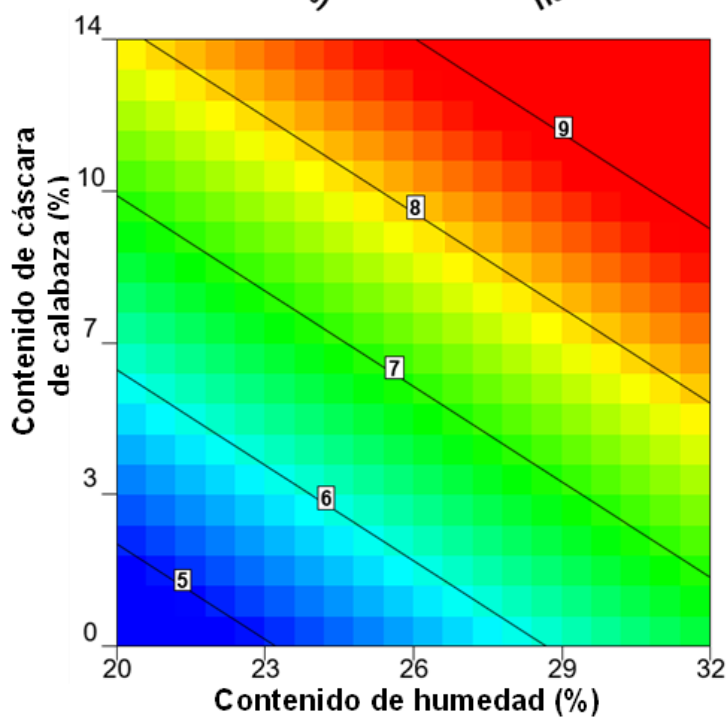
A**B**

Figura 19. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante DPPHT de alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

Asimismo, los valores bajos de capacidad antioxidante (DPPH) a bajos CH pudieron deberse a una degradación de compuestos fenólicos por el alto nivel de cizallamiento en estas condiciones. Brennan y col (2011) reportaron que puede presentarse una reducción de las propiedades antioxidantes de los alimentos obtenidos por extrusión por reacciones de descarboxilación y desesterificación provocadas por bajos contenidos de humedad y altas temperaturas, lo que puede promover la transformación de los ácidos fenólicos, reduciendo su extractabilidad. Félix-Medina y col (2020) mencionan que el aumento de CAO se puede atribuir a las condiciones utilizadas durante la extrusión tales como la temperatura y CH.

2. Capacidad antioxidante DPPH del extracto libre (DPPHLib)

Para la respuesta DPPHLib, se utilizó un modelo cuadrático significativo ($p < 0.001$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.98$, $CV = 3.96\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.127$) (**Cuadro 10**). El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 11**) fue el siguiente:

$$\text{DPPHLib} = -35.691 + 2.689 \cdot \text{CH} + 1.031 \cdot \text{CHCC} - 0.005 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} - 0.047 \cdot \text{CH}^2 - 0.038 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 20** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre la capacidad antioxidante DPPHLib de los alimentos botana directamente expandidos. Se presentaron los mayores valores de DPPHLib ($>6 \mu\text{mol ET/g b.s}$) en rangos intermedios y altos de CH ($>26\%$) y CHCC ($>7\%$).

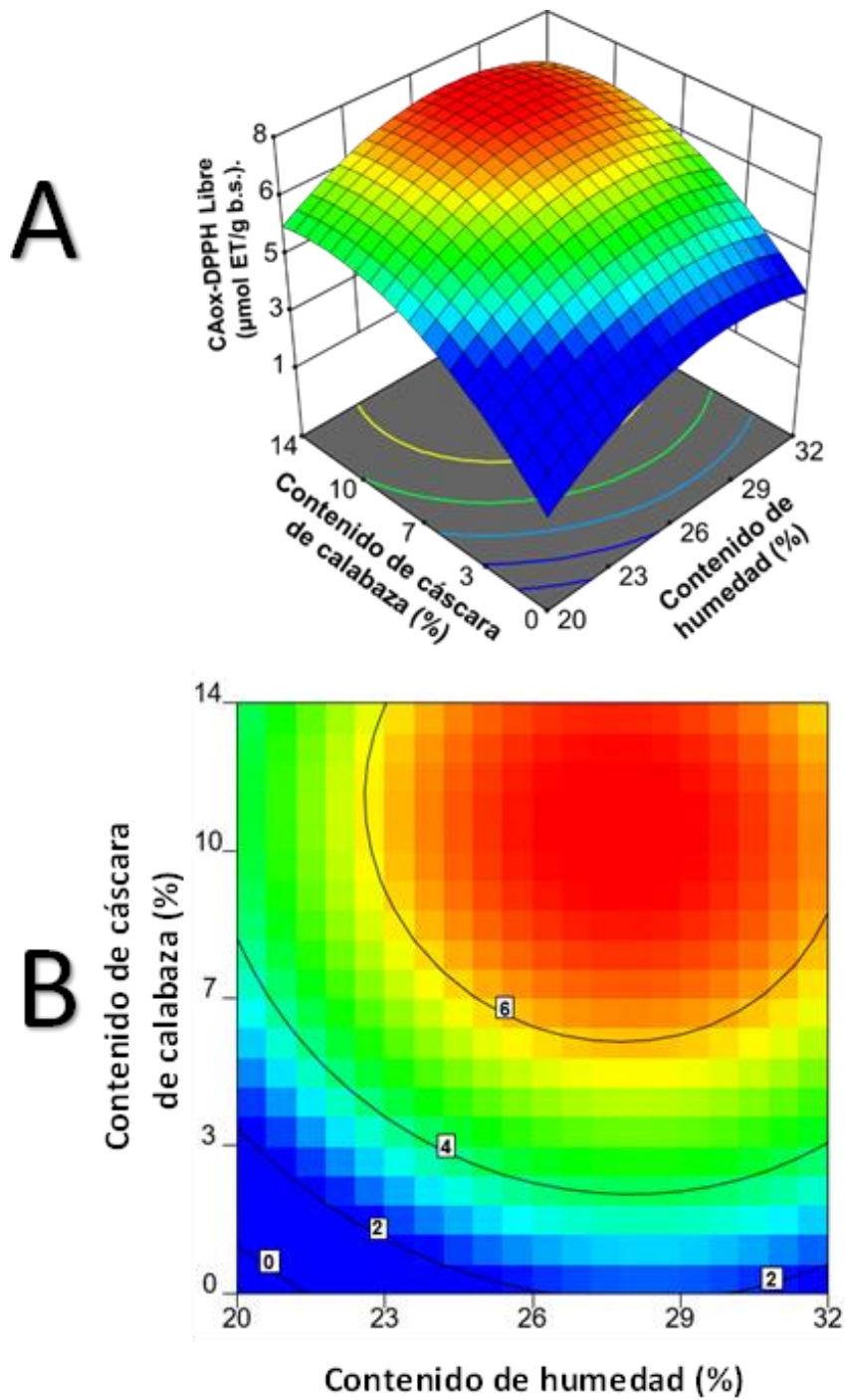


Figura 20. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante DPPHLib de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contorno.

Este comportamiento puede atribuirse a los CFLib presentes en la harina de cáscara de calabaza, mientras que el aumento de DPPHLib a altos CH, puede deberse al efecto lubricante y protector que presenta la humedad durante el proceso de extrusión, este comportamiento es similar al reportado por Ruiz-Armenta y col (2019).

3. Capacidad antioxidante DPPH del extracto ligado (DPPHLig)

Para la variable de respuesta DPPHLig, se utilizó un modelo cuadrático significativo ($p < 0.002$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.83$, $CV = 16.39\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.940$) (**Cuadro 10**). El modelo cuadrático completo obtenido fue el siguiente:

$$\text{DPPHLig} = 25.214 - 1.747 \cdot \text{CH} - 0.335 \cdot \text{CHCC} - 0.008 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} + 0.035 \cdot \text{CH}^2 + 0.032 \cdot \text{CHCC}^2$$

La **Figura 21** muestra los efectos del CH y CHCC en los valores de DPPHLig de los alimentos botana. Se observan los mayores valores ($\geq 2 \mu\text{mol ET/g b.s.}$) en todo el rango de CH y niveles bajos de CHCC ($\leq 4\%$). Este comportamiento puede deberse a la presencia de fenólicos ligados principalmente aportados por harina de arroz y garbanzo, cuya concentración fue mayor en las muestras a bajos CHCC, debido a que, a esas condiciones de extrusión con una humedad de alimentación baja, las condiciones de alto cizallamiento y alta temperatura pueden despolimerizar los taninos

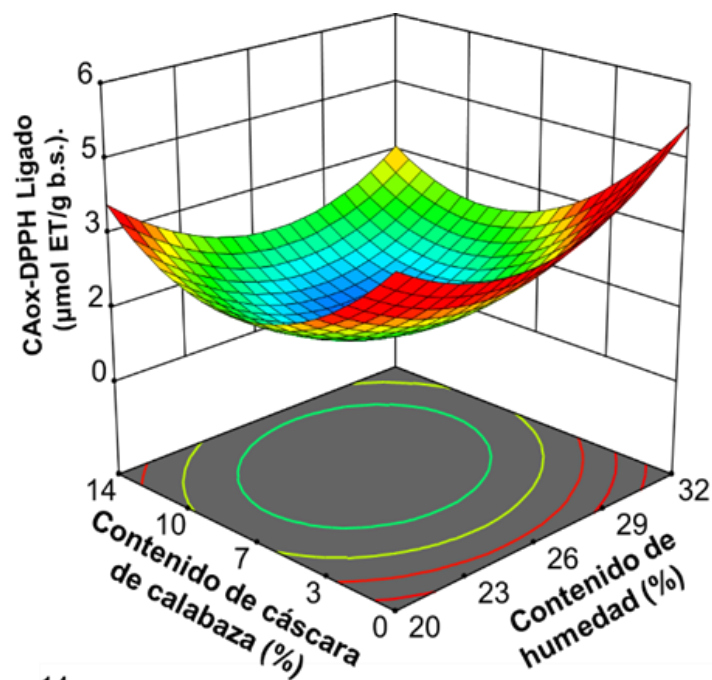
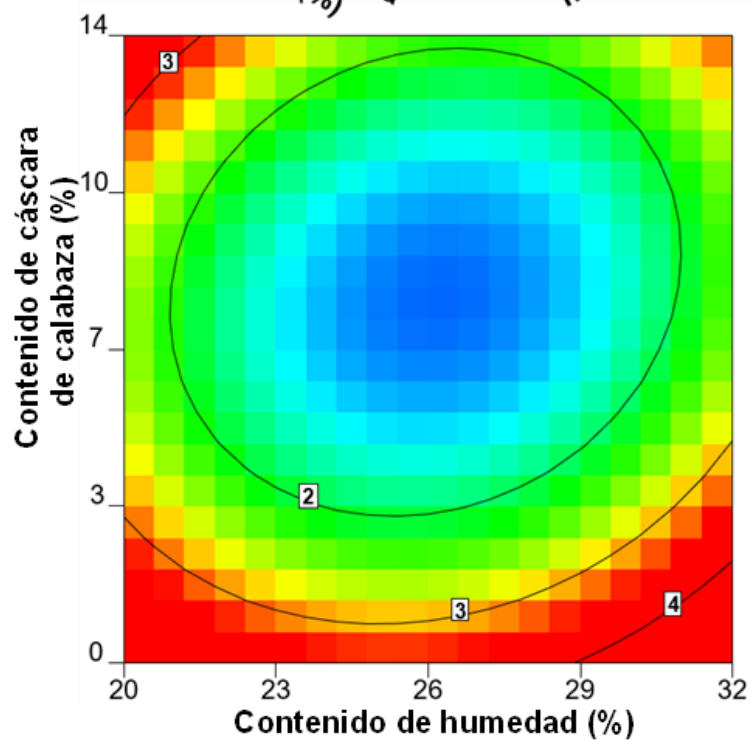
A**B**

Figura 21. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante DPPHLig de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

condensados y convertirlos en oligómeros de menor peso molecular haciéndolos más extraíbles. Sánchez-Magaña y col (2014) reportaron que los compuestos fenólicos se consideran los principales compuestos que contribuyen en la actividad antioxidante.

4. Capacidad antioxidante ABTS total (ABTST)

En el análisis de ABTST de las materias primas utilizadas para la producción de los alimentos botana mediante el proceso de extrusión, se encontró que la harina de cáscara de calabaza (HCC) presentó el mayor valor de ABTST, siendo de 17.73 ± 0.27 $\mu\text{mol ET/g b. s.}$, seguido de la harina de garbanzo con un valor de ABTST de 10.32 ± 0.84 $\mu\text{mol ET/g b. s.}$, y la harina de arroz quebrado presentó un valor de ABTST de 2.79 ± 0.26 $\mu\text{mol ET/g b. s.}$ Para el análisis estadístico de esta variable de respuesta se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.0004$), obteniendo un valor de $R^2_{\text{ajustada}} = 0.90$, $\text{CV} = 4.61\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.06$) (**Cuadro 10**). El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 11**) fue el siguiente:

$$\text{ABTST} = 12.104 - 0.832 \cdot \text{CH} + 0.426 \cdot \text{CHCC} - 0.011 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} + 0.016 \cdot \text{CH}^2 - 0.003 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 22** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre el ABTST de los alimentos botana directamente expandidos. Se puede observar que la mayor ABTST (> 3 $\mu\text{mol ET/g b. s.}$) fue presentada combinando niveles bajos de CH ($< 23\%$) con altos CHCC ($> 8\%$). Este comportamiento puede atribuirse al CHCC

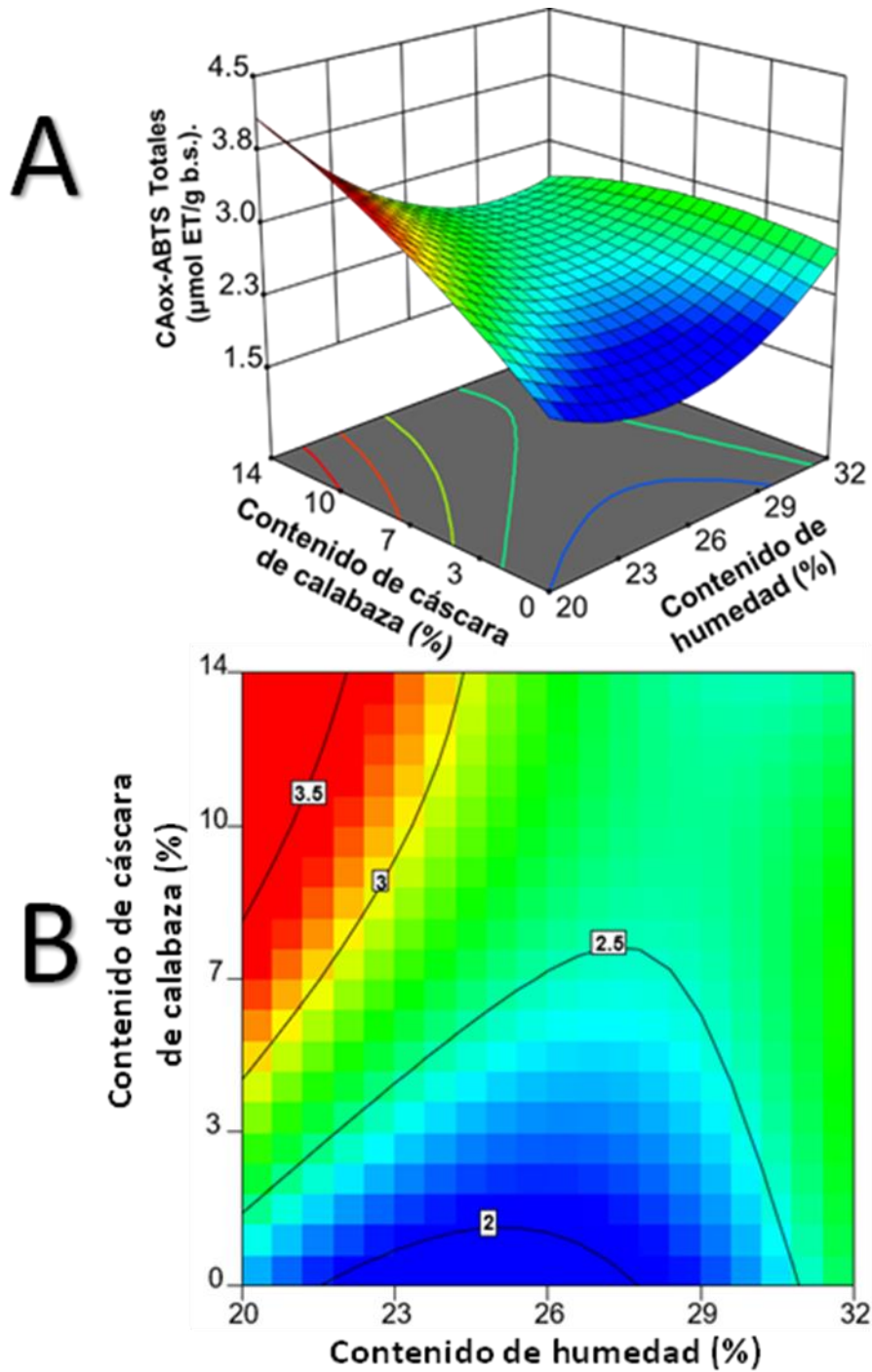


Figura 22. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante ABTST de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

incrementando la actividad antioxidante de los extruidos, porque la calabaza es una fuente de β -caroteno y compuestos fenólicos (Promsakha y col 2017). Asimismo, a bajos contenidos de CH debido al efecto termomecánico se pudo haber presentado un mayor cizallamiento dentro del extrusor liberando los compuestos fenólicos por rompimiento de paredes celulares, causando un incremento en la ABTST de las botanas.

5. Capacidad antioxidante ABTS de extractos libres (ABTSLib)

Para la variable de respuesta ABTSLib, se utilizó un modelo cuadrático significativo ($p < 0.001$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.85$, $CV = 6.16\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.077$) (**Cuadro 10**). El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 11**) fue el siguiente:

$$\text{ABTSLib} = -3.696 + 0.300 \cdot \text{CH} + 0.546 \cdot \text{CHCC} - 0.016 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} - 0.004 \cdot \text{CH}^2 - 0.006 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 23** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre ABTSLib de los alimentos botana directamente expandidos. Se puede observar que la mayor ABTSLib ($> 2 \mu\text{mol ET/g b. s.}$) fue obtenida a bajos CH ($< 23\%$) combinados con altos CHCC ($> 10\%$). Este comportamiento puede deberse a que en condiciones de bajos CH por un incremento en la fricción dentro del extrusor pudieron haberse liberado compuestos fenólicos enlazados a la pared celular, contribuyendo al aumento de ABTSLib.

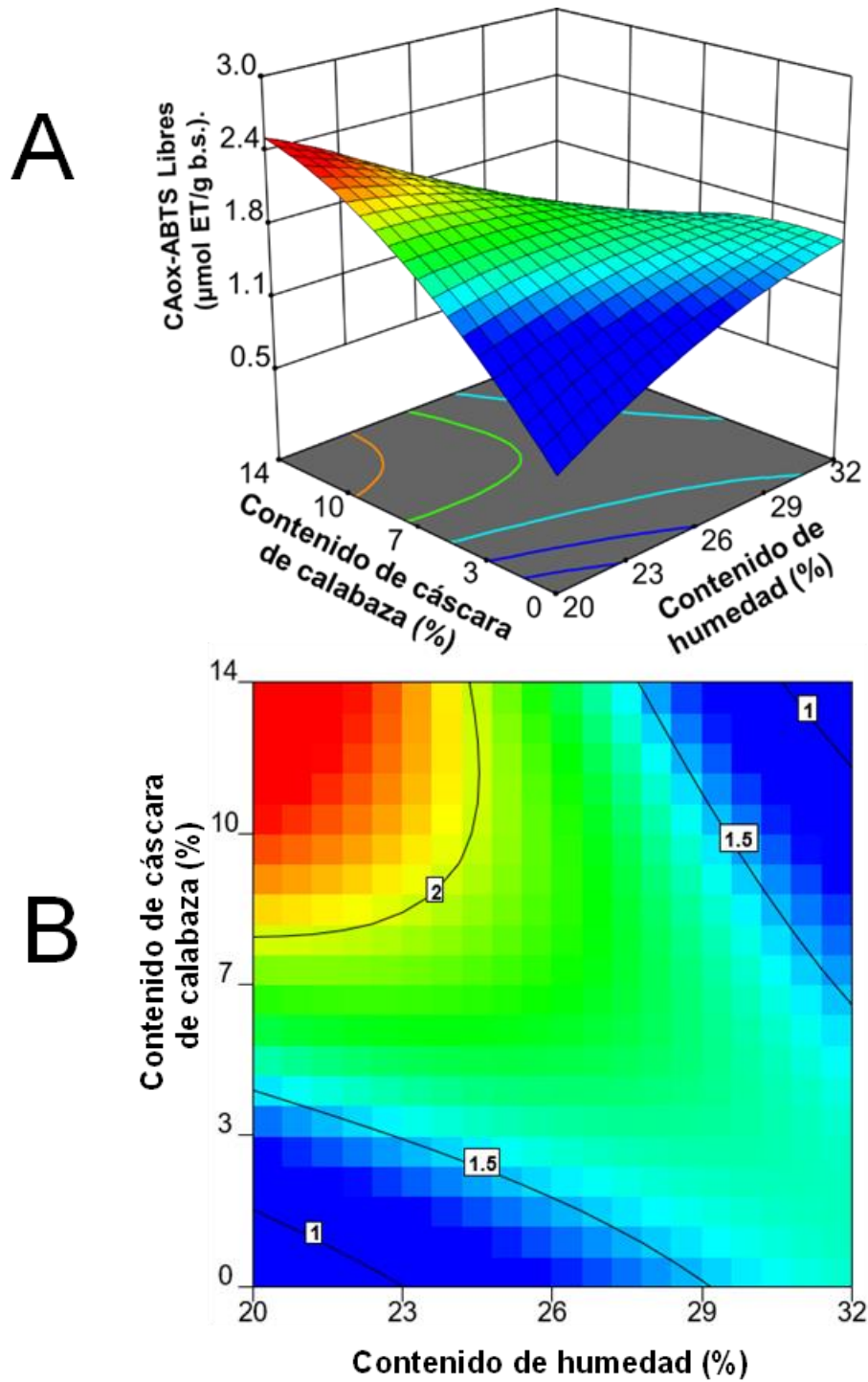


Figura 23. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante ABTSLib de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

Asimismo, en altos CHCC, el alto contenido de compuestos fenólicos libres aportados por la materia prima harina de cáscara de calabaza en relación al contenido de fenólicos libres de las restantes materias primas empleadas para producir las botanas pudo haber contribuido al aumento de ABTSLib en los diferentes tratamientos.

6. Capacidad antioxidante ABTS de extractos ligados (ABTSLig)

Para la variable de respuesta ABTSLig, se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.007$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.75$, $CV = 16.85\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.061$) (**Cuadro 10**). El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 11**) fue el siguiente:

$$\text{ABTSLig} = 15.798 - 1.132 \cdot \text{CH} - 0.120 \cdot \text{CHCC} + 0.004 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} + 0.021 \cdot \text{CH}^2 + 0.002 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 24** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre la capacidad antioxidante ABTSLig de los alimentos botana directamente expandidos. Puede observarse que la mayor ABTSLig ($> 1.3 \mu\text{mol ET/g b. s.}$) fue presentada en dos condiciones de procesamiento. Una de las condiciones donde fueron presentados altos valores de ABTSLig fue a niveles altos de CH ($> 29\%$) combinados con niveles altos de CHCC ($> 9\%$). Las condiciones a niveles altos de humedad redujeron el tiempo de residencia de los materiales dentro del extrusor, disminuyendo su degradación termomecánica. Asimismo, los valores altos de fenólicos en la materia prima CHCC,

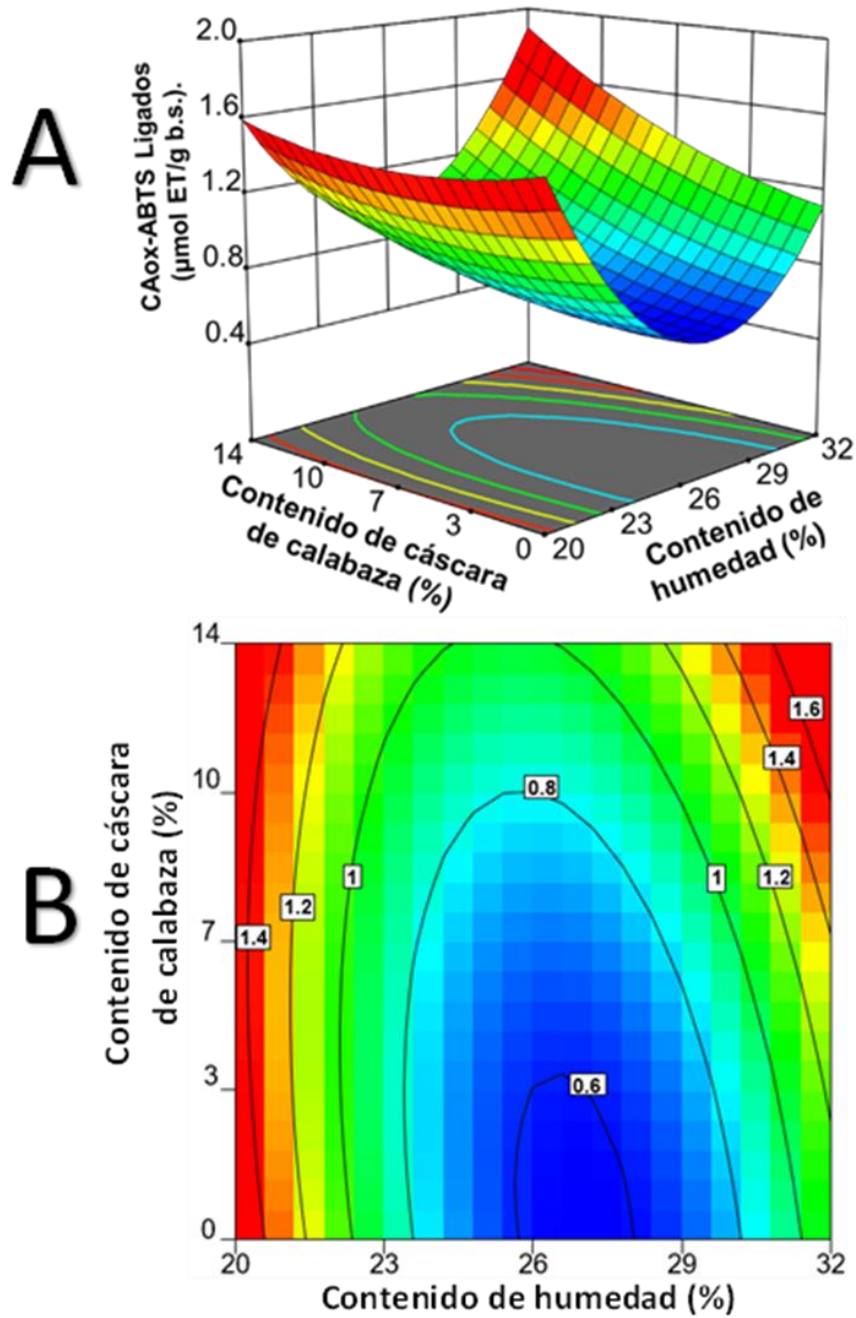


Figura 24. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante ABTSLig de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

en relación a las restantes materias primas pudieron haber influido en los altos valores de ABTSLig en las condiciones mencionadas previamente. Igualmente, altos valores de ABTSLig ($> 1.3 \mu\text{mol ET/g b. s.}$) ocurrieron a bajos CH ($< 23\%$) en todo el rango de CHCC, lo cual pudo deberse a una mayor liberación de compuestos fenólicos por la mayor fricción presentada dentro del extrusor en estas condiciones de procesamiento.

Este comportamiento es similar a lo reportado por Promsakha y col (2018) donde una disminución del contenido de humedad del alimento resultó en aumentos significativos en los valores de capacidad antioxidante.

7. Capacidad antioxidante inhibición de la degradación de Deoxi-D-ribosa del extracto libre (DeoxiLib)

Para la variable de respuesta DeoxiLib, se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.002$), obteniendo un valor de $R^2_{\text{ajustada}} = 0.83$, $CV = 3.80\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.077$) (**Cuadro 12**). El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 13**) fue el siguiente:

$$\text{DeoxiLib} = 171.046 - 10.180 \cdot \text{CH} - 0.583 \cdot \text{CHCC} - 0.058 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} + 0.210 \cdot \text{CH}^2 + 0.180 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 25** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre los valores de DeoxiLib en los alimentos botana directamente expandidos. Los mayores valores de DeoxiLib ($> 52\%$ Inhibición de oxidación) se pueden observar en todo el rango de CH a niveles altos de CHCC ($> 9\%$). Esto puede deberse al elevado

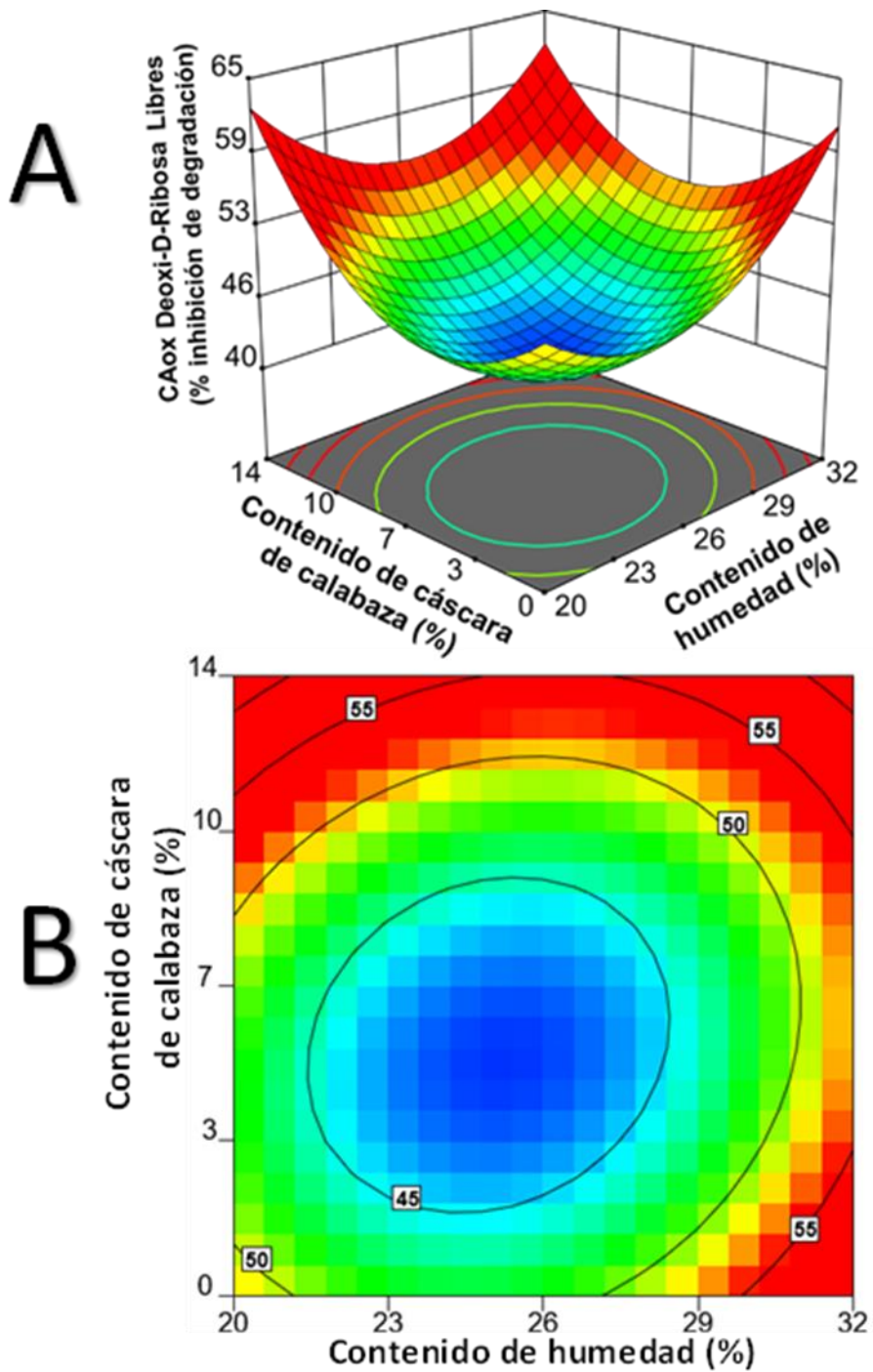


Figura 25. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante (DeoxiLib) de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

contenido de compuestos fenólicos a altos CHCC, los cuales pudieran haber presentado alta capacidad para inhibir la degradación de la Deoxi-D-Ribosa a través del radical hidroxilo. Igualmente, pueden observarse altos valores de DeoxiLib en condiciones de altos CH (> 29%), en todo el rango de CHCC, lo cual podría deberse a que altos CH podrían haber reducido la viscosidad dentro del extrusor, disminuyendo la degradación termomecánica de los compuestos fenólicos; ocasionando la liberación de compuestos bioactivos como el betacaroteno y el licopeno, a pesar de la degradación de los fenoles termolábiles. (Rocha-Guzmán y col 2012).

8. Capacidad antioxidante inhibición de la degradación de Deoxi-D-ribosa del extracto ligado (DeoxiLig)

Para la variable de respuesta DeoxiLig se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p= 0.026$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada}=0.64$, $CV= 5.07\%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.604$) (**Cuadro 12**). El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 13**) fue el siguiente:

$$\text{DeoxiLig} = 172.079 - 10.400 \cdot \text{CH} - 0.412 \cdot \text{CHCC} - 0.029 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} + 0.210 \cdot \text{CH}^2 + 0.105 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 26** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre los valores de DeoxiLig en los alimentos botana directamente expandidos. Se puede observar un comportamiento similar al encontrado en DeoxiLib, ya que los mayores valores de DeoxiLig (> 50 % Inhibición de oxidación) se encontraron en todo el rango de CH a niveles altos de CHCC (> 9%). Este comportamiento puede atribuirse al alto

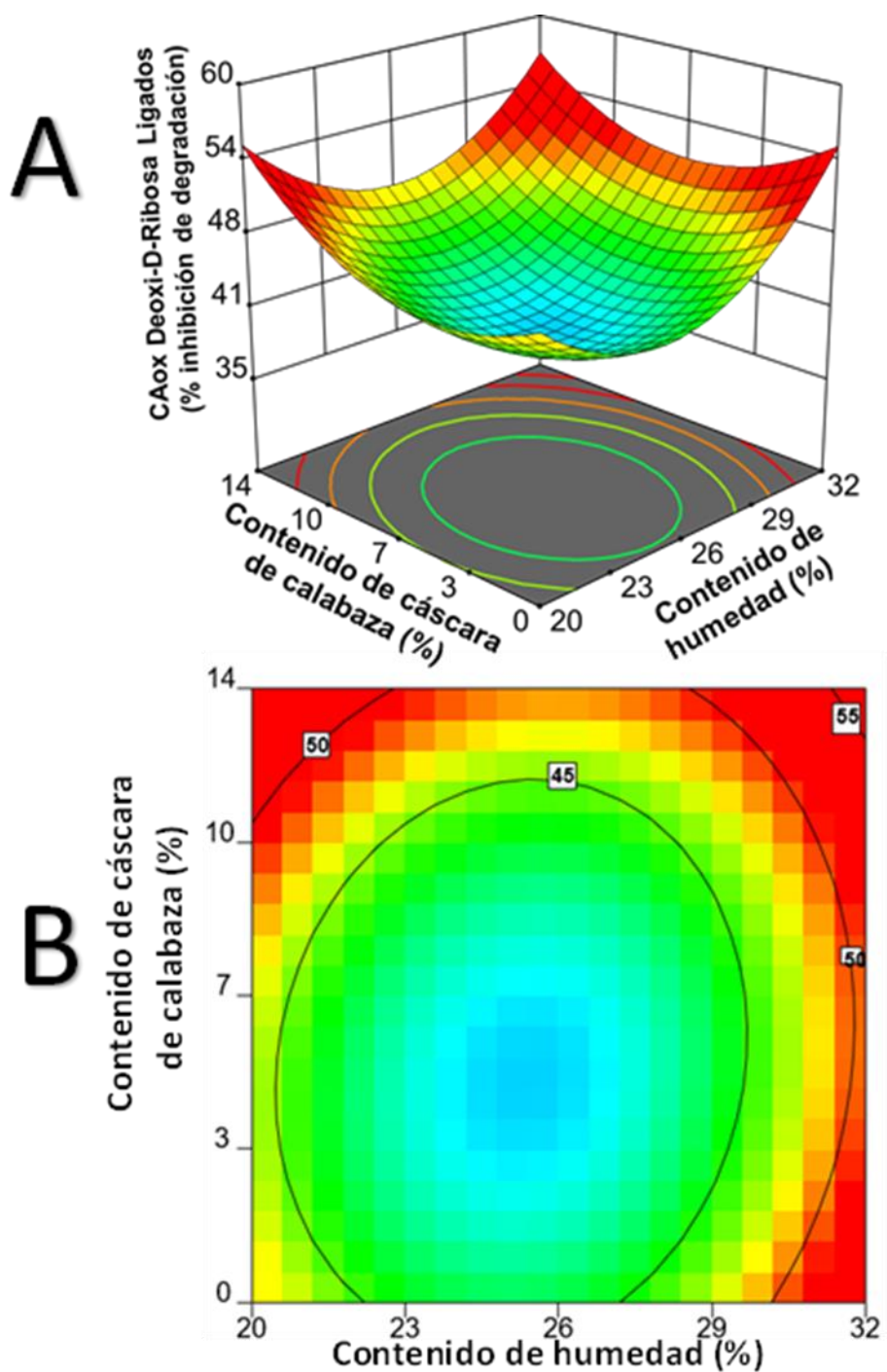


Figura 26. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante (DeoxiLig) de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

contenido de compuestos fenólicos ligados a altos CHCC, que podrían haber contribuido al incremento de la inhibición de Deoxi-D-Ribosa a través del radical hidroxilo. Asimismo, pueden observarse altos valores de DeoxiLig a altos CH (> 29%), en todo el intervalo de CHCC, lo cual puede ser debido a que altos niveles de CH podrían haber reducido el tiempo de residencia de los materiales dentro del extrusor, debido a una disminución de la viscosidad, reduciendo la degradación de los compuestos fenólicos, y provocando un incremento en la capacidad antioxidante (Wani & Kumar, 2016a).

F. PARÁMETROS BIOLÓGICOS

En el **Cuadro 12** se muestra el análisis de varianza para las variables de respuesta capacidad antioxidante inhibición de oxidación de LDL de extractos libres (LDLLib) y capacidad antioxidante inhibición de oxidación de LDL de extractos ligados (LDLLig). Los modelos matemáticos fueron significativos ($p < 0.01$), presentando una $R^2_{ajustada} \geq 0.82$, $CV \leq 1.61\%$ para las variables de respuesta, sin presentar falta de ajuste ($p > 0.05$). Se obtuvo (**Cuadro 13**) que el factor CH solamente presentó efecto significativo ($p < 0.05$) en su término lineal sobre la variable de respuesta LDLLig. Asimismo, el factor CHCC mostró efecto significativo en su término lineal sobre las variables de respuesta LDLLib y LDLLig. En el caso de los términos cuadráticos, CH^2 mostró efecto significativo ($p < 0.05$) únicamente sobre LDLLib. Por otro lado, $CHCC^2$ presentó efecto significativo sobre LDLLib y LDLLig. En el análisis de interacciones, se obtuvo que la interacción $CH*CHCC$ mostró efecto significativo ($p < 0.05$) únicamente sobre LDLLib.

Cuadro 12. Análisis de varianza de los parámetros biológicos evaluados en las botanas directamente expandidas adicionadas con harina de cáscara de calabaza.

Respuesta	R² Ajustada	CV (%)	Valor F	p de F (modelo)	Falta de ajuste
LDLLib	0.91	1.61	25.30	0.0002	0.212
LDLLig	0.82	0.56	11.76	0.002	0.722

CV= Coeficiente de variación: **LDLLib=** CAO-inhibición de LDL de extractos libres (% Inhibición de oxidación):
LDLLig= CAO-inhibición de LDL de extractos Ligados (% Inhibición de oxidación).

Cuadro 13. Coeficientes de regresión de los parámetros biológicos evaluados en los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.

	LDL-Lib	LDL-Lig
Intercepto	43.50	45.03
Lineal CH	0.48 (0.07)	-0.25 (0.02)
CHCC	-1.92 (<0.001)	-0.05 (0.55)
Cuadrático CH	-1.12 (<0.01)	0.17 (0.10)
CHCC	-1.5 (<0.001)	-0.63 (<0.001)
Interacciones CH*CHCC	0.91 (0.02)	0.02 (0.85)

CH=contenido de humedad; **CHCC**= contenido de harina de cáscara de calabaza; **LDLLib**= CAO-inhibición de LDL de extractos libres (% Inhibición de oxidación); **LDLLig**= CAO-inhibición de LDL de extractos Ligados (% Inhibición de oxidación).

1. Capacidad antioxidante inhibición de oxidación de LDL del extracto libre (LDLLib)

Para la variable de respuesta LDLLib, se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.001$), obteniendo un valor de $R^2_{ajustada} = 0.91$, $CV = 1.61\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.212$) (**Cuadro 12**). El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 13**) fue el siguiente:

$$\text{LDLLib} = 1.713 + 3.391 \cdot \text{CH} - 0.683 \cdot \text{CHCC} + 0.051 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} - 0.069 \cdot \text{CH}^2 - 0.076 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 27** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre los valores de LDLLib de los alimentos botana directamente expandidos. Se puede observar que los mayores valores de LDLLib ($> 43\%$ Inhibición de oxidación) se presentaron en condiciones medias de CH (22-28%) y de medias a bajas de CHCC (0-7%).

Este comportamiento a bajos CHCC pudo deberse a la presencia de compuestos fenólicos que se encuentran en la calabaza, el arroz y garbanzo; tales como el ácido gálico y la catequina. (Rocha-Guzmán y col 2012).

Estos compuestos fenólicos pudieron presentar alta capacidad antioxidante para inhibir la oxidación del radical peroxilo, previniendo la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad. (Frankel y col 1995).

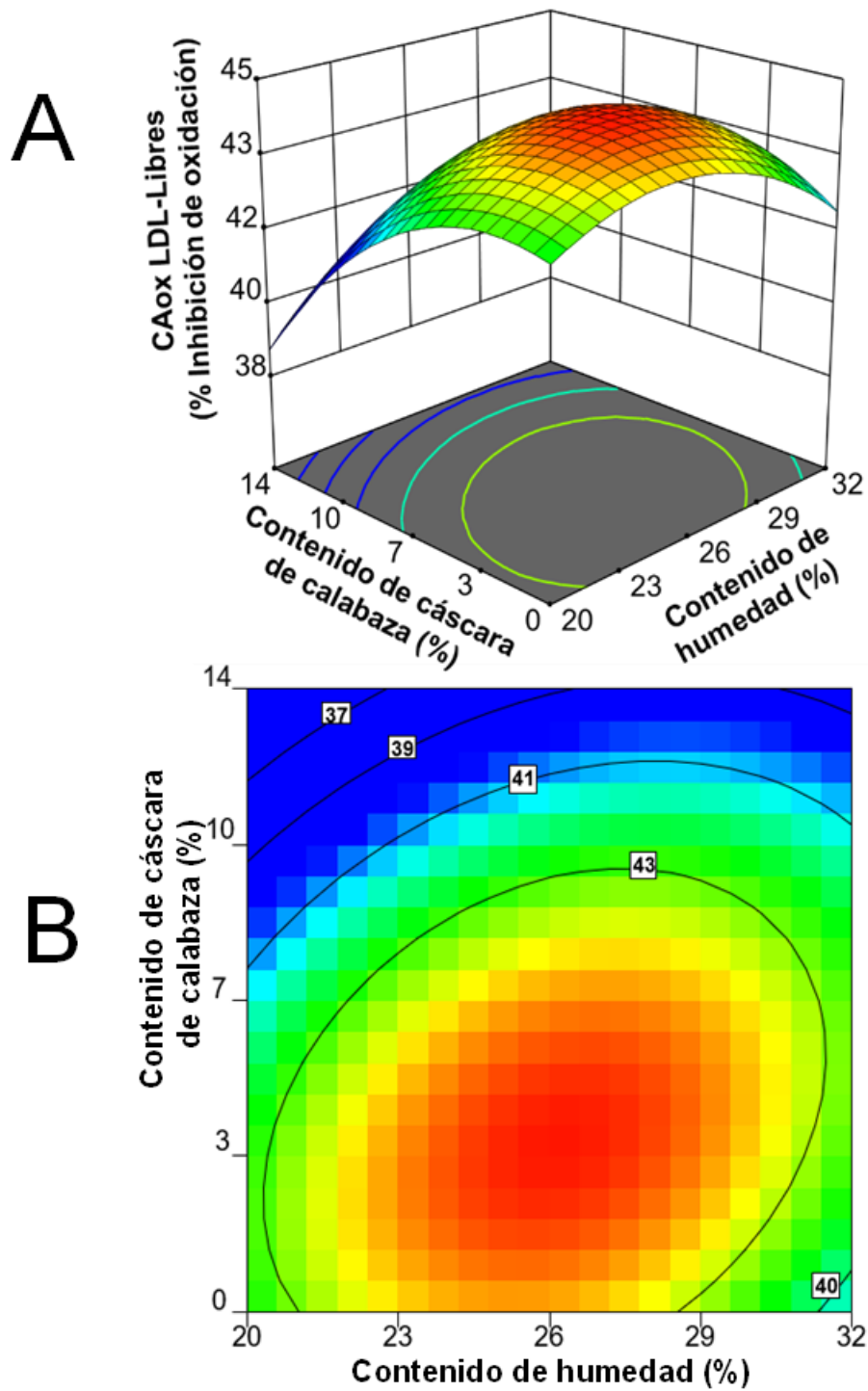


Figura 27. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante LDLLib de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

2. Capacidad antioxidante inhibición de oxidación de LDL del extracto ligado (LDLLig)

Para la variable de respuesta LDLLig, se utilizó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.002$), dando valores de $R^2_{ajustada} = 0.82$, $CV = 0.56\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.722$) (**Cuadro 12**). El modelo cuadrático completo obtenido (**Cuadro 13**) fue el siguiente:

$$\text{LDLLig} = 53.060 - 0.65 \cdot \text{CH} + 0.39 \cdot \text{CHCC} + 0.001 \cdot \text{CH} \cdot \text{CHCC} + 0.01 \cdot \text{CH}^2 - 0.03 \cdot \text{CHCC}^2$$

En la **Figura 28** se muestra el efecto de los factores de estudio CH y CHCC sobre los valores de LDLLig en los alimentos botana directamente expandidos. Se observan los mayores valores de LDLLig (>45 % Inhibición de oxidación) combinando bajos CH (<23%) con valores de CHCC en un rango de 3-11%. Este comportamiento puede atribuirse a que en bajos CH pudo haberse presentado una mayor liberación de compuestos fenólicos debido al incremento de la fricción dentro del extrusor, los cuales pudieron incrementar la capacidad antioxidante LDLLig, en combinación con los compuestos fenólicos aportados por la harina de calabaza y del garbanzo; esta leguminosa aporta compuestos fenólicos ligados que están fuertemente unidos a la celulosa, hemicelulosa y pectina de la matriz del garbanzo (Pérez-Pérez y col 2021). Por otro lado, algunos estudios también observan un aumento de la actividad antioxidante después de la extrusión, lo que se explica por la liberación de fenoles ligados de los componentes estructurales de la pared celular (Obradovic y col 2015).

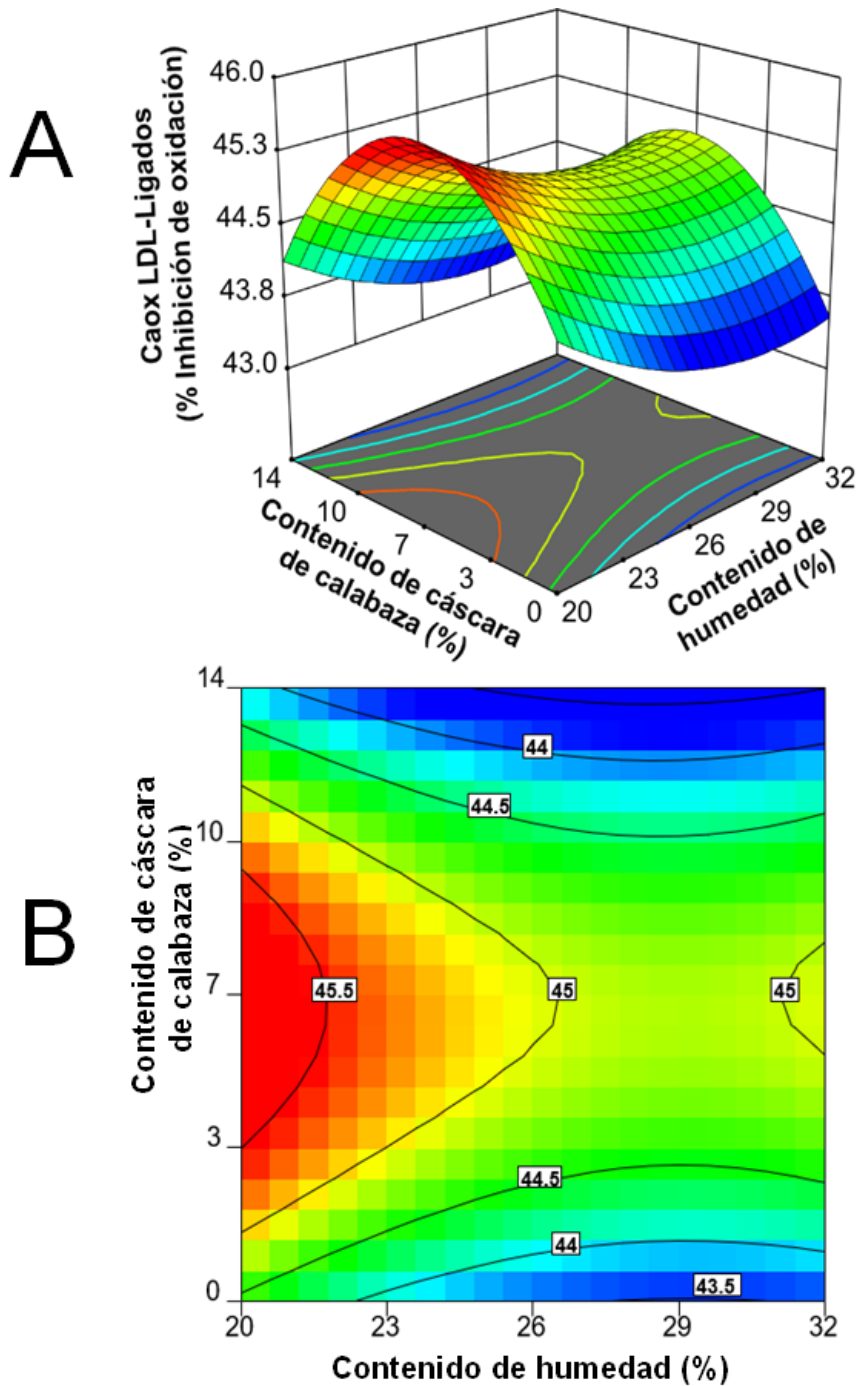


Figura 28. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC) sobre la capacidad antioxidante LDLLig de los alimentos botana directamente expandidos. A, superficies y B, contornos.

G. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Fue optimizado el proceso de extrusión utilizando el método gráfico, el objetivo fue encontrar las mejores condiciones de procesamiento por extrusión para obtener los alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza con aceptables propiedades fisicoquímicas y funcionales. Se establecieron como criterios obtener los valores máximos de índice de expansión (IE), contenido de carotenoides totales (CT), contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) y capacidad antioxidante para inhibir la degradación de Deoxi-D-ribosa del extracto libre (DeoxiLib) (**Cuadro 14**). Se eligió como variable de respuesta para optimizar al IE, ya que la expansión es un parámetro de calidad de alta importancia en botanas directamente expandidas, que está relacionado con su aceptación por el consumidor. Asimismo, se eligieron como variables de respuesta en la optimización al contenido de CT, CFT y DeoxiLib, debido a que altos valores de dichos compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en alimentos botana presentan beneficios potenciales para la salud de los consumidores. La **Figura 29** muestra la optimización gráfica, estando el área óptima delimitada por un CH de 20.34-22%, y un CHCC de 11.5-13.36%. A partir de la optimización se encontró que las condiciones óptimas de procesamiento fueron CH= 20.98% y CHCC= 12.44%, obteniéndose los valores predichos para IE= 2.17, CFT= 2.93 mg EAG/g b.s., CT= 8.75 μg de CT/ g, y DeoxiLib= 55.59 % Inhibición de oxidación. Se validó el modelo, efectuándose una prueba en la sección central del área optimizada (CH= 20.98%, CHCC= 12.44%). Fueron realizadas pruebas fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes en la botana optimizada extrudida obtenida en dichas condiciones, reportándose los valores medios.

Cuadro 14. Criterios y límites del proceso de optimización de extrusión.

Factor/Variable de respuesta	CH	CHCC	IE	CT	CFT	DeoxiLib
Objetivo	Rango	Rango	Máximo	Máximo	Máximo	Máximo
Límite inferior	22	2.50	2.12	8.4	2.8	47
Límite superior	30	11.49	2.29	10.58	3.6	53.18
Importancia	3	3	3	3	3	3
Peso	1	1	1	1	1	1

CH= contenido de humedad, **CHCC=** contenido de harina de cáscara de calabaza, **IE=** índice de expansión, **CT =** contenido de carotenoides totales, **CFT=** contenido de compuestos fenólicos totales, y **DeoxiLib=** capacidad antioxidante para inhibir la degradación de Deoxi-D-ribose del extracto libre.

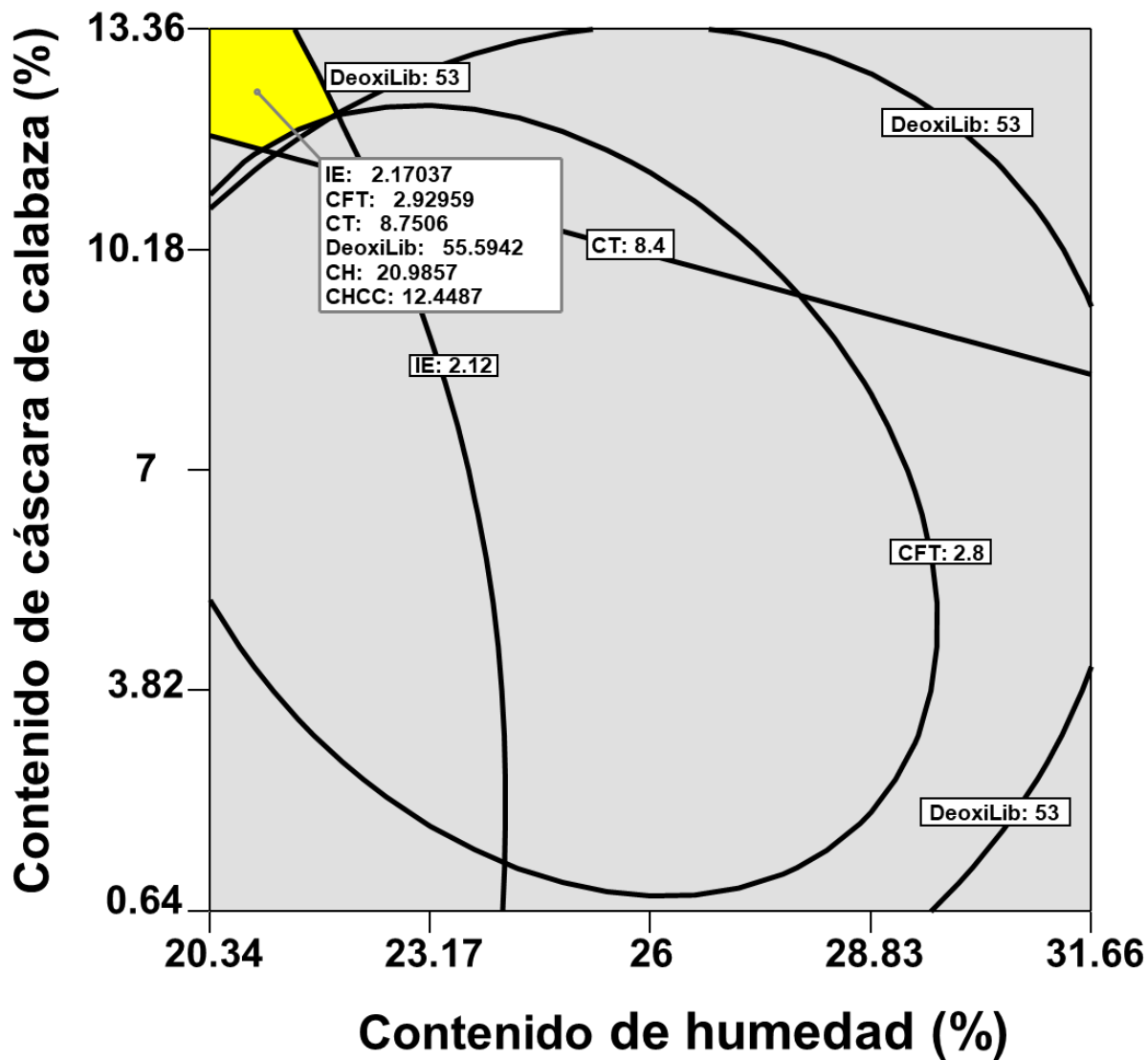


Figura 29. Optimización gráfica mediante superposición de las diferentes superficies de contornos de las variables de respuesta evaluadas en alimentos botana directamente expandidos. Efecto del contenido de humedad (CH) y del contenido de cáscara de calabaza (CHCC).

Estos valores fueron comparados con los valores predichos por el modelo en el punto central del área de optimización, obteniéndose valores muy cercanos entre sí (**Cuadro 15**). Fue obtenido que los modelos utilizados presentaron buen ajuste para producir botanas de segunda generación con aceptables propiedades fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes a partir de los factores CH y CHCC. El **Cuadro 16** muestra los valores de las propiedades fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes de los alimentos botana extrudidos directamente expandidos obtenidos en las condiciones óptimas de procesamiento y de una botana control, que fue elaborada utilizando similares condiciones de procesamiento comparado al tratamiento óptimo, pero sin agregar harina de cáscara de calabaza en su formulación. Se obtuvieron para los dos tratamientos (óptimo y control) valores de las propiedades fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes muy similares entre ellos, pero mostrándose un contenido de compuestos carotenoides, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante más elevado en el producto óptimo.

H. ANÁLISIS SENSORIAL

Se realizó un análisis sensorial en los alimentos botana obtenidos en las condiciones optimizadas de procesamiento (CH= 20.98%, CHCC= 12.44%), y en un alimento botana control obtenido en las mismas condiciones óptimas, sin adición de harina de cáscara de calabaza, a efecto de conocer su nivel de aceptabilidad por los evaluadores. La **Figura 30A** muestra la frecuencia de edad de los evaluadores que participaron en el análisis sensorial, donde aproximadamente 90% de hombres y 91% de mujeres presentaban un rango de edad de 19 a 29 años.

Cuadro 15. Valores predichos por el modelo y experimentales de las variables de respuesta utilizadas en la optimización del proceso de obtención de alimentos botana de segunda generación adicionados con cáscara de calabaza.

Variables de respuesta	Valores predichos	Valores reales
IE	2.17	2.30 ± 0.10
CT	8.75	8.49 ± 0.41
CFT	2.93	2.9 ± 0.13
DeoxiLib	55.59	54.62 ± 1.53

IE= índice de expansión, **CT** = contenido de carotenoides totales (μg de CT/g), **CFT**= contenido de compuestos fenólicos totales (mg EAG/g b.s.) y **DeoxiLib**= capacidad antioxidante para inhibir la degradación de Deoxi-D-ribosa del extracto libre (% Inhibición de oxidación).

Cuadro 16. Valores experimentales de propiedades fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes de alimentos botana directamente expandidos obtenidos en las condiciones óptimas de procesamiento.

Análisis	Botana óptima	Botana control
IE	2.30±0.10	2.22±1.54
DA (Kg/m³)	300.79±1.75	369.84±2.35
IAA (g a.a./g s.s.)	10.45±0.77	9.06±1.18
ISA (%)	14.06±0.89	11.74±1.29
L*	74.64±1.23	82.03±1.95
a*	-0.81±0.98	-1.02±0.16
b*	23.49±1.63	20.78±1.69
ΔE	5.67±0.54	6.45±1.28
CFLib (mg EAG/g b.s)	1.66±0.23	0.78±0.29
CFLig (mg EAG/g b.s)	1.15±0.35	0.50±0.19
CFT (mg EAG/g b.s)	2.81±0.13	1.28±0.67
DPPHLib (μmol ET/g b.s)	5.12±1.21	0.79±0.14
DPPHLig (μmol ET/g b.s)	2.65±1.36	3.60±1.12
DPPHT (μmol ET/g b.s)	7.69±1.56	4.92±0.97
ABTSLib (μmol ET/g b.s)	2.33±0.77	0.97±0.23
ABTSLig (μmol ET/g b.s)	1.33±0.89	0.92±0.12
ABTST (μmol ET/g b.s)	3.66±1.32	1.89±0.78
CT (μg de CT/ g)	8.49±0.41	3.54±1.89
DeoxiLib (% Inhibición de oxidación)	54.62±1.53	48.50±1.20
DeoxiLig (% Inhibición de oxidación)	50.12±1.92	44.44±1.79
LDLLib (% Inhibición de oxidación)	45.14±1.35	42.77±1.75
LDLLig (% Inhibición de oxidación)	46.60±1.56	43.93±1.25

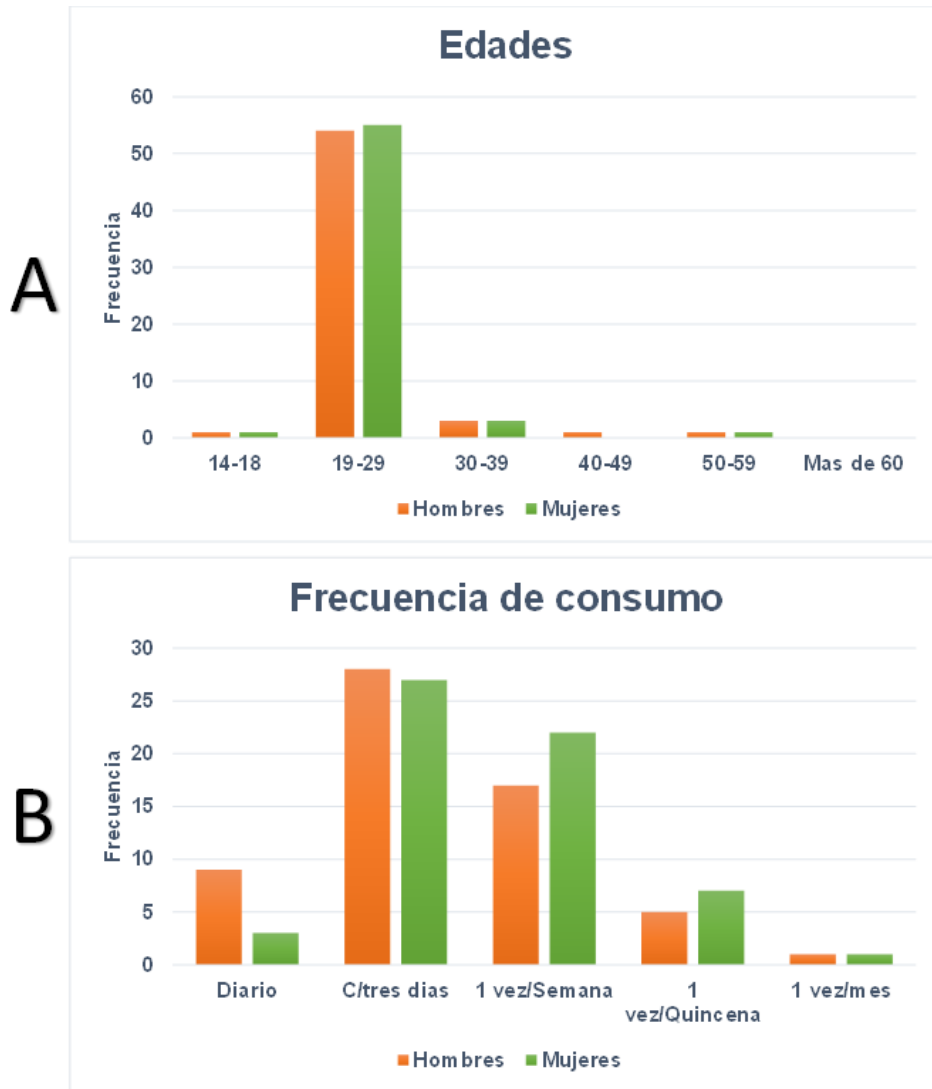


Figura 30. Análisis de frecuencia de edades (A) y frecuencia de consumo (B) de los evaluadores, en el análisis sensorial de alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.

Dentro de este grupo el 46% de los hombres manifestó consumir botanas cada 3 días, mientras que, el 45% de las mujeres mencionó consumir botanas con esa misma frecuencia (**Figura 30B**). La mayor parte de los evaluadores mencionaron que consumen alimentos botana en casa (73% hombres y 55% mujeres) (**Figura 31A**), mientras que, la ocupación predominante de los evaluadores fue estudiantes (91% hombres y 96% de mujeres), seguido de profesores (8% hombres y 4% mujeres) (**Figura 31B**). Asimismo, en la **Figura 32** puede observarse la aceptabilidad general de la botana optimizada adicionada con harina de calabaza, y una botana control obtenida en las mismas condiciones de extrusión, cuya única diferencia fue que no presentó calabaza en su composición. Se obtuvo mayor aceptabilidad general en la botana optimizada (LSD, $p < 0.05$) que la botana control, obteniéndose que un 85.83% de los evaluadores eligieron valores de la escala hedónica ≥ 5 (“Ni me gusta ni me disgusta”, “Me gusta ligeramente”, “Me gusta moderadamente”, “Me gusta mucho”, o “Me gusta extremadamente”), comparado con la botana control en donde un 72.5% de los evaluadores eligieron dichos valores. Por otro lado, en la **Figura 33A** puede observarse la aceptabilidad para el atributo de color de la botana optimizada adicionada con calabaza, y la de una botana control, pudiéndose observar que en la botana control un 88.3% de los evaluadores eligieron valores de la escala hedónica ≥ 5 , mientras que en la botana optimizada 67.5% de los evaluadores eligieron estos valores.

Esta reducción en la aceptabilidad en la botana optimizada comparada con la botana control pudo deberse a un ligero oscurecimiento mostrado en el producto debido a la adición de calabaza.

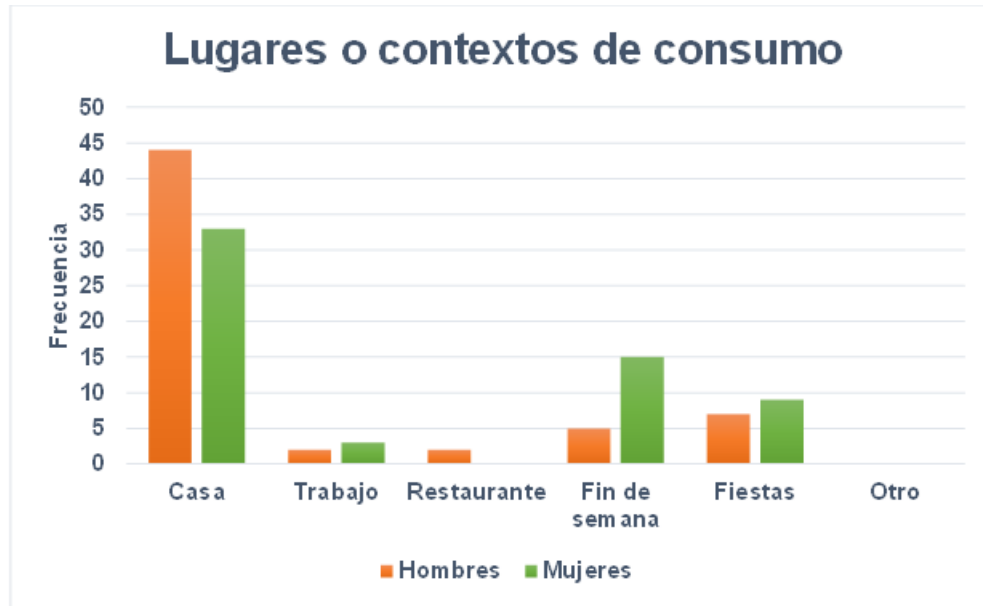
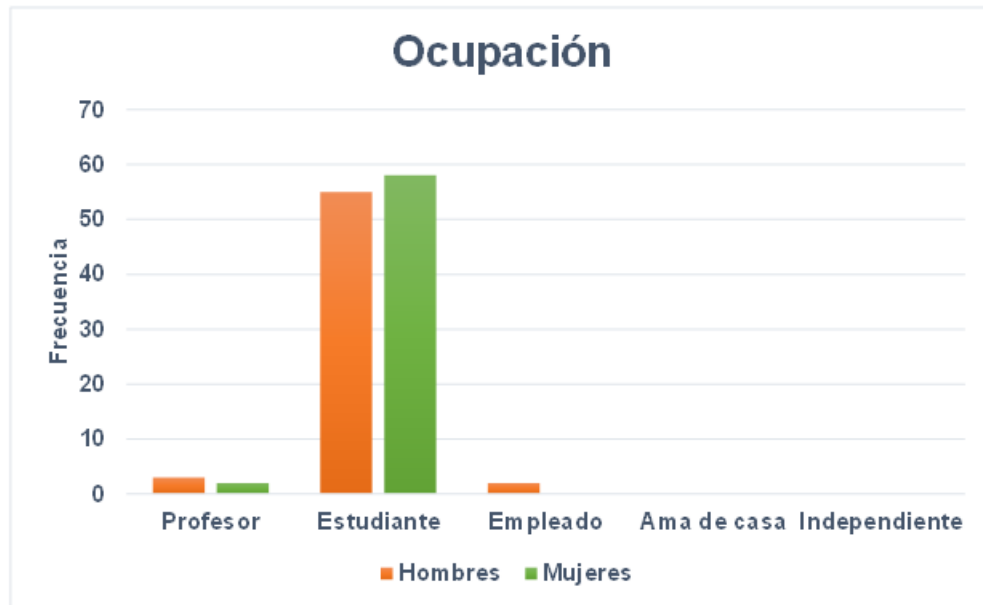
A**B**

Figura 31. Análisis de frecuencia del lugar de consumo (A) y frecuencia de la ocupación de los consumidores (B), en el análisis sensorial de alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de cáscara de calabaza.

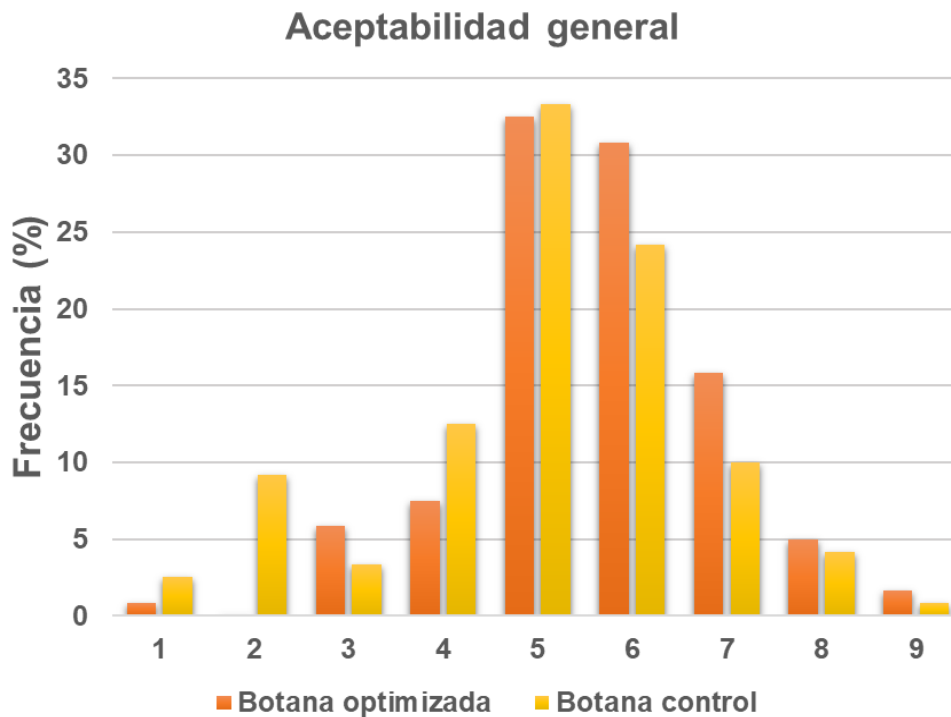


Figura 32. Análisis de frecuencia de la aceptabilidad general en el estudio sensorial de alimentos botana directamente expandidos adicionados con calabaza obtenidos en condiciones optimizadas de procesamiento, y alimentos botana control sin calabaza (1 = Me disgusta extremadamente; 2 = Me disgusta mucho; 3 = Me disgusta moderadamente; 4 = Me disgusta ligeramente; 5 = Ni me gusta ni me disgusta; 6 = Me gusta ligeramente; 7 = Me gusta moderadamente; 8 = Me gusta mucho; 9 = Me gusta extremadamente).

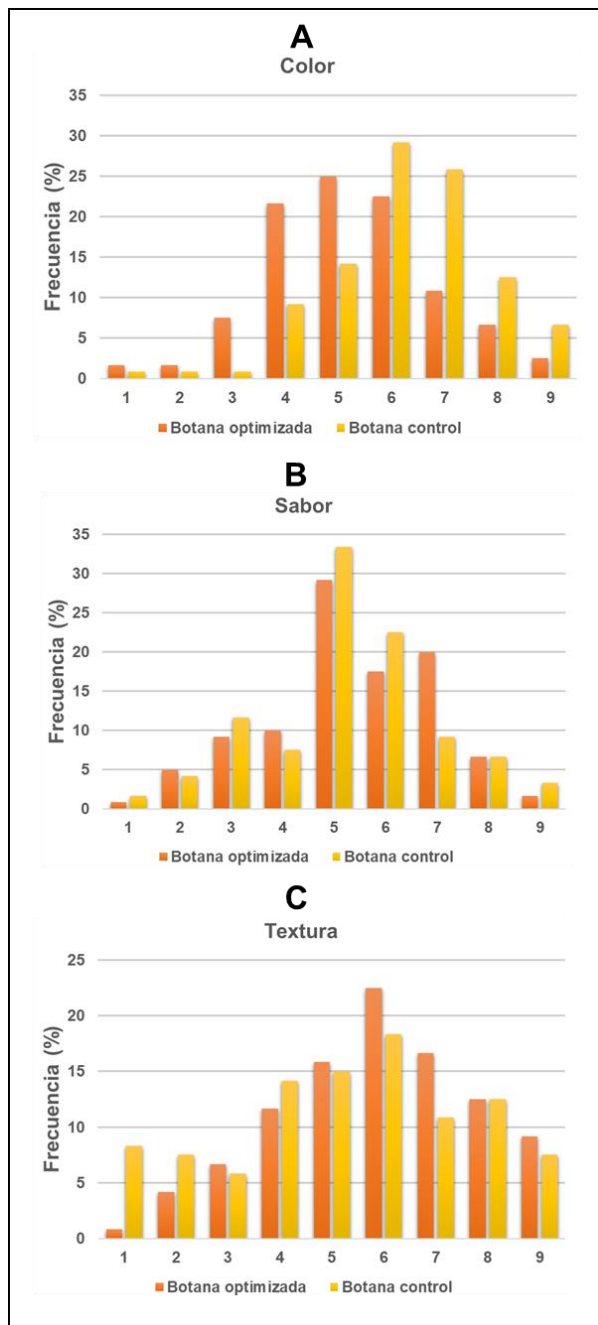


Figura 33. Análisis de frecuencia para los atributos de color (A), sabor (B), y textura (C) en el estudio sensorial de alimentos botana directamente expandidos adicionados con cáscara de calabaza obtenidos en condiciones optimizadas de procesamiento, y alimentos botana control sin calabaza (1 = Me disgusta extremadamente; 2 = Me disgusta mucho; 3 = Me disgusta moderadamente; 4 = Me disgusta ligeramente; 5 = Ni me gusta ni me disgusta; 6 = Me gusta ligeramente; 7 = Me gusta moderadamente; 8 = Me gusta mucho; 9 = Me gusta extremadamente).

Sin embargo, cuando fue evaluado el atributo de sabor (**Figura 33B**), se encontró que en ambos tratamientos un 75% de los valores eligieron valores de la escala hedónica ≥ 5 , lo que muestra una buena aceptación para el atributo de sabor en los alimentos botana, presentando como ventaja la botana optimizada, que la adición de calabaza puede incrementar su contenido de compuestos bioactivos como son los compuestos carotenoides, fenólicos, además de la actividad antioxidante y contenido de fibra dietaria (Jacobo-Valenzuela y col 2011). Asimismo, en la **Figura 33C** es mostrada la aceptabilidad para el atributo de textura, en donde un 76.6% de los evaluadores eligieron valores de la escala hedónica ≥ 5 en la botana optimizada, presentando una mayor aceptabilidad para el atributo de textura que la botana control, la cual mostró un valor de 64.16%. Por último, en el **Cuadro 17** se observa la probabilidad de compra de las diferentes botanas evaluadas, en donde un 64.2% de los evaluadores mencionaron que “Tal vez”, “muy probablemente si” o “si” comprarían la botana optimizada, mientras que un 59.9% mencionaron que “Tal vez”, “muy probablemente si” o “si” comprarían la botana control, lo que muestra que la adición de calabaza incrementó la aceptación del producto por parte de los consumidores. De manera general, los resultados obtenidos en el estudio sensorial son considerados positivos, ya que para la producción de los alimentos botana no fueron utilizados saborizantes o colorantes artificiales. De acuerdo a Dos Santos y col (2019), es de gran importancia que los alimentos obtenidos mediante el proceso de extrusión presenten un sabor natural, ya que productos comerciales generalmente muestran elevado contenido de aditivos y saborizantes artificiales, recomendando la reducción en la ingesta de estos ingredientes para disminuir problemas como la obesidad, que es considerada un serio problema de salud en la población mundial.

Cuadro 17. Frecuencia de la posibilidad de compra de la botana optimizada y botana control.

Botana	Si	Muy probablemente si	Tal vez	Muy probablemente no	No
Optimizada	7.5%	23.3%	33.4%	26.6%	9.16
Control	5.8%	15%	39.1%	21.6%	18.4%

IX. CONCLUSIONES

1. Las materias primas utilizadas mostraron propiedades químicas, fisicoquímicas y contenido de compuestos bioactivos apropiadas para utilizarse en la producción de botanas directamente expandidas.
2. A partir del estudio preliminar de extrusión se obtuvo que fueron obtenidos alimentos botana con aceptables propiedades fisicoquímicas al utilizarse contenidos de humedad (CH) mayores a 18% y menores a 32%, y contenidos de cáscara de calabaza (CHCC) menores a 14%, lo que permitió establecer el diseño experimental utilizado en el estudio de extrusión.
3. Las botanas directamente expandidas obtenidas en el presente estudio mostraron aceptables propiedades fisicoquímicas, similares a las de productos comerciales.
4. Los resultados obtenidos en la caracterización fitoquímica y antioxidante de los alimentos botana muestran el importante aporte de carotenoides, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la materia prima harina de cáscara de calabaza, lo que permitió incrementar el contenido de compuestos fitoquímicos en estos alimentos.
5. Al validar las condiciones óptimas de procesamiento (CH= 20.98%, CHCC= 12.44%) obtenidas mediante el método gráfico, se obtuvo que los valores predichos por los modelos fueron similares a los valores reales, siendo adecuados los modelos para predecir el comportamiento de las variables de respuesta estudiadas.
6. Es posible elaborar alimentos botana directamente expandidos utilizando como materias primas arroz quebrado, garbanzo, leche en polvo y cáscara de calabaza, los

cuales presentaron aceptables características fisicoquímicas, fitoquímicas, y antioxidantes, cuyo consumo tiene potenciales beneficios en la salud de los consumidores.

X. BIBLIOGRAFÍA

- AACC. 2010. Approved Methods of Analysis of the American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota.
- Aguilar-Palazuelos E, Zazueta-Morales JDJ, Jiménez-Arévalo OA y Martínez-Bustos F. 2007. Mechanical and structural properties of expanded extrudates produced from blends of native starches and natural fibers of henequen and coconut. *Starch-Stärke* 59(11), 533-542.
- Aguilar-Raymundo V y Vélez-Ruiz JF. 2013. Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.
- 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.
- 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.
- Barraza-Elenes C, Camacho-Hernández IL, Yahia EM, Zazueta-Morales JJ, Aguilar-Palazuelos E, Heredia JB, Carrillo-López A. 2019. Analysis by UPLC-DAD-ESI-MS of phenolic compounds and HPLC-DAD based determination of carotenoids in noni (*Morinda citrifolia* L.) bagasse. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(26), 7365-7377.

- Barrett AH y Peleg M. 1992. Extrudate cell structure-Texture relationships. *Journal Food Science*, 57(5):1253-1257.
- Beltrán-Rico M y Marcilla-Gomis A. 2012. Tema 4. extrusión. En *Tecnología de polímeros Procesado y propiedades* (79-82pp). Alicante: Universidad de Alicante.
- Brennan MA, Brijesh EDK y Brennan CS. 2012. Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 893–902.
- Brennan C, Brennan M, Derbyshire E y Tiwari BK. 2011. Efectos de la extrusión sobre los polifenoles, vitaminas y actividad antioxidante de los alimentos. *Tendencias en ciencia y tecnología de los alimentos*, 22(10), 570–575.
- Carvalho J, Smiderle MA, Carvalho V, Cardoso, y Koblitz B. 2014. Evaluación de carotenoides en calabazas después de diferentes condiciones de cocción casera. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 34 (2), 365-370.
- Carvalho WT, Cunha DR, Velasco P, Soares SJM, Zaczuk BP, Caliarí M. 2011. Características físico-químicas de extratos de arroz integral, quirera de arroz e soja. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 422–429, 2011. Disponible en: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/9885>.
- Cortez R, Castro-Rosas J, Aguilar-Palazuelos E, Rodríguez-Miranda J, Medrano-Roldan H, Delgado E, Acevedo O, Gómez-Aldapa C. 2014. *Alimentos Botana, Aceptabilidad y Nutrición Humana*. Universidad Juárez del Estado de Durango, 177-189.

- Cruz-Lozano H, Acevedo-Sandoval O A, Navarro Cortez RO y Gómez Aldapa CA. 2015. Elaboración de botanas funcionales por extrusión. Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP, 1(1).
- Delgado-Nieblas CI, Aguilar-Palazuelos E y Gallegos-Infante J, Rocha-Guzmán N, Zazueta-Morales J, Caro-Corrales J. 2012. Characterization and Optimization of Extrusion Cooking for the Manufacture of Third-Generation Snacks with Winter Squash (*Cucurbita moschata* D.) Flour. Cereal Chemistry. 89. 65-72.
- Delgado-Nieblas CI, Zazueta-Morales JJ, Gallegos-Infante JA, Aguilar-Palazuelos E, Camacho-Hernández IL, Ordorica-Falomir CA, Pires-Melo M y Carrillo-López A. 2014. Elaboration of functional snack foods using raw materials rich in carotenoids and dietary fiber: effects of extrusion processing, CyTA-Journal of Food, 13(1), 69-79.
- Delgado-Nieblas CI, Zazueta-Morales JJ, Jacobo-Valenzuela N, Carrillo-López A, Aguilar-Palazuelos E, Camacho-Hernández IL y Quintero-Ramos A. 2016. Producción of Winter Squash Flours Rich in Bioactive Compounds and High Water Absorption by Means of a Precooking-Air-Drying Optimized Process. Journal of Food Processing and Preservation, 41(2), e12809.
- Delgado-Nieblas C, Ruiz-Beltrán K, Sánchez-Lizárraga J, Zazueta-Morales JJ, Aguilar-Palazuelos E, Carrillo-López A, Camacho-Hernández IL y Quintero-Ramos A. 2019. Effect of extrusion on physicochemical, nutritional and antioxidant properties of breakfast cereals produced from bran and dehydrated naranjita pomace, CyTA - Journal of Food, 17:1, 240-250.

- Dos Santos PA, Caliari M, Júnior MSS, Silva KS, Viana LF, Garcia LGC y de Lima MS. 2019. Use of agricultural by-products in extruded gluten-free breakfast cereals. *Food Chemistry*, 297, 124956.
- Espinoza-Moreno RJ, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J, López-Valenzuela JA, Paredes-López O y Gutiérrez-Dorado R. 2016. Snack Ampliado Saludable Listo para Comer con Alto Valor Nutricional y Antioxidante Producido a partir de Maíz Transgénico Amarantin Integral y Frijol Negro Común. *Alimentos vegetales para la nutrición humana*, 71(2), 218–224.
- FAO. 2022. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. FAO-Anuario, Base de datos estadísticos (FAOSTAT). Índices de producción agrícola. Disponible en: www.fao.org. Consultado el 19 de enero del 2023.
- Félix-Medina JV, Montes-Ávila J, Reyes-Moreno C, Perales-Sánchez JXK, Gómez-Favela MA, Aguilar-Palazuelos E y Gutiérrez-Dorado R. 2020. Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *LWT - Food Science and Technology*, 124, 109172.
- Figuroa 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.
- García-Gómez M, Ramírez-Coutiño L. 2012. Potencial del plátano macho verde para la elaboración de botanas saludables. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, Vol. 3, 20-30pp.

- Gopirajah R y Muthukumarappan K. 2017. Efecto de las condiciones del proceso de extrusión sobre las propiedades físicas de los extruidos de bocadillos saludables de tef-avena. *Revista de Procesamiento y Conservación de Alimentos*, 42(3), e13559.
- Garzón-Tiznado J, Ochoa-Lugo M, Heiras-Palazuelos M, Domínguez-Arispuro D, Rodríguez E, Gutiérrez-Dorado R, Milán-Carrillo J y Reyes-Moreno C. 2012. "Propiedades de aceptabilidad y Potencial antioxidante de los cultivares de garbanzo Desi (*Cicer arietinum* L.), *Ciencias de la alimentación y la nutrición*, 3(9), 1281-1289.
- Gómez-López P. 2013. Obtención de productos directamente expandidos por extrusión y botanas de 3ª. Generación a base de chía y almidón de maíz resistente AR4; Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias Alimentarias. Universidad Veracruzana instituto de ciencias básicas. (1-8,13pp).
- Camacho-Hernández IL, Zazueta-Morales JJ, Gallegos-Infante JA, Aguilar-Palazuelos E, Rocha-Guzmán NE, Navarro-Cortez RO, Jacobo Valenzuela N y Gómez-Aldapa CA. 2014. Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks, *CyTA -Journal of Food*, 12:4, 320-330.
- Jacobo-Valenzuela N, Maróstica-Junior MR, Zazueta-Morales JJ y Gallegos-Infante JA. 2011. Physicochemical, technological properties, and health-benefits of *Cucurbita moschata* Duchense vs. Cehualca. *Food Research International*, 44(9), 2587–2593.

- Jacobo-Valenzuela N, Zazueta-Morales J, Gallegos-Infante J, Aguilar-Gutierrez F, Camacho-Hernández I, Rocha-Guzmán N y González-Laredo R. 2011. Chemical and Physicochemical Characterization of Winter Squash (*Cucurbita moschata* D.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39, 34-40.
- Jacques-Fajardo GE, Prado-Ramírez R, Arriola-Guevara E, Pérez Carrillo E, Espinosa-Andrews H, Guatemala Morales G. 2017. Physical and hydration properties of expanded extrudates from a blue corn, yellow pea and oat bran blend. *LWT - Food Science and Technology*, 84, 804-814.
- Jukanti A, Gaur P, Gowda C y Chibbar R. 2012. Calidad nutricional y beneficios para la salud del garbanzo (*Cicer arietinum* L.): una revisión. *Revista británica de nutrición*, 108 (S1), S11-S26.
- Kimura M, Rodriguez-Amaya DB, 2004. Harvest Plus Handbook for Carotenoid Analysis. Harvest Plus Technical Monograph. 2da edición. Washinton, DC. Cali: International Food Policy Research institute (IFPRI) and international Center for Tropical Agriculture (CIAT) p 51.
- Lim J. 2011. Hedonic scaling: A review of methods and theory. *Food Quality and Preference*, 22(8), 733-747.
- Limón-Valenzuela V, Aguilar-Palazuelos E, Zazueta-Morales JDJ y Martínez-Bustos F. 2017. Propiedades microestructurales y de formación de pasta de pellets extrudidos elaborados a partir de almidón de maíz enriquecidos con mcp y concentrado proteínico de leche. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16 (1), 193-205.

- Loubes María y Tolaba Marcela. 2013. Arroz: rendimiento de la molienda mediante análisis de imágenes. *La Alimentación Latinoamericana*, 308. 44-49.
- Ma Z, Yi C, Wu N y Tan B. 2020. Reducción de perfiles fenólicos, fibra dietética y actividades antioxidantes del arroz después del tratamiento con diferentes procesos de molienda. *Química de cereales*, 97(6), 1158–1171.
- Maga JA y Kim CH. 1990. Stability of Natural Colourants (Annatto, Beet, Paprika, Turmeric) During Extrusion Cooking. *Lebensm. Wiss. U Technol*, 23:427-432.
- Makowska A, Zielińska-Dawidziak M, Niedzielski P y Michalak M. 2017. Effect of extrusion conditions on iron stability and physical and textural properties of corn snacks enriched with soybean ferritin. *International Journal of Food Science & Technology*, 53(2), 296–303.
- Marioli Nobile C, Carreras J, Grosso R, Inga M, Silva M, Aguilar R, Allende M, Badini R y Martinez M. 2013 Composición próxima y componentes lipídicos de semilla de garbanzo tipo “kabuli” (*Cicer arietinum* L.) de Argentina. *Ciencias Agrícolas* , 4 , 729-737.
- Martínez-Meza Y, Islas-Hernández JJ, Gutiérrez-Meraz F, Osorio-Díaz. 2016. Formulación de una botana por extrusión con mezcla de harina de plátano y amaranto, *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1:2, 728-733.
- Navarro-Cortez RO, Gómez-Aldapa CA, Aguilar-Palazuelos E, Delgado-Licon E, Castro Rosas J, Hernández-Ávila J, Solís-Soto A, Ochoa-Martínez LA y Medrano-Roldán H. 2016. Blue corn (*Zea mays* L.) with added orange (*Citrus sinensis*) fruit bagasse: novel ingredients for extruded snacks, *CyTA - Journal of Food*, 14:2, 349-358.

- Neder-Suárez D, Quintero-Ramos A, Meléndez-Pizarro CO, Zazueta-Morales JJ, Paraguay-Delgado F y Ruiz-Gutiérrez MG. 2021. Evaluation of the physicochemical properties of third-generation snacks made from blue corn, black beans, and sweet chard produced by extrusion. *LWT*, 146, 111414.
- Norfezah MN, Hardacre A y Brennan CS. 2011. Comparison of waste pumpkin material and its potential use in extruded snack foods. *Food Science and Technology International*, 17(4), 367-373.
- Obradović V, Babić J, Šubarić D, Jozinović A, Ačkar Đ y Klarić I. 2015. Influence of dried Hokkaido pumpkin and ascorbic acid addition on chemical properties and colour of corn extrudates. *Food Chemistry*, 183, 136–143.
- Pang Y, Ahmed S, Xu Y, Beta T, Zhu Z, Shao Y y Bao J. 2018. Compuestos fenólicos ligados y propiedades antioxidantes del grano integral y salvado de arroz blanco, rojo y negro. *Química de los alimentos*, 240, 212–221.
- 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.
- Pérez-Pérez LM, Huerta-Ocampo JÁ, Ruiz-Cruz S, Cinco-Moroyoqui FJ, Wong-Corral FJ, Rascón-Valenzuela LA, Robles-García M.A, González-Vega RI, Rosas-Burgos EC y Corella-Madueño MAG. 2021. Evaluation of Quality, Antioxidant Capacity, and Digestibility of Chickpea (*Cicer arietinum* L. cv Blanoro) Stored under N₂ and CO₂ Atmospheres. *Molecules* 2021, 26, 2773.

Pinho LS, Rodrigues CEC y Favaro-Trindade C. 2021. The Incorporation of Carotenoids on Ready to Eat Foods Studied Through Their Stability During Extrusion Processing. *Food Eng Rev* 13, 902–915 (2021).

Promsakha na Sakon Nakhon P, Jangchud K, Jangchud A y Charunuch C. 2018. Optimization of pumpkin and feed moisture content to produce healthy pumpkin-germinated brown rice extruded snacks. *Agriculture and Natural Resources*, 52(6), 550-556.

Rocha-Guzmán NE, Gallegos-Infante JA, Delgado-Nieblas CI, Zazueta-Morales JJ, González-Laredo RF, Cervantes-Cardoza V, Martínez-Bustos F y Aguilar-Palazuelos E. 2012. Effect of extrusion cooking on the antioxidant activity of extruded half product snacks made of yellow corn and pumpkin flours. *International Journal of Food Engineering*, 8(4).

Rodríguez-Vidal A. 2017. Desarrollo de una botana expandible enriquecida baja en grasa; Tesis Doctoral, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Querétaro, Doctorado en Tecnología Avanzada.

Repo-Carrasco JP, Zelada J y Zelada E. 2011. Desarrollo y elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.). *Ingeniería Industrial*, (29), 209-224. [Fecha de Consulta 12 de Junio de 2021].
ISSN: 1025-9929. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428495012>.

Ruiz-Armenta XA, Zazueta-Morales JJ, Aguilar-Palazuelos E, Delgado-Nieblas CI, López-Díaz A, Camacho-Hernández IL y Martínez-Bustos F. 2017. Effect of extrusion on the carotenoid content, physical and sensory properties of snacks

added with bagasse of naranjita fruit: optimization process. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 172–180.

Ruiz-Armenta XA, Zazueta-Morales JDJ, Delgado-Nieblas CI, Carrillo-López A, Aguilar-Palazuelos E y Camacho-Hernández IL. 2019. Effect of the extrusion process and expansion by microwave heating on physicochemical, phytochemical, and antioxidant properties during the production of indirectly expanded snack foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14261.

Ruiz-Corral JA, García-Medina G, González-Acuña IJ, Flores-López HE, Ramírez-Ojeda G, Ortiz-Trejo C, Byerly-Murphy KF y Martínez-Parra RA. 2013. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3.

INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 53-56 p.

Sánchez-Magaña L, Cuevas-Rodríguez EO, Gutiérrez Dorado R, Ayala A, Valdez A, Milán-Carrillo J y Reyes Moreno C. 2014. Solid-state bioconversion of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by *Rhizopus oligosporus* to improve total phenolic content, antioxidant activity and hypoglycemic functionality. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65(5), 558-564.

Segev A, Badani H, Kapulnik Y, Shomer I, Or-en-Shamir M, Galili S. 2010. Determination of polyphenols, flavonoids, and antioxidant capacity in colored chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Food Science*, 75: S115–S119.

- Sheng Gong E, Liu C, Li B, Zhou W, Chen H, Li T y Hai Liu R. 2020. Perfiles fitoquímicos del arroz y su actividad antioxidante celular contra el estrés oxidativo inducido por ABAP en células HepG2 de carcinoma hepatocelular humano. *Química alimentaria*, 126484.
- SIAP-SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en línea: [<http://www.siap.gob.mx>].
- Sofi SA, Khanday S y Jan A. 2018. Optimización y estudios de extrusionados de cebada incorporados a lenteja y calabaza. *Revista croata de ciencia y tecnología de los alimentos*, 10(2), 245–254.
- Tavares BO, Silva EP, Silva VSN, Soares Junior MS, Ida EI y Damiani C. 2016. Stability of gluten free sweet biscuit elaborated with rice bran, broken rice and okara. *Food Science and Technology*, 36(2), 296–303.
- Tovar-Jiménez X, Caro-Corrales J, Gómez-Aldapa CA, Zazueta-Morales J, Limón-Valenzuela V, Castro-Rosas J, Aguilar-Palazuelos E. 2015. Third generation snacks manufactured from orange by-products: physicochemical and nutritional characterization. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10), 6607–6614.
- Urias-Ruelas JY, Zazueta-Morales JJ, Camacho-Hernández IL, Aguilar-Palazuelos E, Delgado-Nieblas CI, Limón-Valenzuela V, Jacobo-Valenzuela N y Ordorica-Falomir CA. 2013. Memorias del VIII; Congreso del Noroeste, IV Nacional, en Ciencias Alimentarias y Biotecnología 2013, San Carlos, Nuevo Guaymas, Sonora, México.

- Wood JA y Grusak MA. 2007. Valor nutricional del garbanzo. En: Yadav, SS, Redden, B., Chen, W. y Sharma, B., Eds., Chickpea Breeding and Management, CAB International, Wallingford, 101-142.
- Wani SA y Kumar P. 2016. Effect of extrusion on the nutritional, antioxidant and microstructural characteristics of nutritionally enriched snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2), 166–173.
- Zazueta-Morales JJ, Martínez-Bustos F, Jacobo-Valenzuela N, Ordorica-Falomir C y 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 of the Science of Food and Agriculture*, 81(14):1379-1386.

XI. ABREVIATURAS

AACC	Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists
ABTST	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
CH	Contenido de humedad
CHCC	Contenido de harina de cáscara de calabaza
col	Colaboradores
CT	Carotenoides totales
CV	Coefficiente de variación
DA	Densidad aparente
DeoxiLib	Deoxi-D-Ribosa del extracto libre
DeoxiLig	Deoxi-D-Ribosa del extracto ligado

DPPHT	Capacidad antioxidante por el método DPPH total (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)
DPPHLib	Capacidad antioxidante por el método DPPH en extractos libres
DPPHLig	Capacidad antioxidante por el método DPPH en extractos ligados
EAG	Equivalentes de ácido gálico
ET	Equivalentes de trolox
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
g.a.a/g.s.s	Gramos de agua adsorbida / gramos de sólido secos
HCl	Ácido clorhídrico
IAA	Índice de adsorción de agua
IE	Índice de expansión
ISA	Índice de solubilidad en agua
Kg	Kilogramos
LDLLib	Lipoproteínas de baja densidad de extractos libres
LDLLig	Lipoproteínas de baja densidad de extractos ligados
mL	Mililitros
N	Newtons
Rpm	Revoluciones por minuto
Ton.	Tonelada
Trolox	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico

μm	Micrómetros
μL	Microlitros
%	Porcentaje
ΔE	Diferencia total de color