



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS

MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Efecto de la adición de bagazo de zanahoria (*Daucus carota* L.) en cereales para desayuno ricos en fibra elaborados por extrusión: características químicas y capacidad antioxidante

TESIS

Que presenta

I.B.Q. Jesús Alberto Ahumada Aguilar

Para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Directores

DR. JOSÉ DE JESÚS ZAZUETA MORALES

DRA. NOELIA JACOBO VALENZUELA

Culiacán, Sinaloa, México. Febrero de 2017

Este trabajo fue realizado en los laboratorios de “Procesos Térmicos”, “Caracterización Físicoquímica y Reológica” y “Análisis Funcionales” 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 la Dra. Noelia Jacobo Valenzuela, y asesoría del Dr. Carlos Iván Delgado Nieblas y la Dra. Irma Leticia Camacho Hernández. Jesús Alberto Ahumada Aguilar recibió beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán, Sinaloa el día 27 del mes de enero del año 2017, el (la) que suscribe Jesús Alberto Ahumada Aguilar, alumno (a) del Programa de la “Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos” con número de cuenta 0822363-7, de la Unidad Académica “Facultad de Ciencias Químico-Biológicas”, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de los Dres. José de Jesús Zazueta Morales y Noelia Jacobo Valenzuela, cede los derechos del trabajo titulado “Efecto de la adición de bagazo de zanahoria (*Daucus carota* L.) en cereales para desayuno ricos en fibra elaborados por extrusión: características químicas y capacidad antioxidante”, 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.

Jesús Ahumada

Jesús Alberto Ahumada Aguilar

AGRADECIMIENTOS

Al programa de **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos** de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de nuestra Universidad, así como a toda su planta docente por todos los conocimientos compartidos por ellos, además de permitirme usar sus instalaciones, materiales, reactivos, instrumentos y equipos de laboratorio 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** que siempre me apoyó en todos los aspectos en el proyecto, con sus incontables asesorías.

A la **Dra. Noelia Jacobo Valenzuela** por todos sus consejos, sugerencias, asesorías y regaños, todo su apoyo que fue para enriquecer enormemente este trabajo.

Al **Dr. Carlos Iván Delgado Nieblas** por su apoyo en cada etapa del proyecto, sus ideas, sus sugerencias fueron muy valiosas para el desarrollo y culminación del trabajo.

Al **Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos** y **Dra. Irma Leticia Camacho Hernández** por sus valiosos consejos, revisiones, asesorías y sugerencias brindados.

A mis compañeros de laboratorio: **Abraham, Xóchitl, Perla, Víctor, Claudia, Luis, Christian, Marco, Paty, Lupita, Bianca, Kike, Amado, Jessica, Jahir,**

Miguel, Silveria, Misael y Raúl por sus consejos, sugerencias y ayuda en los experimentos requeridos.

A mis compañeros y amigos de la **Generación 2014-2016** de la **MCTA** que siempre estuvieron apoyándome en la realización del proyecto.

A mis padres **Melchor** y **Marielos**, así como a mis hermanos **Luis** y **J. Eduardo** por su apoyo incondicional en esta etapa, sin ellos esto no hubiera sido posible.

A mi novia **Yessica**, por su comprensión y apoyo en cada momento, por aguantarme todos los días y alentarme a seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
I. RESUMEN	vi
ABSTRACT	viii
II. INTRODUCCIÓN	1
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
A. Cereales para desayuno (CPD)	3
1. Historia	3
2. Generalidades	4
3. Producción y consumo	5
4. Clasificación	10
5. Composición química	11
B. Materias primas para la elaboración de cereales para desayuno (CPD)	13
1. Trigo (<i>Triticum Ssp.</i>)	13
a. Aspectos generales	13
b. Producción	15
c. Composición química y aspectos nutrimentales	16
2. Avena (<i>Avena sativa L</i>)	18
a. Aspectos generales	18
b. Producción	20

c. Composición química y aspectos nutrimentales	21
3. Maíz (<i>Zea mays</i>)	21
a. Aspectos generales	21
b. Producción	22
c. Maíz amarillo	23
4. Zanahoria (<i>Daucus carota</i> L.)	26
a. Orígen	26
b. Morfología y taxonomía	26
c. Producción	28
d. Composición química y valor nutrimental	30
e. β -Caroteno y sus beneficios a la salud	33
f. Bagazo de zanahoria	36
C. Proceso de elaboración de cereales para desayuno (CPD)	38
1. Extrusión	38
2. Elaboración de cereales para desayuno (CPD) por extrusión	38
IV. JUSTIFICACIÓN	42
V. HIPÓTESIS	44
VI. OBJETIVOS	45
A. Objetivo general	45
B. Objetivos específicos	45
VII. MATERIALES Y MÉTODOS	47
A. Materiales	47
1. Materias primas	47

B. Métodos	47
1. Métodos experimentales	47
a. Obtención de cereales para desayuno (CPD)	47
2. Métodos químicos	48
a. Análisis proximal	48
3. Métodos fisicoquímicos	49
a. Tamaño medio de partícula	49
b. Índice de expansión (IE)	49
c. Densidad aparente (DA)	50
d. Esfuerzo de deflexión (σ)	50
e. Medición de color	52
f. Índice de absorción de agua (IAA)	52
g. Índice de solubilidad en agua (ISA)	53
4. Contenido de compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante	53
a. Carotenoides totales (CT)	53
1) Extracción de la muestra	53
2) Curva de calibración	54
3) Determinación de carotenoides totales	54
b. Compuestos fenólicos totales (CFT)	55
1) Extracto de la muestra	56
2) Curva de calibración	55
3) Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales	55
c. Capacidad antioxidante	56

1) Método ABTS (Ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico))	56
(a) Extracción de la muestra	56
(b) Curva de calibración	56
(c) Medición de capacidad antioxidante	58
2) Método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)	58
(a) Extracción de la muestra	58
(b) Curva de calibración	58
(c) Medición de capacidad antioxidante	59
C. Análisis estadístico	60
1. Diseño experimental	60
2. Análisis de datos	63
D. Evaluación sensorial	63
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
A. Estudio preliminar	65
1. Secado de bagazo de zanahoria	65
2. Extrusión	65
B. Caracterización de materias primas	66
1. Análisis proximal	66
2. Tamaño medio de partícula	66
3. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua	69
4. Contenido de carotenoides totales y compuestos fenólicos totales	71
C. Estudio de extrusión	71

1. Propiedades fisicoquímicas	74
a. Índice de expansión (IE)	74
b. Densidad aparente (DA)	77
c. Esfuerzo de deflexión (σ)	80
d. Parámetros de color	83
1) L*	83
2) a*	86
3) b*	89
4) ΔE^*	92
e. Índice de absorción de agua (IAA)	94
f. Índice de solubilidad en agua (ISA)	97
2. Capacidad antioxidante y contenido de compuestos fitoquímicos	100
a. Carotenoides totales (CT)	100
b. Retención de carotenoides (RC)	102
c. Compuestos fenólicos totales (CFT)	105
d. Retención de compuestos fenólicos (RCF)	107
e. Capacidad antioxidante ABTS	110
1) Extracto hidrofílico (EHF)	110
2) Extracto lipofílico (ELF)	111
f. Capacidad antioxidante DPPH	113
3. Optimización	117
4. Evaluación sensorial	123
IX. CONCLUSIONES	127

X.	BIBLIOGRAFÍA	129
XI.	ABREVIATURAS	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
1	Diagrama de flujo generalizado para la producción de cereales para desayuno.	6
2	Partes principales del trigo. Matz 1999.	17
3	Estructura química del β -caroteno.	34
4	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el índice de expansión (IE) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	74
5	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la densidad aparente (DA) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	79
6	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el esfuerzo de deflexión (σ) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	82
7	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el parámetro L^* (color) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	84
8	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el parámetro a^* (color) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	88
9	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el parámetro b^* (color) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	90

10	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la diferencia total de color (ΔE^*) de cereales para desayuno altos en fibra elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	93
11	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el índice de absorción de agua (IAA) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	96
12	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el índice de solubilidad en agua (ISA) de cereales para desayuno altos en fibra elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	99
13	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el contenido de carotenoides totales (CT) en cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	101
14	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la retención de carotenoides (RC) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	104
15	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	106
16	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la retención de compuestos fenólicos (RCF) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	109

17	Efecto de la humedad y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la capacidad antioxidante ABTS de extractos hidrofílicos (ABTS EHF) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	112
18	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la capacidad antioxidante ABTS de extractos lipofílicos (ABTS ELF) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	114
19	Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la capacidad antioxidante DPPH de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.	116
20	Optimización gráfica. Área de superposición de las respuestas como efecto de la humedad de alimentación (HA) y contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ), en la elaboración de cereales para desayuno mediante el proceso de extrusión.	119
21	Gráficas de análisis de frecuencias del estudio sensorial de cereales para desayuno obtenidos mediante el proceso de extrusión. (A) Aceptabilidad global; (B) Posibilidad de compra.	124

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Página
1	Exportaciones mundiales del año 2009 de cereales para desayuno.	9
2	Composición química nutricional de cereales para desayuno (100g).	14
3	Composición química del trigo.	19
4	Composición química del grano de maíz amarillo dentado USA, N°2.	25
5	Producción mundial, área cosechada y rendimientos en el cultivo de zanahoria (1998-2013).	29
6	Producción nacional, área cosechada y rendimientos en el cultivo de zanahoria (1998-2013).	31
7	Composición química y valor nutrimental de la zanahoria en 100 g de porción comestible.	32
8	Estudios recientes de cereales para desayuno (CPD) suplementados con harinas de frutas y hortalizas.	40
9	Diseño experimental del estudio de extrusión para 2 factores.	61
10	Factores y niveles de variación del diseño experimental para 2 factores ($\alpha=1.414$).	62
11	Composición proximal (b.s.) de las materias primas utilizadas para la elaboración de los CPD.	67
12	Distribución del tamaño medio de partícula (μm) de las materias primas utilizadas en la elaboración de CPD.	68
13	Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad (ISA) en agua de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de CPD.	70
14	Contenido de carotenoides totales (CT) y compuestos fenólicos totales (CFT) de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de CPD.	72
15	Análisis de varianza de las respuestas analizadas en cereales	73

	para desayuno adicionados con harina de bagazo de zanahoria.	
16	Comparación de los valores predichos por el modelo mediante optimización gráfica, y los valores experimentales obtenidos en la validación de las condiciones de procesamiento optimizadas.	120
17	Valores experimentales de propiedades químicas, fisicoquímicas, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de cereales para desayuno elaborados por el proceso de extrusión.	121

I. RESUMEN

La industria del jugo de zanahoria genera gran cantidad de subproductos (bagazo) que son subutilizados, provocando contaminación ambiental. Se ha reportado que estos subproductos pueden ser una fuente importante de compuestos bioactivos, tales como carotenoides, compuestos fenólicos, aceites esenciales y fibra dietaria. Por lo anterior, se ha sugerido la utilización de dichos subproductos para el enriquecimiento con sus compuestos bioactivos de diferentes alimentos elaborados mediante la tecnología de extrusión, destacando los cereales para desayuno. El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto de la humedad de alimentación (HA) y contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ), sobre propiedades químicas, fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. Se utilizó durante el procesamiento una formulación a base de salvado de trigo (52.70 %), salvado de avena (36.0 %) y grits de maíz amarillo (11.3 %), variando la humedad de alimentación (19.34-30.66 %) y CHBZ (5.51-22.49 %). Fue empleado un extrusor de laboratorio de tornillo simple (relación de compresión 1:1 y velocidad= 110 rpm), con una temperatura en la zona de salida= 125 °C. El análisis de los datos se realizó mediante la metodología de superficie de respuesta, utilizando un diseño central compuesto rotatable. Los menores valores de índice de expansión ($IE < 0.97$) y los mayores valores de densidad aparente ($DA > 222 \text{ kg/m}^3$) y esfuerzo de deflexión ($\sigma > 8.83 \text{ MPa}$), fueron encontrados a altos niveles de HA ($> 25 \%$) y CHBZ ($> 18 \%$). Asimismo, los mayores valores de índice de absorción de agua ($IAA > 6.68 \text{ g.a.a./g.s.s.}$), índice de solubilidad en agua ($ISA > 18.21 \%$), y los parámetros de color ($L^* > 79$, $a^* > 4.15$, $b^* > 32.03$ y $\Delta E > 10.3$)

fueron observados a altos niveles de CHBZ ($> 18 \%$). De igual manera, fueron obtenidos altos valores de carotenoides totales ($CT > 288 \mu\text{g/g b.s.}$), retención de carotenoides ($RC > 110 \%$), capacidad antioxidante ABTS EHF ($> 2,170 \mu\text{mol ET/100 g}$), ABTS ELF ($> 1,120 \mu\text{mol ET/100 g}$) y DPPH ($> 860 \mu\text{mol ET/100 g}$) a bajos niveles de HA ($< 25 \%$) en combinación con altos niveles de CHBZ ($> 15 \%$). Por otro lado, el mayor contenido de compuestos fenólicos totales ($CFT > 1.18 \text{ mg EAG/g b.h.}$) y retención de compuestos fenólicos ($RCF > 114 \%$) se observó a bajos niveles CHBZ ($< 8 \%$) en todo el rango de HA. Se obtuvieron las condiciones óptimas de procesamiento ($HA = 24.48 \%$; $CHBZ = 20.21 \%$) mediante el método gráfico, utilizando las respuestas σ , IAA, RCT y ABTS ELF, obteniendo valores predichos por el modelo en el punto central de dicha área para $\sigma = 8.45 \text{ MPa}$, $IAA = 7.56 \text{ g.a.a./g.s.s.}$, $RCT = 121.32 \%$ y $ABTS \text{ ELF} = 1,253.88 \mu\text{mol ET/100 g}$. Asimismo, no se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los valores predichos por el modelo y los valores reales en la validación. Los resultados obtenidos indican que es posible adicionar bagazo de zanahoria en la elaboración de cereales para desayuno extrudidos, con buenas características físicas, fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes. El consumo de estos cereales podría tener beneficios potenciales en la salud, debido al importante contenido de compuestos bioactivos aportados por las materias primas utilizadas para su elaboración.

ABSTRACT

The carrot juice industry generates a large number of by-products (bagasse) that are underutilized, causing pollution. It has been reported that these by-products may be a high source of bioactive compounds, such as carotenoids, phenolic compounds, essential oils, and dietary fiber. Therefore, it has been suggested the use of such by-products to enrich with their high bioactive compounds diverse foods manufactured by extrusion technology, for instance, the breakfast cereals. The objective of the present work was to study the effect of moisture content (MC) and carrot bagasse content (CBC) on the chemical, physicochemical, phytochemical and antioxidant properties of breakfast cereals elaborated by the extrusion process. A formulation based on wheat bran (52.7 %), oat bran (36.0 %) and yellow corn grits (11.3 %) was used for the production of the breakfast cereals, varying the MC (19.34-30.66 %) and CBC (5.51-22.49 %). A single screw laboratory extruder (1:1 compression ratio and speed = 110 rpm) was used, having a temperature in the outlet zone = 125 °C. The data analysis was performed using the response surface methodology with a rotatable central composite design. The lower values of expansion index ($EI < 0.97$), and higher values of bulk density ($BD > 222 \text{ kg/m}^3$) and deflection effort ($\sigma > 8.83 \text{ MPa}$) were found at high levels of MC ($> 25 \%$) and CBC ($> 18 \%$). Also, the highest values of water absorption index ($WAI > 6.68 \text{ g.a.w./g.d.s.}$), water solubility index ($WSI > 18.21\%$), and the color parameters ($L^* > 79$, $a^* > 4.15$, $b^* > 32.03$ and $\Delta E > 10.3$) were observed at high levels of CBC ($> 18\%$). Similarly, high values of total carotenoids ($TC > 288 \text{ } \mu\text{g/g d.b.}$), total carotenoids retention ($TCR > 110 \%$), antioxidant capacity ABTS HE ($> 2,170 \text{ } \mu\text{mol TE/100 g}$), ABTS LE ($> 1,120 \text{ } \mu\text{mol}$

TE/100 g) and DPPH ($> 860 \mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$) were obtained at low levels of MC ($< 25\%$) in combination with high levels of CBC ($> 15\%$). On the other hand, the highest content of total phenolic compounds (TPC $> 1.18 \text{ mg EGA/g w.b.}$) and retention of phenolic compounds (RPC $> 114 \%$) was observed at low CBC levels ($< 8\%$) throughout the MC range. The optimal processing conditions (MC = 24.48 %; CBC = 20.21 %) were obtained by the graphical method, using the variables of response σ , WAI, CR and ABTS LE, obtaining predicted values by the used model, at the center point of the optimal area, for $\sigma = 8.45 \text{ MPa}$, WAI = 7.56 g.a.w./g.d.s., TCR = 121.32 %, and ABTS LE = 1,253.88 $\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$. Also, there was no significant difference ($p > 0.05$) between the predicted and the validated values. The obtained results indicate that it is possible to add carrot bagasse for the production of extruded breakfast cereals with good physical, physicochemical, phytochemical and antioxidant characteristics. The consumption of these cereals might have potential health benefits due to the important content of bioactive compounds provided by the raw materials used in its elaboration.

II. INTRODUCCIÓN

El desayuno es una de las principales comidas del día y debería cubrir el 25 % de las necesidades nutritivas, su omisión o la ingesta de un desayuno insuficiente, podría repercutir en las actividades físicas e intelectuales de los adolescentes, como disminución de la atención y del rendimiento académico, especialmente en las primeras horas del día. En los últimos años, se han realizado diferentes estudios sobre la influencia de la calidad del desayuno o de su omisión en el rendimiento cognitivo y académico, ya que parece que la función cerebral es sensible a variaciones a corto plazo, en la variabilidad del aporte de nutrientes (Fernández 2008).

Una gran parte de la población, desprecia el desayuno, o simplemente consume un poco de alimento por la mañana, debido a los rígidos horarios y estrés laboral. Antiguamente se acostumbraba consumir alimentos entre el desayuno y la comida, en el denominado almuerzo, pero debido al poco tiempo con el que las personas cuentan, a consecuencia de su ajustado horario de trabajo, este ha desaparecido y por consiguiente, el desayuno es la única fuente de energía para las primeras horas del día (García 2010).

En los últimos años, se han desarrollado cereales para desayuno (CPD), los cuales además de satisfacer las necesidades energéticas para el desayuno, pueden brindar los requerimientos diarios de vitaminas y minerales, ya que éstos, por lo general son fortificados y enriquecidos. Por otro lado, para su elaboración se pueden suplementar con materias primas que aporten un importante contenido de compuestos bioactivos, los cuales pueden generar potenciales beneficios en la salud del consumidor.

III. REVISIÓN DE LA LITERATURA

A. Cereales para desayuno (CPD)

1. Historia

Los cereales para desayuno tradicionalmente son productos extrudidos que se consumen con leche cuyo principal componente es el almidón (Kellogg's 2014). El primer cereal para el desayuno, "Granula", fue inventado en 1863 por James Caleb Jackson, en Dansville, Nueva York. El cereal no prosperó por ser impráctico en su forma de preparación, ya que los mismos necesitaban permanecer en remojo durante la noche anterior para poder ser aptos para el consumo (Lezcano 2010).

En 1877, John Harvey Kellogg, inventó un bizcocho elaborado a partir de trigo, avena y harina de maíz para pacientes del Sanatorio Battle Creek que sufrían problemas intestinales. Inicialmente, su producto también se llamó "Granula", pero se cambió a "Granola" tras un fallo judicial. Más tarde, su hermano, Will Keith Kellogg inventó los copos de maíz y fundó la empresa Kellogg's Company en 1906 (Corn Flakes de Kellogg's es su marca más conocida) (Lezcano 2010).

Un antiguo paciente del Sanatorio Battle Creek, C. W. Post, inició una empresa rival (Post) y creó otra de las grandes marcas de hojuelas o copos de maíz en los Estados Unidos, los *Post Toasties*. Actualmente, existen muchas otras marcas producidas por diferentes fabricantes (más de 76 marcas en los Estados Unidos) (Lezcano 2010).

2. Generalidades

Son considerados cereales para desayuno (CPD) aquellos cereales en copos o expandidos que son elaborados a base de granos de cereales sanos, limpios y de buena calidad, enteros o molidos, preparados mediante diferentes técnicas, aptos para ser consumidos directamente o previa cocción. Estos podrán contener ingredientes adicionales autorizados (Sánchez 2003).

Los cereales están compuestos principalmente por carbohidratos, pero contienen cantidades considerables de proteínas (6 % en el arroz, 12 % en trigo o maíz), y bajos contenidos de grasas, principalmente insaturadas. La producción de una gran variedad de presentaciones de cereales expandidos de trigo, avena, arroz y maíz es en la actualidad un reto comercial, y el control de calidad de éstos se hace cada vez más exigente. En la alimentación humana el trigo es el principal cereal en los Estados Unidos y Canadá, el maíz en México y Sudamérica, el arroz en China, Japón y la India, el centeno en Rusia y Europa Central; la avena por su parte está más limitada como consumo en la alimentación humana (Brand y col 2003).

Las industrias de cereales para desayuno son de las más versátiles y tecnificadas. Los productos terminados son convenientes y prácticos ya que requieren el mínimo de cocimiento o preparación y tienen una prolongada vida de anaquel. En la actualidad, esto ha tomado más importancia dado al creciente número de amas de casa que desempeñan otras labores y en general al acelerado tren de vida cotidiano (Serna-Saldívar 2009).

En los Estados Unidos el 21 % del total de calorías que se ingiere procede de los cereales, en tanto que en algunos países de Asia se alcanza hasta un 64 %. Por otro lado, se conoce que en todo el mundo los cereales aportan casi la mitad (47 %) de las proteínas de la dieta. Los cereales aportan entre 300-400 kcal por cada 100 g, 10-12 g de proteínas, 60-80 g de carbohidratos disponibles entre azúcares y almidones, y 10-15 g de fibra dietética. El principal carbohidrato de los cereales es el almidón seguido de la celulosa y los azúcares. Estos son los responsables de la estabilidad de los mismos, ya que su velocidad de degradación podría influir en los tiempos de estabilidad de dichos productos (Charley 2000).

Los granos de los cereales son parecidos entre ellos y se diferencian o distinguen por sus tres partes principales: el salvado, el germen o embrión, y el endospermo. El endospermo es la porción más grande de un grano de cereal y está compuesto principalmente de células que almacenan almidones que se encuentran embebidos en una matriz de proteínas (Charley 2000; Callejo 2002).

Los granos completos de los cereales son una fuente importante de hierro, tiamina, niacina y fuentes moderadas de riboflavina, son buena fuente de proteína y proporcionan cantidades apreciables de fibra; sin embargo al ser procesados mediante soplado, expandidos, precocidos, vaporizados entre otros procesos, pierden muchas de estas propiedades y se requiere que se repongan por enriquecimiento, conjuntamente con adiciones de calcio y otros minerales (Prieto y col 2005).

Los cereales en copos o expandidos son alimentos adecuados para el desayuno, ya que aportan muchos hidratos de carbono, por lo que se consideran alimentos energéticos, presentando también proteínas, grasas, vitaminas, minerales y fibra. Para su consumo habitual, conviene elegir los de menor contenido en sodio, azúcares sencillos, y grasas saturadas (Anónimo 2004).

Los cereales para desayuno son producidos a partir de granos enteros pulidos o descascarados y principalmente de la materia prima obtenida de los diferentes procesos de molienda (Serna-Saldívar 2009).

En general, los procesos de manufactura incluyen la combinación de ingredientes o materias primas, cocimiento, formación, horneado y/ o freído, saborizado, envasado y embalaje (**Figura 1**). El cocimiento se realiza en ollas rotativas de presión, cocedores de chaqueta de vapor o extrusores de producción continúa. Los cocedores de presión o camisa de vapor generalmente procesan granos enteros o *grits* de alta granulometría, mientras que los extrusores están diseñados para procesar *grits* más pequeños, sémolas e inclusive harinas. El proceso de extrusión es utilizado para la manufactura de dos clases principales de productos: expandidos y pellets o comprimidos (Serna-Saldívar 2009).

3. Producción y consumo

A nivel mundial en el año 2008 la producción de cereales para el desayuno fue de aproximadamente 50 mil toneladas. El consumo per cápita anual se estima que fue de 0.49 kg/año en ese año, mientras que en el año 2009, con una



Figura 1. Diagrama de flujo generalizado para la producción de cereales para desayuno.

producción similar a la del 2008, fue de 0.5 kg/año. El incremento del consumo per cápita de 2009 tiene que ver con que el principal exportador volcó una mayor proporción de su producción al mercado doméstico (Lezcano 2010).

Desde el año 2002, el consumo y la producción de cereales para el desayuno han venido incrementándose gracias a las inversiones que los productores han realizado para aumentar la capacidad instalada. En ese momento, el consumo per cápita ascendía de 200-300 g/año, sin embargo, el consumo de cereales para desayuno ha aumentado en Europa, variando desde 0.5 kg/año en Italia a 8 kg/año en Irlanda (Lezcano 2010).

En los Estados Unidos, la industria de los cereales para el desayuno es un oligopolio con cuatro grandes empresas (Kellogg's, General Mills, Post y Quaker Oats, la cual fue adquirida por PepsiCo en el año 2001) y otras empresas más pequeñas, que en 1995 poseían una pequeña parte del mercado, aproximadamente el 13.6 %, con las cuatro grandes empresas ostentando el otro 86.4 % (Lezcano 2010).

En 2009, la industria de los cereales para desayuno en los Estados Unidos contabilizó ingresos por US\$ 11,125 millones, que significó un incremento del 3 % respecto a 2008. Se contaba con 69 establecimientos que correspondían a 43 empresas, el sector daba empleo a 15,250 personas, con un total de US\$ 425.1 millones exportados (Lezcano 2010).

En cuanto a los distintos tipos de productos que se comercializan como cereales para el desayuno a nivel mundial, se puede apreciar que los que encabezan el mercado exportador, año a año, son los "productos a base de

cereales obtenidos por inflado o tostado de cereales” (incluye a los tradicionales copos o flakes de maíz), tanto en volumen como en valor, siendo su participación del 81 y 62 %, respectivamente en promedio de 2004 a 2008 (Lezcano 2010).

El crecimiento mundial del volumen de las exportaciones de los cereales para desayuno a lo largo del último ciclo 2004-2008 se debe principalmente a la creciente concientización de los consumidores respecto a temas referentes a la salud y a la naturaleza sana de estos productos. Alemania, Reino Unido, Francia, Estados Unidos y Canadá han sido los principales países exportadores de cereales para desayuno a lo largo de los últimos cinco años, en el **Cuadro 1** se puede observar la exportación mundial del año 2009 (Lezcano 2010).

En el período 2004-2008, los diez primeros países exportadores de cereales para desayuno han concentrado, en promedio, una participación del 72 % respecto al volumen total comercializado y del 79 %, en cuanto al valor. La tendencia indica que ha acontecido una pérdida de poder por parte de los diez principales exportadores; mientras que en el 2004 captaban el 80.3 % del valor de las exportaciones de estos productos, en 2008 obtuvieron el 77.7 %. Lo mismo ocurrió en cuanto al volumen que concentraban los diez primeros países exportadores al inicio del período bajo análisis y hacia el final del mismo (78.5 % y 64.3 %, respectivamente). México para el año 2009 ocupó el séptimo lugar en exportación con una producción de 52,072 toneladas las cuales representaron el 3.3 % de la producción mundial (Lezcano 2010).

Cuadro 1. Exportaciones mundiales del año 2009 de cereales para desayuno.

Exportaciones mundiales de 2009

País exportador	Toneladas	Millones US\$	Participación (%)	
			Volumen	Valor
Reino Unido	225,218	681	13.5	18.7
Alemania	268,401	653	16.0	17.9
Estados Unidos	210,731	408	12.6	11.2
Francia	120,176	341	7.2	9.4
Canadá	216,421	301	12.9	8.3
Bélgica	87,106	214	5.2	5.9
México	56,072	175	3.3	4.8
China	63,801	128	3.8	3.5
Australia	65,369	75	3.9	2.1
Guatemala	28,318	56	1.7	1.5
Otros	332,465	608	19.9	16.7
Totales	1'674,076	3,640	Concentración de los 1eros 10 exportadores	
			80.1%	83.3%

Dir. Nal. Transformación y comercialización de Prod. Agrícolas y Forestales-MAGyP con datos UN ComTrade 2010. *Polonia, España y Holanda se encuentran entre los 10 primeros exportadores pero no reportaron datos de comercio exterior.

4. Clasificación

En el mercado se pueden encontrar una gran variedad de cereales para desayuno, entre ellos se encuentran los siguientes (Lezcano 2010):

Los copos: se obtienen de harinas refinadas y contienen sal, azúcar y malta entre otros ingredientes. Suelen estar fortificados con vitaminas y minerales, con el fin de compensar el efecto del proceso de refinado al que se someten las harinas.

Los inflados: se elaboran insuflando aire a presión a pequeños fragmentos de masa creados con harina refinada de diversos granos. Son más ligeros y crujientes que otros cereales pero contienen menos fibra.

Integrales y ricos en fibra: las variedades integrales se elaboran con el grano entero del cereal. Su aporte nutritivo y de fibra es mayor que el de los cereales refinados. También son ricos en fibra los que incorporan frutos secos y frutas desecadas.

Muesli: se compone de cereales (avena, arroz inflado, trigo, maíz, etc.), frutos secos (nueces, almendras, avellanas, etc.) y frutas desecadas o deshidratadas (pasas, manzana, plátano, coco, fresas, etc.).

Las barritas de cereales: pesan poco, caben en cualquier bolsillo, resisten mejor el calor y el frío sin necesidad de aislante térmico, se deshacen en la boca casi sin esfuerzo y se digieren fácilmente, pero aportan menos energía y

nutrientes que un puñado de cereales ingeridos junto a una taza de leche. Sus ingredientes son: salvado, copos de avena, trigo, maíz, arroz, pasas, almendras, manzana, azúcar, miel, lactosa y otros componentes lácteos, leche en polvo, chocolate, etc. Algunos fabricantes las enriquecen con proteínas lácteas o vegetales, como las de soya (Lezcano 2010).

Oatmeal, porridge o gachas: las gachas de avena pueden hacerse con granos cortados a cuchillo (tradicional en Irlanda y Escocia) o con copos de avena (tradicional en Inglaterra y los Estados Unidos). Se conocen simplemente como porridge (“gachas”) en el Reino Unido, Australia, Nueva Zelanda y Canadá, y como oatmeal (“harina de avena”) en los Estados Unidos. Son también un desayuno tradicional en Escandinavia e Islandia, conociéndose como *havregrøden* en Dinamarca, *havregrynsgröt* en Suecia, *havregrøten* en Noruega, *hafragrautur* en Islandia, y *puuro* en Finlandia.

En todos los casos, es común que el productor decida fortificar este tipo de productos con vitaminas y minerales como el hierro para complementar el aporte nutricional de los mismos (Lezcano 2010).

5. Composición química

Los cereales para desayuno son un grupo de alimentos que presentan una gama de distintos productos con diferente composición química nutricional. El común denominador de estos productos es que contienen baja cantidad de grasa y la mayoría son saborizados con azúcares o jarabes. La tendencia actual es hacia la manufactura de productos con alta cantidad de fibra dietética, y

enriquecidos o fortificados con vitaminas y minerales. Existen algunos que contienen cantidades adicionales de casi todos las vitaminas y minerales esenciales. Los cereales para desayuno, como primera comida del día, son principalmente alimentos energéticos. La mayoría de la energía es aportada por el almidón parcialmente o totalmente gelatinizado. Esta energía es bien aprovechada dado a que el almidón es altamente digerido y absorbido en forma de glucosa. Los cereales para desayuno con alta cantidad de fibra dietética se caracterizan por contener menos energía digestible, por ayudar a las funciones gastrointestinales y tener índice glucémico bajo. Los cereales que contienen avena o fibra dietética soluble pueden tener efectos terapéuticos en el control de la hipercolesterolemia. Las vitaminas del complejo B, provenientes de la materia prima y del programa de enriquecimiento y fortificación, ayudan a que la energía se metabolice más eficientemente ya que estas vitaminas actúan como cofactores en el metabolismo de carbohidratos (Serna-Saldívar 2009).

Los cereales para desayuno en México deben sujetarse a lo establecido por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-086-SSA1-1994 como un alimento con modificaciones en su composición por disminución, eliminación o adición de nutrimentos, la cual establece las especificaciones nutrimentales a que deben sujetarse dichos productos.

La NOM-247-SSA1-2008 establece las especificaciones relacionadas con el proceso de las harinas de cereales, sémolas o semolinas, alimentos preparados a base de cereales, de semillas comestibles, de harinas, de sémolas o semolinas o sus mezclas.

La proteína de los cereales de desayuno puede ser aprovechada de manera más eficiente por el consumidor, ya que la mayoría de las veces se consume con leche, la cual presenta una excelente calidad proteica. La leche, además aporta cantidades importantes de calcio. En conclusión, un cereal para desayuno con fibra dietética y baja cantidad de azúcares solubles, consumido con leche, es una excelente fuente de nutrientes para personas saludables, además de ser adecuado para diabéticos. En el **Cuadro 2** se muestra la composición química de los principales cereales para desayuno. Cabe mencionar que los atributos nutritivos son listados sin considerar a la leche, ingrediente que sirve como vehículo de consumo en la mayoría de estos productos (Serna-Saldívar 2009).

B. Materias primas para la elaboración de cereales para desayuno (CPD)

1. Trigo (*Triticum ssp.*)

a. Aspectos generales

El trigo (*Triticum ssp.*), es una planta gramínea anual con espigas de cuyos granos molidos se obtiene la harina. Los granos de trigo común pueden ser blandos o duros. La altura de la planta varía entre 30 y 150 cm; el tallo es recto y cilíndrico; la hoja es lanceolada, cada planta tiene de 4 a 6 hojas. El mejor cultivo del trigo se consigue en terreno cargado de marga y arcilla, aunque el rendimiento es satisfactorio en terrenos más ligeros. Prospera en climas sub-tropicales, moderadamente templados y fríos. En la siembra al voleo se emplean de 150 a 180 kg/ha, y si se realiza en líneas esta cantidad disminuye de 120 a 125 kg/ha, si

Cuadro 2. Composición química nutricional de cereales para desayuno (100g).

Nutriente	All-Bran Original	Corn Flakes	All-Bran Copos	All-Bran Salvado	Raisin Bran	Special K	Hojuelas de avena
Humedad (%)	2.12	3.76	2.5	3	10.4	3	3
Energía (kcal)	260	357	327	257	314	378	395
Proteína (%)	13.14	7.5	10.2	8.9	7.72	18.7	9.2
Lípidos (%)	4.9	0.4	2.5	2.5	2.72	1.7	14.1
Carbohidratos (%)	74.24	84.1	81.6	81	77.29	73	70.3
Fibra dietaria total (%)	26.3	3.3	17.3	42.5	11.4	1.1	12.7
Azúcares totales (%)	15.69	9.5	18.8	26.7	31.3	12.2	28
Minerales							
Ca (mg)	389	7	52	63	43	35	59
Fe (mg)	17.6	28	62.1	15	12.33	28	3.7
Mg (mg)	162	39	138	200	122	13	153
P (mg)	1150	102	517	500	347	74	278
K (mg)	1020	168	518	811	596	65	403
Na (mg)	258	729	718	685	356	709	280
Zn (mg)	12.4	1	51.7	5	3.39	1.3	3.1
Vitaminas							
C (mg)	20	21	207	20	0	68	31
B1 (mg)	2.27	1.34	5.17	1.25	0.753	1.69	0.77
B2 (mg)	2.71	1.52	5.86	1.42	1.08	1.92	0.87
Niacina (mg)	14.8	17.9	69	16.7	13.8	22.6	10.2
B6 (mg)	12	1.79	6.9	6.67	1.843	6.45	1.02
Folacina (µg)	2198	583	2331	2237	328	2180	334
B12 (µg)	18.8	5.4	20.7	20	4.3	19.4	3.1
A (UI)	1747	1786	2586	1667	1289	2419	816

Fuente: USDA (2014)

el trigo se destina a forraje verde se emplea mayor cantidad de semilla. La cosecha se realiza cuando los tallos han perdido por completo su color verde y el grano tiene suficiente consistencia. El corte del tallo se lleva a cabo a unos 30 cm del suelo (SIAP-SAGARPA 2013).

El trigo es nativo de los países áridos de Asia occidental. Su uso como alimento se remonta a la era de la edad de piedra. Alrededor de 600 géneros de gramíneas se han desarrollado, entre ellos el género *Triticum*, de los cuales los siguientes son los principales grupos (Cornell y Hoveling 1988):

- *Aestivum* (vulgare)- Trigo blando
- *Durum*- Trigo duro
- *Compactum*- Trigo racimoso o Trigo club
- *Turgidum*- Trigo poulard o Australiano
- *Dicocum*- Trigo Emmer
- *Spelta*- Trigo espelta
- *Polonicum*- Trigo polaco

El trigo es el cereal que más se utiliza en la alimentación humana, su importancia reside principalmente en su valor energético alto, además de que contiene más proteínas que el maíz y el arroz (SIAP-SAGARPA 2013).

b. Producción

La producción a nivel mundial que engloba todas las clases de trigo existentes en el año 2014 fue de 728,966,757 toneladas (t), de una superficie

cosechada de 221,615,921 hectáreas (ha). El principal país productor de trigo fue China, seguido de India, Estados Unidos, Rusia, Francia, Alemania, Pakistán, Canadá, y Australia (FAO 2016). En el mismo año 2014, México contó una producción de trigo de 3'669,814 t, de una superficie cosechada a nivel nacional de 706,611 ha, siendo Sonora el principal estado productor, ya que obtuvo una producción de 1'784,562 t que representó el 54% de la producción nacional. Sinaloa ocupó el octavo lugar en producción de dicho cereal con una producción de 88'111 t (SIAP-SAGARPA 2013).

c. Composición química y aspectos nutrimentales

Los granos de trigo son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. Están formados por tres partes principales (**Figura 2**): el salvado o parte externa, el germen o embrión, y el endospermo, que es la parte más interna del grano. El germen sobresale en uno de los extremos y en el otro hay un mechón de pelos finos, el resto del grano se denomina endospermo, el cual es un depósito de alimentos para el embrión que representa el 82 % del peso del grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco), una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada (Ritchie y col 2000).

El pericarpio y la testa, junto con la capa de aleurona, conforman el salvado de trigo. El salvado está formado por numerosas capas ricas en vitaminas y minerales, así como con un alto contenido en proteína. La capa de aleurona se localiza entre el salvado y el endospermo. Esta capa juega un papel fundamental

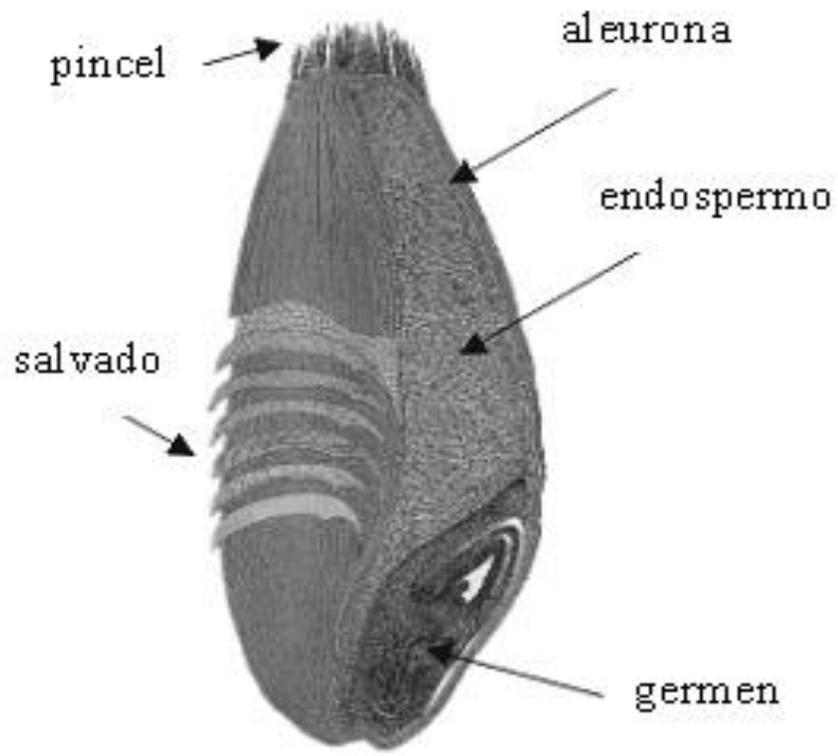


Figura 2. Partes principales del trigo. Matz 1999.

en el desarrollo del embrión durante la germinación (Ritchie y col 2000). La capa de aleurona contiene concentraciones altas de diversas sustancias importantes nutricionalmente, y por ello resulta muy interesante conseguir su aprovechamiento (Antoine y col 2002).

El germen es la parte donde se inicia el origen de una nueva planta. El germen de trigo es una de las fuentes más ricas en vitaminas del grupo B y E, y contiene proteínas, grasas y minerales (Antoine y col 2002).

El endospermo está formado principalmente por almidón, proteínas y, en menor medida, celulosas, presentando un bajo contenido de vitaminas y minerales. La harina blanca de trigo está formada predominantemente por el endospermo. Esta harina es la única que tiene la habilidad de formar una masa cohesiva y tenaz, capaz de retener gases y dar productos aireados y livianos después de su cocción. Esta propiedad se debe a su composición química (**Cuadro 3**), y en especial a las proteínas y su capacidad para formar gluten (Matz 1999).

2. Avena (*Avena sativa* L)

a. Aspectos generales

La avena es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia de las gramíneas. Posee raíces más abundantes y profundas que las de los demás cereales; los tallos son gruesos y rectos, pueden variar de medio metro hasta metro y medio, están formados por varios entrenudos que terminan en gruesos nudos; las hojas son planas y alargadas; su borde libre es dentado, el limbo de la

Cuadro 3. Composición química del trigo.

Componente	Porcentaje (%)
Humedad	8.0 -18.0
Carbohidratos	60.0 – 68.0
Proteínas	7.0 – 18.0
Grasas	1.5 - 2.0
Fibra dietaria	2.0 – 2.5
Cenizas	1.5 – 2.0

(Matz 1999)

hoja es estrecho y largo; la flor es un racimo de espiguillas, situadas sobre largos pedúnculos y el fruto es en cariósipide, con las glumillas adheridas (García 2003).

Las avenas cultivadas tienen su origen en Asia Central. La historia de su cultivo es más bien desconocida, aunque parece confirmarse que este cereal no llegó a tener importancia en épocas tan tempranas como el trigo o la cebada, ya que, antes de ser cultivada, la avena fue considerada como una mala hierba de estos cereales. Los 5 primeros restos arqueológicos se hallaron en Egipto, y se supone que eran semillas de malas hierbas, ya que no existen evidencias de que la avena fuera cultivada por los antiguos egipcios. Los restos más antiguos encontrados de cultivos de avena se localizan en Europa Central, y están datadas de la Edad del Bronce (García 2003).

b. Producción

La producción a nivel mundial de avena en el año 2014 fue de 22'965,903 t, de una superficie cosechada de 9'596,956 ha. El principal país productor de avena fue Rusia, seguido de Canadá, Polonia, Australia, Finlandia, Estados Unidos, Alemania, Suecia, y España. Asimismo, en ese mismo año, México ocupó el lugar número treinta y cuatro con una producción de 93,021 t, representando solamente el 0.41 % de la producción mundial, empleando una superficie cosechada a nivel nacional de 52,596 ha. Sinaloa no es productor de dicho cereal (SIAP-SAGARPA 2013; FAO 2016).

c. Composición química y aspectos nutrimentales

La avena (*Avena sativa* L) es un grano importante para la alimentación animal, pero su consumo en la alimentación humana tradicionalmente está limitado a productos infantiles como cereal para desayuno, no obstante tiene muy buenas propiedades nutritivas. En años recientes su consumo se ha incrementado y trata de diversificarse su uso, pues se tiene un mayor conocimiento sobre su relación con una serie de beneficios para la salud. Este grano destaca entre los cereales por presentar un aporte energético y nutricional más equilibrado, contiene aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas y minerales imprescindibles para el organismo, y principalmente por su contenido de fibras alimentarias, entre las que sobresalen los β -glucanos, polisacáridos de estructura lineal, no amiláceos, que constituyen aproximadamente 85 % de la fracción soluble de las fibras. Se ha asociado el consumo de este tipo de fibra con un efecto reductor del colesterol (total y LDL-colesterol) en la sangre y con una atenuación en la respuesta postprandial de glucosa, por lo que reducen el riesgo de enfermedades coronarias y de diabetes mellitus tipo II, respectivamente (Venegas y col 2009).

3. Maíz (*Zea mays* L.)

a. Aspectos generales

El maíz es un cereal que se cree nació en México hace 7,000 años (5,000 antes de Cristo). En aquella época no existía México como país, por eso se dice que es originario de Mesoamérica, territorio que comprende parte de nuestro país y una parte de los países centroamericanos; donde los mesoamericanos lo

utilizaban no sólo para alimentarse, sino también como parte importante de sus ceremonias religiosas (SIAP-SAGARPA 2012).

El maíz pertenece a la familia Gramineae (Poaceae) del género *Zea* y de la especie *mays*; los científicos en el mundo lo conocen como *Zea mays* L. (Reyes-Castañeda 1990). Existen muchas variedades de maíz en el mundo: rojo, morado, negro, naranja, amarillo, siendo este cereal utilizado no sólo para preparar tortillas, sopes, tamales o palomitas, sino que es un ingrediente esencial de cerca de 4 mil productos como el jarabe, el aceite, la harina o la fécula de maíz, por mencionar sólo algunos. Las bebidas dulces, como los jugos o refrescos, la pintura, el papel, la pasta de dientes, y hasta los cosméticos son ejemplo de ello (SIAP-SAGARPA 2012).

b. Producción

La producción a nivel mundial de maíz en el año 2014 fue de 1'038'281,035 t, de una superficie cosechada de 183'319,737 ha. El principal país productor de maíz fue Estados Unidos, seguido de China, Brasil, México, Argentina, India, Ucrania, Indonesia y Francia. En dicho año, México presentó una producción de 23'273,257 t de maíz, de una superficie cosechada a nivel nacional de 7'060,275 ha, siendo Sinaloa el principal estado productor con una producción de 3'646,875 t, que representó el 16.5 % de la producción nacional (SIAP-SAGARPA 2013; FAO 2016).

El maíz posee una gran importancia en el comercio internacional siendo uno de los principales cultivos sembrados alrededor del mundo. En algunos

países, como en el caso de México, este producto es la base de la dieta diaria. En la actualidad el consumo per cápita de maíz en México es de alrededor de 123 kg/año (FAO 2013).

c. Maíz amarillo

Según Vielma (1998), el maíz amarillo es una importante fuente de nutrientes como lo son niacina, riboflavina, carotenos y xantofilas, siendo estos dos últimos precursores de la vitamina A. Los principales carotenoides presentes en el maíz amarillo son luteína y zeaxantina, además se encuentran pequeñas cantidades de β -criptoxantina y β -caroteno (Duarte de Oliveira y Rodríguez-Amaya 2007). De acuerdo con Lozano-Alejo y col (2007), β -criptoxantina y β -caroteno pueden ser convertidos a vitamina A. La deficiencia de vitamina A es una de las principales causas de mortalidad y ceguera infantil en el mundo (Demasse-Mawamba y col 2009). Asimismo, se ha reportado que los carotenoides presentes en el maíz amarillo, protegen contra la degeneración macular relacionada con la edad, la principal causa de ceguera en personas de edad avanzada en el mundo industrializado (Krinsky y col 2003). Las harinas de maíz amarillo presentan un contenido de vitamina A mayor a las harinas de maíz blanco, mientras que en el resto de vitaminas presentan valores muy similares. Se ha reportado que los maíces amarillos tienen mayor contenido de carbohidratos y producen mayor energía en los animales que las variedades de maíz blanco (Reyes-Castañeda 1990). El maíz amarillo en grano al igual que el maíz blanco, también se utiliza para consumo humano en una amplia variedad de platillos; sin embargo, en México su principal destino es la alimentación del ganado y la producción de

almidones (Paliwal y Granados 2001). Además, se ha reportado que es fuente importante de vitamina E, siendo preferido por la agroindustria de alimentos para la alimentación de animales, ya que otorgan a la yema de huevos su color amarillo (Alfaro y col 2004; Alfaro-Jiménez y Segovia-Segovia 2009). De igual forma, se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina en este cereal (Solares-Juárez 2003). El grano de maíz está compuesto principalmente por el endospermo, el cual constituye aproximadamente el 82% del grano y presenta la mayor cantidad de almidón (el 86.6% promedio del almidón total del grano), conteniendo además las proteínas: albúminas, globulinas, prolaminas (zeínas) y glutelinas (gluten del maíz), y en escasas cantidades grasas (aceite), cenizas y azúcares. También está compuesto en un 12% por el embrión o germen, el cual contiene la mayor cantidad de grasa (aceite del grano) (34.4% promedio), almidón, cenizas y azúcares. Mientras que el restante 6% corresponde al pericarpio, el cual contiene almidón, grasas, proteínas, cenizas, azúcares y fibra (carbohidratos no amiláceos como celulosa y hemicelulosa) (Reyes-Castañeda 1990). El maíz más utilizado es de color blanco o amarillo, aunque también hay variedades de color azul, negro, verde, rojo y jaspeado. Hay varios tipos de granos, que se distinguen por las diferencias de los compuestos químicos depositados o almacenados en él (FAO 2013). La industria de almidones, que se basa en el esquema de molienda húmeda, utiliza el maíz amarillo dentado tipo 2 importado desde Estados Unidos, el cual tiene un contenido de almidón entre 61 y 78% (**Cuadro 4**) (Alfaro y col 2009).

Cuadro 4. Composición química del grano de maíz amarillo dentado USA, N°2.

Características	Amplitud (%)
Humedad	7-23
Almidón	61-78
Proteínas	6-12
Grasas	3.1-5.7
Cenizas	1.1-3.9
Fibra de detergente neutra	8.3-11.9

(Alfaro-Jiménez y Segovia-Segovia 2009)

4. Zanahoria (*Daucus carota* L.)

a. Origen

La palabra zanahoria se origina del idioma árabe y significa piel amarilla. Los historiadores ubican el origen de la zanahoria en Afganistán debido a la gran cantidad de variedades existente en dicho país. Los pueblos del mediterráneo y del centro asiático ya la consumían hace más de dos mil años, pero en esa época la zanahoria no tuvo demasiado éxito. Fue cultivada y consumida por griegos y romanos. Durante los primeros años de su cultivo, las raíces de la zanahoria eran de color violáceo (o amarillento). Aunque en Francia siguen comiéndose zanahorias de color blanco y morado, en la actualidad este tipo de zanahorias es más bien una rareza. El cambio de éstas a su actual color naranja se debe a las selecciones ocurridas a mediados del siglo XVIII en Holanda, que aportó una gran cantidad de carotenos, pigmentos causantes del color y que han sido base del material vegetal actual (Ingram 1998).

b. Morfología y taxonomía

Taxonómicamente la zanahoria presenta la siguiente clasificación:

Reino: Vegetal

Subreino: Embriofitas

Phylum: Traqueófitas

Clase: Angiosperma

Subclase: Dicotiledónea

Familia: Umbelíferas (*Umbelliferae*)

Género: *Daucus*

Especie: *Carota*

La zanahoria (*Daucus carota* L.) es una planta herbácea de tallos estriados y pelosos con hojas recortadas alternas que no sobresalen de la tierra más de 40 cm. Las flores son blancas, pequeñas, generalmente en umbelas, esto es, agrupadas en tallos radicales en forma de sombrilla. Presenta una raíz fusiforme, de forma y color variable, jugosa y comestible, de unos 15 a 18 cm de longitud (Reina y Bonilla-Olaya 1997).

La zanahoria es una planta bianual, durante el primer año se forma una roseta de pocas hojas y la raíz. Después de un período de descanso, se presenta un tallo corto en el que se forman las flores durante la segunda estación de crecimiento. La raíz tiene función almacenadora, y también presenta numerosas raíces secundarias que sirven como órganos de absorción (Reina y Bonilla-Olaya 1997).

La zanahoria silvestre se considera como el tipo de las numerosas variedades cultivadas; éstas por el color de la raíz, se clasifican en blancas, amarillas, rojas y violáceas. Éstas también son clasificadas según la forma que presenta la raíz, ya sea redonda, cónica, cilíndrica, alargada, con el nombre de Cabeza de Buey, Danvers, Chantenay, y Emperador, respectivamente (Reina y Bonilla-Olaya 1997).

Según la longitud de la raíz la zanahoria se clasifica en:

- Largas (longitud de 20-30 cm): Variedades como Hicolor, Bercoro, Flacoro, Saint Valery, Scarlata, Emperador.

- Semilargas (longitud de 15-20 cm): Variedades como Primato, Mantés, Tip-Top, Forto, Express, Ramosa, Marko.
- Semicortas (longitud 10-12 cm): Variedades como Obtusa de Guerande, Chantenay, Danvers, Nantes.
- Cortas (menos de 10 cm): Roja de Nancy, Early French Frame, Corta de Guerande, Oxheart, Nugget (Reina y Bonilla-Olaya 1997).

Es la hortaliza más importante y de mayor consumo de las pertenecientes a dicha familia, contando con cerca de 250 géneros y más de 2,500 especies, la mayoría plantas propias de las estaciones frías. Se reconocen por su abundante contenido en sustancias aromáticas y, por lo general, son las semillas las que contienen los aceites esenciales responsables de su aroma y sabor (Reina y Bonilla-Olaya 1997; Infoagro 2008).

La importancia de esta hortaliza radica en la gran superficie sembrada y la demanda que tiene durante todo el año.

c. Producción

El cultivo de la zanahoria ha experimentado un importante crecimiento en los últimos años, tanto en producción, superficie sembrada y rendimientos, ya que se trata de una de las hortalizas más producidas en el mundo. Asia es el mayor productor seguida por Europa y Estados Unidos (FAO 2015).

Dicho crecimiento puede observarse en el **Cuadro 5**, en donde se aprecia que en el año de 1998, la producción mundial fue de 19 millones de toneladas, empleando una superficie sembrada de 885,000 ha, con un rendimiento de 21 t/ha. Mientras que para el año de 2013 la producción mundial de zanahoria

Cuadro 5. Producción mundial, área cosechada y rendimientos en el cultivo de zanahoria (1998-2013).

Año	Producción	Área cosechada	Rendimiento (t/ha)
	(t)	(ha)	
1998	19,197,788	885,563	21.68
1999	20,168,900	933,681	21.60
2000	21,444,953	981,642	21.85
2001	21,958,417	990,663	22.17
2002	22,589,436	1,020,620	22.13
2003	25,170,061	1,109,900	22.68
2004	25,987,362	1,135,054	22.90
2005	27,574,227	1,153,248	23.91
2006	28,789,763	1,165,363	24.70
2007	29,709,751	1,137,560	26.12
2008	32,992,151	1,136,676	29.03
2009	33,384,719	1,126,491	29.64
2010	33,660,615	1,144,982	29.40
2011	36,188,853	1,195,187	30.28
2012	36,948,410	1,197,943	30.84
2013	37,226,640	1,199,482	31.04

(FAO 2015)

fue de 37 millones de toneladas, cosechadas en 1'200,000 ha, con un rendimiento de 31 t/ha, muy superior al obtenido en años previos, esto debido a los grandes avances en tecnología agrícola (FAO 2015).

En México, la producción de zanahoria para el año de 1998 fue de 320 mil toneladas, mientras que para el año 2007 fue de 347 mil toneladas, incrementándose casi un 10%, por otro lado, el área cosechada disminuyó de 14 a 13 mil ha cosechadas en ese período, sin embargo, el rendimiento se incrementó de 23 a 27 t/ha en el mismo período (**Cuadro 6**).

En México, Guanajuato ocupó el primer lugar entre los estados productores de zanahoria en el año 2007, aportando aproximadamente el 24 % de la producción total, seguido de Zacatecas que aportó un 20 % y el Estado de México con un 18 % (SIAP 2009).

d. Composición química y valor nutrimental

La zanahoria es un alimento con cualidades nutritivas importantes, especialmente por su elevado contenido de carotenoides, encontrándose en mayor concentración el β -caroteno (precursor de la vitamina A o retinol), pues cada molécula de caroteno que se consume es convertida en dos moléculas de vitamina A (**Cuadro 7**), además tiene un contenido apreciable de vitamina K, B3, C y E. Cuando son consumidas crudas, proporcionan cantidades importantes de potasio, sodio, manganeso, calcio, hierro y zinc, sustancias cuya aportación es muy reducida cuando la zanahoria es hervida (Ingram 1998).

En la raíz de la planta cultivada hay alrededor de un 90 % de agua, un 0.3 % de materiales nitrogenados, hasta un 11 % de diversos azúcares (entre los que

Cuadro 6. Producción nacional, área cosechada y rendimientos en el cultivo de zanahoria (1998-2013).

Año	Área cosechada		Rendimiento
	Producción (t)	(ha)	(t/ha)
1998	319,926	13,902	23.01
1999	363,368	15,755	23.06
2000	376,847	16,176	23.30
2001	355,903	14,697	24.22
2002	370,652	14,978	24.75
2003	338,865	12,811	26.45
2004	385,502	15,116	25.50
2005	370,768	14,051	26.39
2006	381,804	15,504	24.63
2007	404,419	15,236	26.54
2008	386,040	14,995	25.74
2009	368,600	14,140	26.07
2010	346,466	14,030	24.69
2011	404,726	15,011	26.96
2012	336,756	12,733	26.45
2013	347,540	12,795	27.16

(FAO 2015)

Cuadro 7. Composición química y valor nutrimental de la zanahoria en 100 g de porción comestible.

Composición química de la zanahoria en 100 g de sustancia comestible		
	Base Húmeda	Base Seca
Agua (g)	90.4	
Carbohidratos (g)	8.2	85.42
Fibra dietaria (g)	2.9	30.21
Azúcares (g)	4.9	51.04
Lípidos (g)	0.1	1.04
Proteínas (g)	0.8	8.33
Cenizas (g)	0.5	5.21
Calorías	40	
		% IDR*
Vitamina A (U.I.)	13790 según variedades	276
Vitamina C (mg)	2.6	4
Vitamina B1 (mg)	0.13	6
Vitamina B2 (mg)	0.06	5
Vitamina K (µg)	9.4	12
Vitamina B6 (mg)	0.19	5
Vitamina E (mg)	0.7	
Ácido Pantoténico (mg)	0.4	4
Calcio (mg)	32	3
Hierro (mg)	0.9	5
Potasio (mg)	237	7
Sodio (mg)	78	3
Omega-3 (mg)	8.0	
Omega-6 (mg)	57.0	

*Los valores de Ingesta Diaria Recomendada (%IDR) son para infantes mayores de 4 años y adultos, y están basados en una dieta de 2,000 calorías.

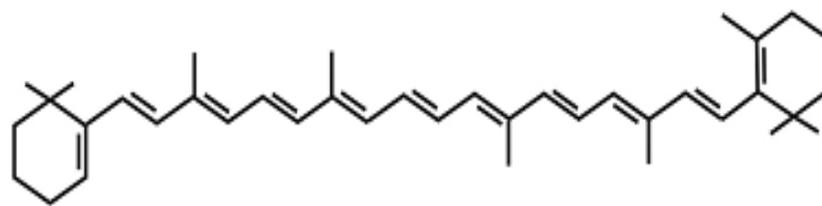
Fuente: Nutritiondata 2010.

destacan glucosa y sacarosa), pectina, ácido málico y pigmentos, dependiendo la variedad (**Cuadro 7**) (Nutritiondata 2010).

e. β -caroteno y sus beneficios a la salud

El caroteno más comúnmente encontrado es el β -caroteno, y normalmente constituye entre el 25-30 % del contenido total de carotenoides en las plantas (**Figura 3**). Su consumo se ha incrementado debido a que se ha reportado que tiene una actividad anticarcinogénica además de otros beneficios en la salud (Desobry y col 1997). La importancia de los carotenoides en los alimentos va más allá de su rol como pigmentos naturales. En forma creciente se han atribuido a estos compuestos funciones y acciones biológicas. De hecho, por mucho tiempo se ha sabido de la actividad de provitamina A de los carotenoides (Rodríguez-Amaya 1999). La vitamina A además de ser un poderoso antioxidante natural, es esencial para la visión, el buen estado de la piel, los tejidos y para el buen funcionamiento de nuestro sistema de defensas (Ingram 1998).

La dieta proporciona la vitamina A en forma de vitamina A preformada (retinilester, retinol, retinal, 3- dehidroretinol y ácido retinoico) a partir de alimentos de origen animal como por ejemplo hígado, leche y productos lácteos, pescado y carne, o como carotenoides que se pueden transformar biológicamente a vitamina A (provitaminas A) generalmente a partir de alimentos de origen vegetal. Sobre una base mundial, se estima que aproximadamente el 60 % de la vitamina A dietaria proviene de las provitaminas A (Simpson 1983).



β -caroteno

Figura 3. Estructura química del β -caroteno.

La provitamina A más importante es el β -caroteno tanto en términos de bioactividad como de amplia ocurrencia. Todas las muestras de alimentos carotenogénicos de plantas analizados hasta la fecha contienen β -caroteno como constituyente principal o menor. Estructuralmente, la vitamina A es esencialmente la mitad de la molécula de β -caroteno con una molécula adicional de agua en el extremo de la cadena lateral. Así, el β -caroteno es una potente provitamina A, a la cual se le asigna un 100 % de actividad. Un anillo β no sustituido con una cadena poliénica de 11 carbonos es el requerimiento mínimo para la actividad de la vitamina A, de los más de 600 carotenoides conocidos actualmente, aproximadamente 50 de ellos serían precursores de vitamina A basándose en consideraciones estructurales (Rodríguez-Amaya 1993a; Rodríguez-Amaya 1999).

La molécula de β -caroteno se parte en dos moléculas de vitamina A (retinol), en un proceso que ocurre en el intestino y en el que participa un complejo enzimático dioxigenasa. Cualquiera de los carotenoides que posean el anillo β no sustituido, característico del β -caroteno, es precursor de la vitamina A, por ejemplo α -caroteno, β,β -caroteno-5,6-epóxido y β -criptoxantina (Rodríguez-Amaya 1993a).

El uso biomédico de los carotenoides está fundamentalmente dirigido a la producción de vitamina A, sin embargo actualmente se investiga el potencial del licopeno, la luteína y la zeaxantina, en la prevención de enfermedades como el cáncer y la enfermedad coronaria. El β -caroteno, sustancia antioxidante, al igual que la vitamina E, se ha reportado que neutraliza los radicales libres, por lo que el consumo frecuente de zanahorias pudiera contribuir a reducir el riesgo de

enfermedades cardiovasculares, degenerativas y de cáncer (Rodríguez-Amaya 1993b).

Debido a que la deficiencia de vitamina A sigue siendo un problema serio de salud pública en los países en desarrollo, las fuentes dietarias y adecuación de las provitaminas A continúan siendo la principal preocupación, el consumo de productos tales como la zanahoria rica en β -caroteno, es recomendable para quienes tienen un mayor riesgo de sufrir carencias de vitamina A. En este grupo se incluyen a quienes siguen dietas bajas en grasa y personas cuyas necesidades nutritivas son altas (periodos de crecimiento, embarazo y lactancia materna). El aporte adecuado de vitamina A en niños es importante porque contribuye a un buen crecimiento y desarrollo óseo, además de proteger al organismo frente a las infecciones (Infoagro 2008).

El consumo de carotenoides también se ha relacionado con un aumento del sistema inmune y una disminución del riesgo de enfermedades degenerativas tales como cáncer, enfermedad cardiovascular, degeneración macular relacionada a la edad y formación de cataratas (Sharma y col 2012).

f. Bagazo de zanahoria

En la industria alimentaria se generan importantes cantidades de subproductos de frutas y hortalizas, entre los cuales destacan los generados en la extracción de jugo de zanahoria, dichos subproductos contienen buena cantidad de fibra dietaria, carotenoides y compuestos fenólicos, los cuales no se aprovechan debidamente (O'Shea y col 2012; De Ancos y col 2015).

Algunos estudios realizados con estos subproductos han sugerido su empleo como aditivo natural en la formulación de alimentos, evitando la contaminación generada al desechar estos materiales y generando un ingreso extra para la industria. Una gran ventaja que presentan los subproductos de zanahoria es que no generan olores ni sabores desagradables a los alimentos que son añadidos como ingrediente funcional (O'Shea y col 2012; De Ancos y col 2015).

Larrosa y col en 2002 emplearon subproductos de zanahoria en la elaboración de jugo de tomate, incrementando su contenido en compuestos fenólicos. Stoll y col (2003) elaboraron diferentes bebidas con subproductos de zanahoria, con el fin de incrementar su contenido en carotenoides y compuestos fenólicos. Mientras que Durrani y col en 2011 utilizaron subproductos de zanahoria logrando aumentar su contenido de fitoquímicos, así como brindando un color agradable e incrementando la vida de anaquel de caramelos a 6 meses, utilizando una temperatura de 30 °C.

Dar y col (2014) desarrollaron botanas extrudidas elaboradas a partir de arroz, suplementadas con bagazo de zanahoria, obteniendo botanas con alto contenido en compuestos bioactivos.

De igual manera, Gull y col (2015) elaboraron pastas alimenticias a partir de semolina de trigo, mijo y bagazo de zanahoria, encontrando características fisicoquímicas y sensoriales aceptables.

C. Proceso de elaboración de cereales para desayuno (CPD)

1. Extrusión

La palabra extrusión proviene del latín “extrudere” y consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico. Así pues, la extrusión puede o no implicar simultáneamente un proceso de cocción (Apró y col 2000; Valls 1993).

Existen dos tipos de extrusión aplicada hacia la producción de alimentos: la extrusión en frío y termoplástica. La extrusión en frío es casi exclusivamente de la producción de pastas y opera a temperaturas bajas.

Mientras que la cocción por extrusión termoplástica implica calentamiento a temperaturas elevadas y la aplicación de mezclado y cizallamiento mecánico, antes que finalmente la extrusión forme una estructura. Si las condiciones están en el intervalo de procesado ideal se formara un producto estable con las características normales requeridas (Guy 2002).

2. Elaboración de cereales para desayuno (CPD) por extrusión

La fabricación de cereales para desayuno fue una de las primeras aplicaciones comerciales de la tecnología de cocción por extrusión y sigue siendo una de las más difundidas (Frame 1999).

La extrusión prácticamente revolucionó a la industria de cereales matinales y botanas a partir de los años sesenta. Hoy en día, la industria depende mucho de este proceso debido a que es eficiente y versátil. El proceso es continuo, siendo esto una gran ventaja por su alta productividad y eficiencia en términos de uso de

energía y generalmente ahorra espacio, mano de obra y compra de otros equipos (Serna-Saldívar 2009).

El proceso de extrusión para cereales u oleaginosas, consiste en hacer pasar a través de los orificios de una matriz, la harina de estos productos a presión por medio de un tornillo sinfín que gira a una cierta velocidad (Valls 1993).

El proceso fundamental de extrusión consiste en un equipo generador de presión (extrusor), el cual causa que el producto se mueva como un líquido en un flujo laminar, presentándose a su vez una resistencia al mismo, estos dos componentes, flujo y resistencia, determinan el proceso de extrusión y el tipo de producto (Miller 1998).

La manufactura de cereales para desayuno generalmente comienza cuando los *grits* o harinas gruesas son acondicionadas a 15-18 % de humedad. El extrusor opera bajo alto esfuerzo mecánico requerido para optimizar la expansión del almidón. Para lograr un elevado esfuerzo mecánico, el extrusor debe operar a altas revoluciones y estar equipado con un tornillo diseñado para ese uso específico. El material de alimentación es expuesto a más altas temperaturas y esfuerzo o presión conforme fluye hacia la salida o al dado. El producto se expande radialmente debido al gran diferencial en presión existente entre la zona inmediata anterior al dado y la presión atmosférica (Serna-Saldívar 2009).

Los cereales para desayuno (CPD) normalmente se elaboran a partir de granos enteros o fracciones de granos de trigo, maíz, arroz. Sin embargo, en algunos trabajos recientes se ha sugerido el empleo de harinas de frutas y hortalizas con la finalidad de incrementar su contenido en compuestos bioactivos. En el **Cuadro 8** se presentan algunos estudios en los que se han empleado

Cuadro 8. Estudios recientes de cereales para desayuno (CPD) suplementados con harinas de frutas y hortalizas.

Autores	Materia prima	Efecto
Camire y col (2007)	Arándanos	Mejora en color y contenido de antocianinas
Charunuch y col (2011)	Camote, col morada y betabel	Incremento en el contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante
Marques y col (2015)	Residuos de acerola	Aumento en el contenido de fibra dietaria, y aceptación por el consumidor
Borah y col (2015)	Arroz y plátano	Considerable incremento en contenidos de Mg y K
Ruiz-Beltrán (2016)	Subproductos de naranjita	Obtención de cereales ricos en fibra dietaria y carotenoides

harinas de frutas y hortalizas como ingrediente funcional en la elaboración de cereales para desayuno (CPD).

IV. JUSTIFICACIÓN

Actualmente se presentan estilos de vida muy ocupados, con horarios muy rígidos para las personas, por lo que las personas que antiguamente acostumbraban a desayunar hoy tienen muy poco tiempo para preparar y consumir alimentos por la mañana. Sin embargo, al ser el desayuno una de las comidas principales del día, su omisión pudiera causar un mal desempeño en diferentes actividades físicas e intelectuales.

Por lo anterior, es importante el consumo de alimentos que sean fáciles y rápidos de preparar, y que además presenten buen aporte de nutrimentos al consumidor. Entre estos alimentos, destacan los cereales para desayuno, los cuales además de satisfacer las necesidades energéticas para el desayuno, pueden aportar los requerimientos diarios de vitaminas y minerales, ya que son fortificados y enriquecidos, además de presentar un importante contenido de fibra dietaria.

Estos cereales pueden ser suplementados con alimentos ricos en compuestos bioactivos para hacerlos más nutritivos, entre estos destacan algunos subproductos de la industria alimentaria como el bagazo de zanahoria. Este material, a pesar de ser altamente desperdiciado, es una fuente importante de fibra dietaria y carotenoides cuyo consumo pudiera representar beneficios potenciales en la salud humana.

Por lo anterior, la utilización de subproductos de zanahoria como ingrediente para la elaboración de cereales para desayuno les daría un valor

agregado, además de diversificar el uso de materias primas para la elaboración de este tipo de alimentos.

Actualmente, existen muy pocos trabajos de investigación sobre elaboración de cereales para desayuno suplementados con subproductos de la industria alimentaria, por lo cual con el presente trabajo se estaría generando información científica inédita.

V. HIPÓTESIS

Los cereales para desayuno elaborados por el proceso de extrusión y suplementados con harina de bagazo de zanahoria poseen características fisicoquímicas similares a productos comerciales, con un mejor contenido de compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante.

VI. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Estudiar el efecto del proceso de extrusión sobre las propiedades químicas, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de cereales para desayuno suplementados con harinas de bagazo de zanahoria (*Daucus carota* L.).

B. Objetivos específicos

1. Realizar un estudio preliminar de secado para definir las condiciones del proceso en donde se obtengan las harinas de bagazo de zanahoria con mejores características fisicoquímicas.
2. Realizar un estudio preliminar de extrusión para definir los factores de estudio, así como sus niveles de variación.
3. Evaluar el efecto de la humedad de alimentación (HA) y el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre las propiedades fisicoquímicas (índice de expansión, densidad aparente, esfuerzo de flexión, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y color) de los cereales para desayuno suplementados con harina de bagazo de zanahoria.
4. Estudiar el efecto de la humedad de alimentación (HA) y el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el contenido de compuestos bioactivos (carotenoides totales, retención de carotenoides, compuestos fenólicos totales, retención de compuestos fenólicos) y capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) de los cereales para desayuno.

5. Realizar un estudio de optimización del proceso de extrusión utilizando la metodología de superficie de respuesta para encontrar las mejores condiciones de procesamiento.
6. Realizar un estudio sensorial en los cereales para desayuno obtenidos en la región óptima de procesamiento.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales

1. Materias primas

En el presente estudio se emplearon como materias primas salvado de trigo (ST), salvado de avena (SA), *grits* de maíz amarillo (GMA) y harina de bagazo de zanahoria (HBZ). El ST se obtuvo de un mercado local, mientras que el salvado de avena fue obtenido de la empresa “*mothernature*”, ubicada en Zapopan, Jalisco, México. Asimismo, los *grits* de maíz amarillo fueron adquiridos en la empresa denominada “Industrial de alimentos, S.A.” (México, D.F.). Por otro lado, el bagazo de zanahoria fue obtenido en una empresa local productora de jugo llamada “Buenos días”, al cual se le añadió 1.5 % de azúcar, para posteriormente someterse al proceso de secado a 70 ± 2 °C durante 110 min, obteniendo el bagazo deshidratado que se utilizó como materia prima para la elaboración de los cereales para desayuno .

B. Métodos

1. Métodos experimentales

a. Obtención de los cereales para desayuno (CPD)

Para la obtención de los CPD se empleó una mezcla base compuesta por salvado de trigo (52.70 %), salvado de avena (36.0 %) y *grits* de maíz amarillo (11.30 %), mientras que los niveles del contenido de harina de bagazo de zanahoria variaron de 5.51 a 22.49 %, y la humedad de alimentación de 19.34 a 30.66 %, de acuerdo al diseño experimental. Las mezclas de harinas fueron

ajustadas a la humedad de alimentación correspondiente empleando una batidora de laboratorio (Kitchen Aid, modelo K5SSWH, Michigan, USA) a mínima velocidad y fueron almacenadas por 12 h en bolsas de polietileno a 8 °C aproximadamente. Posteriormente, las muestras fueron alimentadas a un extrusor de tornillo simple de laboratorio, marca Brabender, modelo 20DN/ 8-235-00, Alemania, utilizando un alimentador cónico de flujo forzado. Se empleó un tornillo con relación: compresión 2:1, el cual se mantuvo a una velocidad constante de 110 rpm, y un dado de salida con una abertura de 2 mm. Durante el proceso de extrusión se mantuvieron constantes las temperaturas en las zonas de alimentación, mezclado y salida, las cuales fueron de 75, 130 y 125 °C, respectivamente (Ruiz-Beltrán 2016).

Una vez que se llevó a cabo el proceso de extrusión, los CPD fueron deshidratados a una temperatura de 52 ± 1 °C por 24 h, para llevarlos a una humedad final de aproximadamente 5 %. Posteriormente, una parte de los cereales se cortó en trozos de 5 cm y otra parte fue molida utilizando un molino de café marca KRUPS, siendo tamizada en malla # 40 (420 μ m) para llevar a cabo los diferentes análisis.

2. Métodos químicos

a. Análisis proximal

El análisis proximal de las materias primas empleadas, de los CPD suplementados con harina de bagazo de zanahoria y de los CPD comerciales se realizó de acuerdo con los métodos oficiales de la AOAC (2012), para proteínas

(960.52), grasas (920.39), cenizas (923.03), humedad (925.10), fibra cruda (962.09), mientras que el contenido de carbohidratos se determinó por diferencia de los demás componentes.

3. Métodos fisicoquímicos

a. Tamaño medio de partícula

Se determinó el tamaño medio de partícula de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión, de acuerdo al procedimiento descrito por Ortiz-Robles (1998). Se utilizó una cantidad de muestra de 100 g y mallas (Fisherbrand) con diferentes tamaños (20 (635 µm), 40 (420 µm), 60 (250 µm), 80 (177 µm), 100 (149 µm) y 200 (74 µm)). Se determinó el porcentaje de harina retenida en cada malla, reportando los resultados mediante el cálculo matemático del tamaño medio de partícula reportado por el autor anteriormente citado, utilizando la siguiente ecuación:

$$TMP = \frac{\sum_{n=30}^{200} nP_n}{\sum_{n=30}^{200} P_n}$$

Donde:

TMP= Tamaño medio de partícula.

P_n= Peso del producto retenido en la malla n.

n= Número de malla.

b. Índice de expansión

Se determinó en los cereales para desayuno de acuerdo a la metodología propuesta por Gujska y Khan (1990); el valor de índice de expansión (IE) se obtuvo dividiendo el diámetro del cereal para desayuno expandido entre el diámetro del orificio del dado de salida del extrusor. Se realizaron 15 repeticiones por tratamiento.

c. Densidad aparente

Se calculó la densidad aparente (DA) de acuerdo al procedimiento descrito por Wang y col (1993). El método consistió en tomar muestras de aproximadamente 50 mm de longitud de cada uno de los diferentes tratamientos. Posteriormente, se registró el peso de estas (P_m = peso de la muestra), se les midió el diámetro (3 mediciones equidistantes tomando el valor promedio de estas) (d), y longitud (l). Se reportaron los valores de DA en kg/m^3 , llevándose a cabo 15 mediciones por tratamiento, realizándose los cálculos mediante la siguiente ecuación:

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

d. Esfuerzo de deflexión

El esfuerzo de deflexión (σ) se determinó en los cereales para desayuno obtenidos en cada uno de los tratamientos del diseño experimental, siguiendo la metodología propuesta por Aguilar-Palazuelos (2007), con algunas modificaciones propuestas por Ruiz-Beltrán (2016). Se utilizó un texturómetro universal (INSTRON 3342), el cual estaba conectado a una computadora, que registraba los datos de cada medición mediante la utilización del software Bluehill. Se realizaron

15 repeticiones de cada tratamiento registrando la fuerza requerida para romper el producto en MPa. La prueba de quiebre de tres puntos corresponde a una prueba de flexión, y es conocida también como puente de ruptura, consistiendo en evaluar la fuerza máxima necesaria (esfuerzo) para producir un quiebre total de la estructura del producto (Gaines 1994). La prueba de quiebre de tres puntos es adaptada para evaluar la dureza y fracturabilidad de galletas, barras de chocolate, pastas alimenticias y cereales para desayuno entre otros productos (De Hombre 1996).

En cereales para desayuno, se empleó el método de prueba de quiebre en 3 puntos, y los valores de σ se calcularon usando las ecuaciones siguientes:

$$\zeta_{max} = PL^3/48 E_f I$$

$$\sigma = My/I$$

$$\sigma = E_f \varepsilon$$

Donde:

ζ_{max} = Deflexión máxima en el centro (m)

P = Fuerza medida en el punto de deflexión máximo (N)

L = Longitud entre el punto de carga y la base de apoyo (m)

E_f = Modulo de flexión (MPa)

I = Momento de inercia en el cilindro (m⁴)

$$M = PL/2$$

y = Es el radio del cilindro de espuma (m)

σ = Fuerza máxima opuesta a la aplicación de la fuerza (MPa)

ϵ = Deformación en la cara opuesta a la aplicación de la fuerza

e. Medición de color

Se realizaron los análisis de color tanto en los CPD elaborados a partir de HBZ, como en las mezclas sin extrudir, empleando un colorímetro triestímulo (Minolta, CR-210, Japón). Se colocaron las muestras con un tamaño de partícula menor de 250 μm en una caja petri de laboratorio de 5 cm de diámetro, realizándose cinco mediciones, 4 equidistantes y una en el centro, reportándose el valor promedio de éstas. Se registraron los valores L^* [luminosidad, de 0 (oscuro) a 100 (claro)], a^* [de -60 (verde) a +60 (rojo)], y b^* [de -60 (azul) a +60 (amarillo)]. Asimismo, se calcularon los parámetros ΔL^* , Δa^* y Δb^* , los cuales indican la diferencia de color entre los tratamientos sometidos al proceso de extrusión con respecto a las mezclas de materias primas sin extrudir, calculándose la diferencia total de color (ΔE) mediante la siguiente ecuación:

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

f. Índice de absorción de agua (IAA)

Se realizó de acuerdo a la metodología 54-21 descrita por la AACC (2010), con algunas modificaciones. Una muestra de 0.25 g de CPD 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 homogenizador (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 4500 xg por 20 min, a una temperatura de 25 °C. El líquido sobrenadante se decantó cuidadosamente en un recipiente tarado de vidrio para la determinación del contenido de sólidos. El gel formado se pesó y el índice de absorción de agua se calculó mediante la relación g de agua absorbida/g de sólidos secos. Las determinaciones para cada uno de los tratamientos se realizaron por triplicado.

g. Índice de solubilidad en agua (ISA)

El ISA se obtuvo de la cantidad de sólidos secos recuperados de la evaporación del sobrenadante obtenido en la determinación del índice de absorción de agua, expresándose como %. La prueba se realizó por triplicado (AACC 2010).

4. Contenido de compuestos fitoquímicos y capacidad antioxidante

a. Carotenoides totales

1) Extracción de la muestra

La extracción de la muestra y la determinación de carotenoides totales se realizaron a partir de la metodología espectrofotométrica 970.64 propuesta por la AOAC (1990). Se realizó por triplicado en los diferentes tratamientos del diseño experimental, pesándose 0.2 g de muestra, los cuales se homogenizaron durante 1 min en 30 mL de una solución extractora compuesta de hexano:etanol:acetona:tolueno (HEAT) (10:6:7:7 v/v/v/v), para después añadir 2

mL de KOH al 40 % p/v en metanol y someterse a homogenización por 1 h. La mezcla homogenizada se colocó en un baño de agua (ISOTEMP, Modelo 205, Serial 1600061101934, USA) a 56 °C por un período de 20 min, la cual se agitó cada 5 min de forma manual y con cuidado de no derramar el solvente en el baño. Para este último paso, se utilizaron tubos de condensado para evitar pérdidas en los solventes y en la extracción. La solución resultante se dejó en reposo por 1 h a una temperatura de 8-10 °C en completa oscuridad. Posteriormente, se añadieron 15 mL de hexano y se homogenizaron por 30 s. Finalmente, el homogenizado se aforó a 100 mL con sulfato de sodio al 10%, se agitó manualmente por 30 s, y se dejó en reposo por un tiempo de 1 h, en donde se observó un cambio de fases.

2) Curva de calibración

Se pesaron 5 µg de β-caroteno, los cuales se aforaron con 50 mL de hexano generando una solución madre de 10 µg/mL. De ella se tomaron 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 mL y se aforaron a 10 mL de hexano para cada dilución. La curva de calibración generada fue de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 µg/mL, utilizando como blanco hexano.

3) Determinación de carotenoides totales

Una vez llevado a cabo el cambio de fases se tomó la alícuota de la fase superior y se determinó la absorbancia a 450 nm en un espectrofotómetro (Modelo GENESYS 10 UV, Serie 2H7G229001, USA) utilizando celdas de cuarzo. Los resultados fueron comparados con la curva de calibración relatada en el apartado anterior, expresándose como µg /g (b.s).

b. Compuestos fenólicos totales

1) Extracción de la muestra

La extracción de los compuestos fenólicos se llevó a cabo siguiendo la metodología reportada por Gallegos-Infante y col en 2010, con algunas modificaciones. Se pesaron 3 g de muestra, a los cuales se le adicionaron 30 mL de la solución extractora (acetona al 80 %) y se agitaron por 16 h en oscuridad, pasado este tiempo, se centrifugó la muestra por 12 min a 3220 xg, y el sobrenadante (extracto) se almacenó a 6 °C en oscuridad. Posteriormente, se realizó en la misma muestra (pastilla) una segunda extracción utilizando las condiciones anteriormente descritas y los sobrenadantes de ambas extracciones se reunieron y almacenaron a 6 °C. Posteriormente, a los extractos obtenidos se les eliminó la acetona colocándolos en un rotavapor (Heidolph, Ciudad, País) (40 °C, 80 rpm), y vez eliminada la acetona, los extractos se resuspendieron en metanol al 50 %.

2) Curva de calibración

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

3) Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales

Se llevó a cabo la determinación utilizando la metodología establecida por Heimler y col en 2006. Para efectuar el ensayo se adicionaron 100 µL del extracto de la

muestra de cereales para desayuno en tubos de vidrio PYREX y se procedió a una homogenización con vortex. Posteriormente, se adicionaron 125 µL del reactivo Folin y 500 µL de H₂O, agitando 30 s con vortex. Se dejó reposar 6 min en la oscuridad y al terminar se adicionaron 1250 µL de Na₂CO₃ al 7 % como catalizador y 1000 µL de H₂O, se agitó con vortex y se dejó a reposar por 1.5 h en oscuridad y a temperatura ambiente. Finalizado el tiempo se midió la absorbancia a 760 nm utilizando un espectrofotómetro Thermo Spectronic (modelo GENESYS 10 UV, serie 2H7G229001, USA). Los resultados fueron comparados con la curva de calibración descrita en el apartado anterior y expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por g en base húmeda (mg EAG/g b.h.).

c. Capacidad antioxidante

1) Método ABTS (Ácido 2-2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico))

(a) Extracción de la muestra

Se emplearon los mismos extractos obtenidos para las determinaciones de carotenoides totales (CT) y compuestos fenólicos totales (CFT), a estos extractos se les denominó: extracto lipofílico (ELF) y extracto hidrofílico (EHF), respectivamente.

(b) Curva de calibración

Para la realización del ensayo se utilizó la metodología propuesta por Pellegrini y col (1999) con algunas modificaciones, la cual consistió en la preparación del radical catión ABTS^{•+} mediante la mezcla de 5 mL de ABTS (7 mM) y 88 µL de K₂S₂O₈ (140 mM). Dicha mezcla se dejó reposar por espacio de

16 h a temperatura ambiente a total oscuridad para la generación óptima del radical. Una vez formado el radical, este fue ajustado a una absorbancia de 0.70 a una longitud de onda de 734 nm, el cual fue utilizado para llevar a cabo el ensayo.

Se pesaron 0.01 g de trolox disolviéndose en 10 mL de metanol, obteniendo una solución madre de 1000 ppm (1 mg/mL). Este stock sirvió para elaborar soluciones de 20, 40, 60, 80, 100 y 120 ppm de trolox para llevar a cabo la curva de calibración. Se tomaron 60 μ L de cada solución de trolox y se le adicionaron 1940 μ L del radical ABTS \bullet^+ ajustado con la absorbancia a 0.70. De igual manera, se determinó la absorbancia (A_0) de un control que contenía 60 μ L de etanol y 1940 μ L de radical ABTS \bullet^+ . Posteriormente, cada tubo se mezcló con vortex 10 s y se sometió a agitación orbital por espacio de 10 min. Pasado dicho tiempo, se procedió a la lectura de la absorbancia (A) a 734 nm para la solución de trolox con el radical ABTS \bullet^+ . El porcentaje de inhibición por el efecto del radical se calculó mediante la siguiente relación:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$$

Donde:

A_0 = Absorbancia del control.

A = Absorbancia de cada una de las diluciones.

Una vez calculado el porcentaje de inhibición, se realizó una gráfica en función de la concentración de las soluciones de trolox. El valor de la capacidad antioxidante equivalente de trolox (CAET) fue calculada mediante el análisis de

regresión, utilizando la ecuación que relacionó la concentración de trolox con el % de inhibición. Los resultados fueron expresados como $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ en base húmeda (b.h.).

(c) Medición de capacidad antioxidante

De igual manera que en la realización de la curva de calibración, 60 μL de los extractos ELF y EHF fueron mezclados con 1940 μL del radical $\text{ABTS}^{\bullet+}$ ajustado a 0.70 de absorbancia. Se mezclaron con vortex y se agitaron por 10 min. Se midió la absorbancia a 734 nm y se calculó el porcentaje de inhibición. El valor de CAET final fue calculado mediante análisis de regresión y utilizando la ecuación que relaciona la concentración de trolox con el % de inhibición. Los resultados fueron expresados como $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ en base húmeda (b.h.), de acuerdo a lo reportado por Re y col (1999).

2) Método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)

(a) Extracción de la muestra

Se empleó el mismo extracto utilizado en la determinación de compuestos fenólicos totales.

(b) Curva de calibración

Para llevar a cabo la determinación de la CAO por el método de DPPH, se utilizó una modificación propuesta por Kim y col (2002) de la metodología de Brand-Williams y col (1995). Dicha metodología modificada se adaptó para llevarla a cabo en tubos de vidrio PYREX de 6 mL. En primera instancia se pesaron de 2.4

a 3 mg del radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) y se aforaron a 100 mL de metanol. Posteriormente, a la solución del radical se le fijó la absorbancia en un rango de 0.76-0.78 a 515 nm, la cual se utilizó para el ensayo.

Para la realización de la curva de calibración se relacionó la concentración de las diferentes diluciones contra el % de inhibición. Para ello, se pesaron 0.01 g de trolox y se aforaron a 10 mL de metanol, obteniendo una solución madre con una concentración de 1000 ppm, con la cual se formaron distintas diluciones de 20, 40, 60, 80, 100 y 120 ppm. Se midió la absorbancia del control, y el % de inhibición se calculó mediante la siguiente relación:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$$

Donde:

A_0 = Absorbancia del control

A = Absorbancia de cada una de las diluciones.

(c) Medición de capacidad antioxidante

Para la medición de la capacidad antioxidante en los diferentes tratamientos se determinó la absorbancia (A_0) de un control que contenía 100 μ L de metanol y 2900 μ L de radical DPPH. Asimismo, en diferentes tubos PYREX de vidrio se adicionaron 100 μ L del extracto de la muestra y 2900 μ L del radical DPPH. Se dejaron reposar por 30 min en oscuridad y se leyó la absorbancia a 515 nm. Los

valores de capacidad antioxidante fueron reportados en μmol equivalentes trolox (ET)/g en base húmeda (b.h.).

C. Análisis estadístico

1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental central compuesto rotatable de segundo orden con un valor $\alpha = 1.414$ (**Cuadro 9**), teniendo como variables independientes el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ, %) y la humedad de alimentación (HA, %) con cinco niveles cada una (**Cuadro 10**).

Cuadro 9. Diseño experimental del estudio de extrusión para 2 factores.

Variables independientes				
Tratamiento	Codificadas		Decodificadas	
	X1	X2	HA (%)	CHBZ (%)
1	-1.00	-1.00	21.00	8.00
2	1.00	-1.00	29.00	8.00
3	-1.00	1.00	21.00	20.00
4	1.00	1.00	29.00	20.00
5	-1.414	0.00	19.34	14.00
6	1.414	0.00	30.66	14.00
7	-1.00	-1.414	25.00	5.51
8	1.00	1.414	25.00	22.49
9	0.00	0.00	25.00	14.00
10	0.00	0.00	25.00	14.00
11	0.00	0.00	25.00	14.00
12	0.00	0.00	25.00	14.00
13	0.00	0.00	25.00	14.00

HA= Humedad de alimentación; CHBZ= Contenido de harina de bagazo de zanahoria.

Cuadro 10. Factores y niveles de variación del diseño experimental para 2 factores ($\alpha=1.414$).

Factores de estudio	Niveles de variación				
	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Humedad de alimentación (HA), %	19.34	21.0	25.0	29.0	30.66
Contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ), %	5.51	8.0	14.0	20.0	22.49

Se utilizó la metodología de superficie de respuesta (MSR) para encontrar las condiciones óptimas de procesamiento en los intervalos de las variables anteriormente mencionadas, que proporcionen cereales para desayuno con buenas características fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes..

2. Análisis de datos

Para la regresión múltiple (MSR) y predicción del comportamiento experimental de los datos se usaron los modelos cuadráticos y cúbicos con el programa estadístico Design Expert (Stat-Ease 2008) versión 7.1.6.

El modelo matemático fue:

$$Y_i = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2 + b_{12}X_1X_2$$

Donde:

Y_i es la respuesta genérica, X_1 es la humedad de alimentación, X_2 es el contenido de harina de bagazo de zanahoria y b_0 , b_1 , b_2 , b_{11} , b_{22} , y b_{12} son los coeficientes de regresión. Se realizaron correlaciones de Pearson utilizando el paquete estadístico Statistica 7.0 (Statsoft 2004).

D. Evaluación sensorial

Los cereales para desayuno adicionados con bagazo de zanahoria fueron evaluados usando 80 panelistas no entrenados de ambos sexos estudiantes de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas, de la Universidad Autónoma de Sinaloa, los cuales plasmaron sus resultados en base a su nivel de agrado en una plantilla de evaluación para el cereal óptimo y otra para un cereal comercial. Se evaluó la aceptabilidad global empleando una escala hedónica de 9 puntos, donde uno corresponde a “me disgusta extremadamente” y nueve a “me gusta

extremadamente”. Además, se les cuestionó a los jueces si considerarían comprar los cereales evaluados (Zazueta-Morales y col 2001).

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Estudio preliminar

1. Secado de bagazo de zanahoria

Se realizó un estudio preliminar del proceso de secado del bagazo de zanahoria a efecto de obtener la harina de bagazo de zanahoria (HBZ) con mejores características de color, lo cual se puede asociar con una buena retención de nutrientes como los carotenoides (Delgado-Nieblas y col 2015). En dicho estudio, se realizaron experimentos variando la temperatura de secado entre 60 y 80 °C y el porcentaje de adición de azúcar de 0.5 a 2.0 %, encontrando que una combinación de 70 °C de temperatura de secado con una adición de 1.5 % de azúcar, por un tiempo de 110 min, generaba la harina de bagazo de zanahoria (HBZ) con mejores características de color, , por lo cual se determinó emplear dichas condiciones de secado para la obtención del bagazo deshidratado a utilizar para la elaboración de los cereales para desayuno.

2. Extrusión

Se realizó un estudio preliminar del proceso de extrusión para definir las condiciones de procesamiento a utilizar en el presente trabajo. Primeramente, se llevaron a cabo pruebas con diferentes niveles de humedad de alimentación (HA) y contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ), los cuales se variaron de 17 a 33 % y de 0 a 30 %, respectivamente. Se encontró que en condiciones de HA menores de 19 %, se presentó dificultad en el flujo del material por el extrusor, saliendo el cereal expulsado del equipo de extrusión en pedazos menores a 1 cm, mientras que al utilizar una HA mayor a 30 % se obtenían cereales compactos y duros, lo cual disminuía su aceptabilidad sensorial. Por lo anterior, se decidió

emplear un rango de HA entre 19.34 y 30.66 % para este factor de estudio. Asimismo, cuando se adicionaba un CHBZ superior a 25 % fueron frágiles, por lo cual se decidió establecer como límite máximo un 22.49 % para este factor de estudio. De igual manera, se determinó utilizar una temperatura de extrusión de 125 °C para la obtención de los cereales, ya que en estudios previos realizados en el equipo de trabajo se obtuvieron cereales con buenas características fisicoquímicas, nutracéuticas, y buena aceptación por parte del consumidor (Ruiz-Beltrán 2016).

B. Caracterización de materias primas

1. Análisis proximal

Los resultados del análisis proximal de las materias primas utilizadas para la elaboración de los cereales para desayuno se reportan en el **Cuadro 11**. Se encontraron valores muy similares para humedad y cenizas que los reportados por Ruiz-Beltrán (2016) en el ST, SA y GMA. Por otro lado, se encontraron valores de extracto etéreo superiores y de proteína inferiores. Asimismo, en la harina de bagazo de zanahoria se encontraron valores altos de cenizas (7.24 %) y fibra cruda (13.52 %), los cuales fueron superiores a los obtenidos en el resto de las materias primas utilizadas en las mezclas a extrudir, así como bajos contenidos de proteína y extracto etéreo.

2. Tamaño medio de partícula

En el **Cuadro 12** se muestra el tamaño medio de partícula (TMP) de las materias primas empleadas en la elaboración de los CPD, obteniéndose valores promedio

Cuadro 11. Composición proximal (b.s.) de las materias primas utilizadas para la elaboración de los CPD.

Compuesto	Materias primas			
	ST	SA	GMA	HBZ
Humedad (%)	7.07±0.09*	9.57±0.12	12.91±0.12	8.27±0.09
Cenizas (%)	4.58±0.02	2.53±0.01	0.34±0.03	7.24±0.22
Extracto etéreo (%)	4.43±0.03	4.29±0.14	0.31±0.01	0.69±0.05
Proteína (%)	2.04±0.05	1.76±0.03	0.90±0.05	0.52±0.05
Fibra cruda (%)	8.33±0.10	1.80±0.17	0.73±0.04	13.52±0.04
Carbohidratos¹ (%)	80.62	89.62	97.65	78.03

ST = Salvado de trigo

SA = Salvado de avena

GMA = *Grits* de maíz amarillo

HSN = Harina de bagazo de zanahoria

¹ = Calculado por diferencia de 100

*= Media ± desviación estándar

b.s. = Base seca

Cuadro 12. Distribución del tamaño medio de partícula (μm) de las materias primas utilizadas en la elaboración de CPD.

# Malla	Abertura (μm)	ST (%)	SA (%)	GMA (%)	HBZ (%)
20	840	0.04 \pm 0.01	0.00 \pm 0.00	0.10 \pm 0.02	0.00 \pm 0.00
40	420	0.97 \pm 0.06	0.67 \pm 0.08	29.37 \pm 0.23	6.84 \pm 0.21
60	250	20.81 \pm 0.32	69.08 \pm 2.14	20.48 \pm 0.40	12.32 \pm 0.16
80	177	11.58 \pm 0.23	15.06 \pm 0.42	16.12 \pm 0.53	22.67 \pm 0.44
100	149	17.54 \pm 0.27	8.08 \pm 0.27	6.53 \pm 0.03	12.73 \pm 0.27
200	74	39.15 \pm 0.35	3.58 \pm 0.17	12.16 \pm 0.32	18.90 \pm 0.29
<200	<74	9.96 \pm 0.21	3.53 \pm 0.21	15.24 \pm 0.05	26.53 \pm 0.09
TMP (μm)		146.64	224.79	262.69	180.49

ST= Salvado de trigo

SA= Salvado de avena

GMA= *Grits* de maíz amarillo

HBZ= Harina de bagazo de zanahoria

TMP= Tamaño medio de partícula

de 146.64 μm para el salvado de trigo y de 224.79 μm para el salvado de avena, valores muy similares a los encontrados por Ruiz-Beltrán en 2016 en estos materiales. Por otro lado, se encontró un TMP de 262.69 μm para *grits* de maíz amarillo, el cual fue inferior al reportado por Ruiz-Beltrán en 2016, quien encontró un TMP de 402.24 μm , lo cual pudo haberse debido a diferencias en el proceso de molienda, variedad, y temporada de cosecha del grano. Desrumaux y col en 1998 encontraron que tamaños de partícula pequeños mejoraban la expansión y disminuían la fuerza de corte en productos obtenidos por extrusión. Por otro lado, se encontró que la harina de bagazo de zanahoria presentó un TMP de 180.49 μm . El tamaño medio de partícula ha sido relacionado directamente con algunas propiedades fisicoquímicas de alimentos extrudidos.

3. Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)

Se determinó el índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) en las materias primas empleadas para la elaboración de los cereales para desayuno (CPD), encontrando en el salvado de trigo valores de IAA e ISA de 2.80 g.a.a./g.s.s. y 15.22 %, respectivamente. En el caso del salvado de avena y los *grits* de maíz amarillo, se encontraron valores de IAA de 1.56 y 2.97 g.a.a./g.s.s. e ISA de 6.82 y 0.84 %, respectivamente. Estos resultados son similares a los reportados por Ruiz-Beltrán (2016), quien utilizó estas materias primas para elaborar cereales para desayuno adicionados con harina de subproductos de naranjita. Asimismo, la harina de bagazo de zanahoria (HBZ) presentó un IAA de 16.33 g.a.a./g.s.s. y un ISA de 33.19 %, valores muy superiores a los obtenidos en el resto de las materias primas (**Cuadro 13**).

Cuadro 13. Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad (ISA) en agua de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de CPD.

Muestra	IAA (g.a.a./g.s.s.)	ISA (%)
ST	2.80 ± 0.03	15.22 ± 0.33
SA	1.56 ± 0.06	6.82 ± 0.42
GMA	2.97 ± 0.05	0.84 ± 0.06
HBZ	16.33 ± 0.28	33.19 ± 0.42

ST= Salvado de trigo

SA= Salvado de avena

GMA= *Grits* de maíz amarillo

HSN= Harina de bagazo de zanahoria

Media ± desviación estándar

4. Contenido de Carotenoides totales (CT) y compuestos fenólicos totales (CFT)

El contenido de carotenoides totales y compuestos fenólicos totales de las materias primas utilizadas para la producción de los cereales se muestra en el **Cuadro 14**. Se puede observar que tanto el salvado de trigo como el salvado de avena presentaron una composición superior de compuestos fenólicos (86.52 y 64.75 mg EAG/g, respectivamente) en relación a la harina de bagazo de zanahoria y los *grits* de maíz amarillo (32.83 y 30.35 mg EAG/g, respectivamente). Por otro lado, los mayores valores de carotenoides totales fueron presentados por la harina de bagazo de zanahoria y *grits* de maíz amarillo (871.49 y 498.68 $\mu\text{g CT/g}$ (b.s.), respectivamente), mientras que fue encontrado un bajo contenido de CT en salvado de trigo (49.12 $\mu\text{g CT/g}$ (b.s.)) y no fue detectada presencia de CT en salvado de avena.

C. Estudio de extrusión

Después de haber realizado el estudio preliminar para establecer las condiciones generales del proceso de extrusión, y los niveles de los factores de estudio, se procedió a llevar a cabo el estudio de extrusión planteado, cuyos resultados se presentan a continuación.

En el **Cuadro 15** se muestra el análisis de varianza de los parámetros fisicoquímicos, fitoquímicos y de capacidad antioxidante analizados en los CPD obtenidos por extrusión. Se puede observar que todas las variables de respuesta analizadas presentaron un modelo de regresión significativo ($p < 0.05$), con valores

Cuadro 14. Contenido de carotenoides totales (CT) y compuestos fenólicos totales (CFT) de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de CPD.

Muestra	CT ($\mu\text{g CT/g (b.s.)}$)	CFT (mg EAG/g)
ST	49.12 \pm 1.03	86.52 \pm 4.69
SA	ND	64.75 \pm 2.14
GMA	498.68 \pm 16.08	30.35 \pm 3.31
HBZ	871.49 \pm 23.39	32.83 \pm 0.44

ST= Salvado de trigo

SA= Salvado de avena

GMA= *Grits* de maíz amarillo

HSN= Harina de bagazo de zanahoria

Media \pm desviación estándar

ND= No detectado

Cuadro 15. Análisis de varianza de las respuestas analizadas en cereales para desayuno adicionados con harina de bagazo de zanahoria.

Respuesta	R ² Ajustada	CV (%)	F	p de F (modelo)	Falta de ajuste
IE	0.65	3.68	5.73	0.030	0.087
DA	0.77	3.62	9.20	0.006	0.057
σ	0.75	4.30	9.05	0.007	0.542
IAA	0.92	4.82	22.94	0.002	0.069
ISA	0.97	1.46	91.04	<0.001	0.453
L*	0.76	1.27	6.17	0.050	0.554
a*	0.66	4.87	5.20	0.034	0.120
b*	0.96	1.26	37.95	0.006	0.468
ΔE*	0.80	12.80	13.31	0.001	0.221
CT	0.93	9.70	24.71	0.004	0.273
RCT	0.97	6.22	75.95	<0.001	0.566
CFT	0.97	1.01	57.01	0.001	0.195
RCF	0.96	1.25	37.73	0.002	0.098
ABTS EHF	0.91	1.67	15.6	0.009	0.155
ABTS ELF	0.92	5.38	17.39	0.020	0.994
DPPH	0.83	5.32	9.38	0.024	0.127

CV= Coeficiente de variación

IE= Índice de expansión

DA= Densidad aparente

σ= Esfuerzo de deflexión

IAA= Índice de absorción de agua

ISA= Índice de solubilidad en agua

L*= Parámetro de color L*

a*= Parámetro de color a*

b*= Parámetro de color b*

ΔE*= Diferencia total de color

CT= Carotenoides totales

RCT= Retención de carotenoides

CFT= Compuestos fenólicos totales

RCF= Retención de compuestos fenólicos

ABTS EHF= Capacidad antioxidante ABTS de extractos hidrofílicos

ABTS ELF= Capacidad antioxidante ABTS de extractos lipofílicos

DPPH=Capacidad antioxidante DPPH

de $R^2_{ajustada} \geq 0.65$, coeficientes de variación (CV) ≤ 12.80 , y no presentaron falta de ajuste ($p > 0.05$).

1. Propiedades fisicoquímicas

a. Índice de expansión (IE)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p = 0.030$), presentando un valor de $R^2_{ajustada} = 0.65$, $CV = 3.68 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.087$) (**Cuadro 15**). Como resultado del análisis estadístico de los datos, se obtuvo que la humedad de alimentación (HA) no presentó efecto significativo sobre esta respuesta tanto en su término lineal (HA, b_1 , $p = 0.955$), como en su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p = 0.168$). Asimismo, el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) no presentó efecto significativo en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p = 0.811$), sin embargo, sí presentó efecto significativo en su interacción $HA*CHBZ^2$ (b_{122} , $p = 0.018$). El modelo utilizado para el análisis de esta variable de respuesta es el siguiente:

$$IE = 1.01 + 1.1 \times 10^{-3} * HA - 3.363 \times 10^{-3} * CHBZ + 0.024 * HA^2 - 0.087 * HA * CHBZ^2$$

En la **Figura 4** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el índice de expansión (IE) de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. En el presente estudio estudio fueron obtenidos valores de IE de 0.899 a 1.095, los cuales son ligeramente menores a los reportados por Ruiz-Beltrán (2016) en cereales para desayuno adicionados con subproductos de naranjita, que oscilaron entre 1.03 y 1.56. Camire y col (2007) reportaron valores de IE de 1.90-1.93 en cereales para desayuno elaborados a base de maíz y arándanos. Brennan

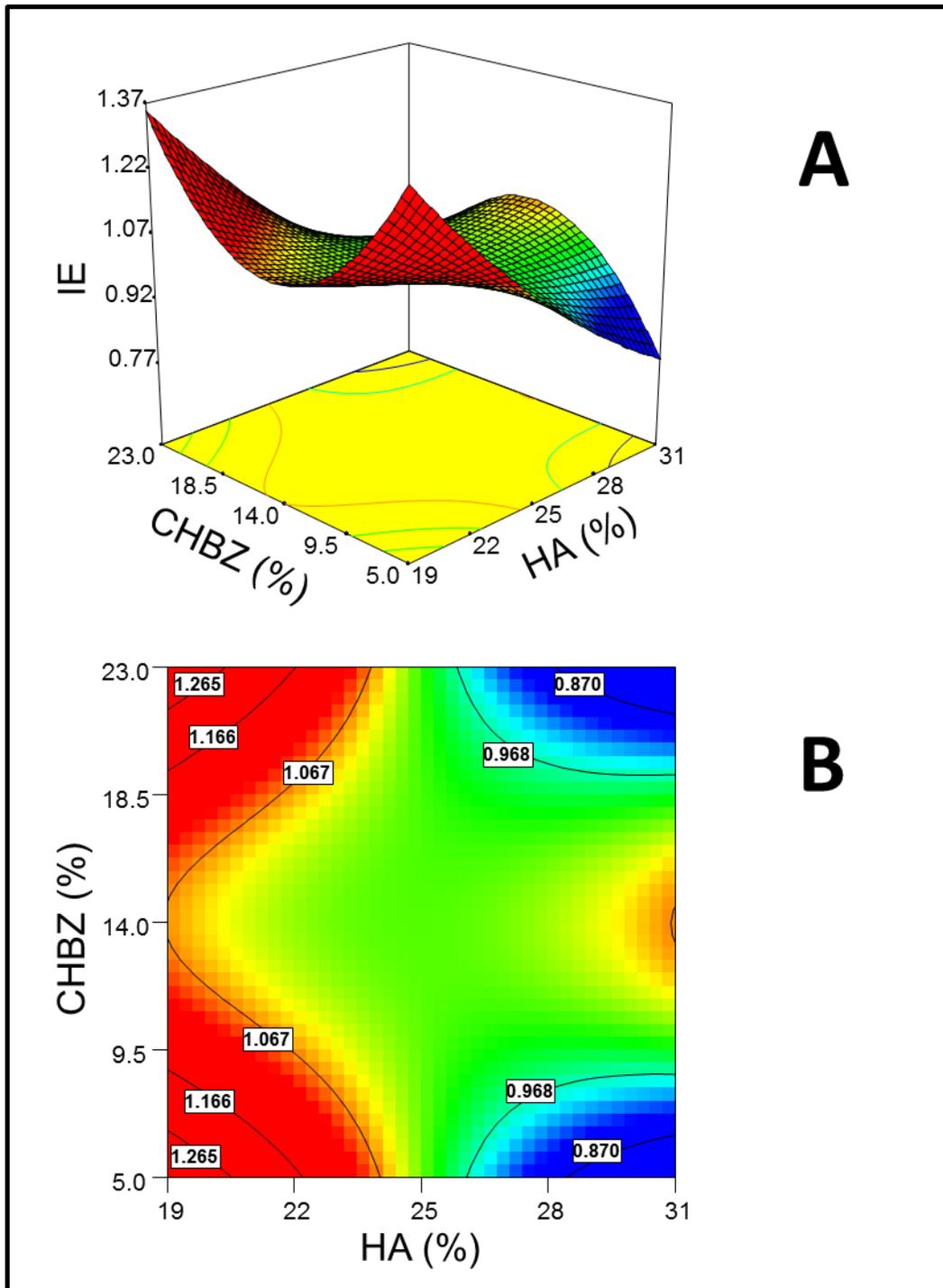


Figura 4. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el índice de expansión (IE) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

y col (2012) encontraron valores de IE de 2.00 a 3.10 en cereales para desayuno elaborados a partir de amaranto, mijo y trigo sarraceno. De igual manera, se puede apreciar que los mayores valores de IE (> 1), se presentaron a niveles bajos de HA ($< 22\%$) en todo el rango de CHBZ ($< 14\%$).

Este comportamiento pudo haberse debido a que, en bajas HA, el proceso es más severo, por lo que pudo haberse generado una mayor fricción en el interior del barril del extrusor, lo cual podría haber producido una mayor modificación en la estructura de los almidones, captando una mayor cantidad de agua, que pudo haber servido como vehículo para la expansión de los cereales para desayuno. Charunuch y col (2011) encontraron un comportamiento similar, ya que reportaron un incremento en el IE de cereales para desayuno elaborados a partir de arroz, camote, col morada y betabel, a medida que disminuía el CH. Urias-Ruelas (2011) encontró un comportamiento similar en la elaboración de alimentos botana directamente expandidos adicionados con harina de calabaza Cehualca, reportando que al emplear altos niveles de HA, el IE tendía a disminuir. Asimismo, Borah y col (2015) encontraron un incremento significativo del IE a medida que se disminuía la HA en la elaboración de cereales para desayuno adicionados con arroz y plátano, lo cual coincide con lo encontrado en el presente trabajo, en donde esta variable de respuesta presentó una correlación negativa con la HA ($r = -0.5846$; $p = 0.036$). Igualmente, los mayores valores de IE a altos CH en combinación con niveles intermedios de CHBZ, pudieron deberse a que en estas condiciones de procesamiento, la alta HA podría haber causado una mayor gelatinización de los almidones de los productos, así como la fibra soluble del CHBZ pudiera haber provocado un aumento en la absorción de agua en los

productos, generando mayor expansión a la salida del extrusor. Sin embargo, la combinación de altos CH con altos y bajos niveles de CHBZ provocaron un descenso en los valores de IE, lo cual pudo deberse a que en condiciones de altos CHBZ se presentó un mayor contenido de fibra dietaria, lo cual pudo haber causado el colapso de las celdas de aire en el material. Esto coincide con lo reportado por Ruiz-Beltrán (2016), quien observó una disminución en el IE de cereales para desayuno a medida que aumentaba la proporción de harina de subproductos de naranjita en su formulación. Por otro lado, los valores bajos de IE combinando altas HA y bajos CHBZ, pudieron deberse a que las bajas cantidades de fibra soluble en dichas condiciones, pudieron haber causado menor captación de agua en los cereales, produciendo menor expansión.

b. Densidad aparente (DA)

Para llevar a cabo el análisis de esta respuesta se empleó un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p= 0.006$) dando un valor de $R^2_{ajustada}= 0.77$ y $CV= 3.62 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.057$) (**Cuadro 15**). En el análisis estadístico de los datos se encontró que la humedad de alimentación (HA) no presentó efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HA, b_1 , $p= 0.228$). En cambio, el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sí presentó efecto significativo sobre esta variable de respuesta tanto en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p= 0.0105$) como en su término cuadrático (CHBZ², b_{22} , $p= 0.002$). En el análisis de las interacciones, se encontró que la interacción HA²*CHBZ (b_{112} , $p= 0.164$) no presentó efecto significativo sobre esta respuesta, a diferencia de HA*CHBZ² (b_{122} , $p= 0.027$), la cual sí presentó efecto significativo. El

modelo que se muestra a continuación puede ser usado para navegar en la superficie del diseño experimental.

$$DA = 822.69 - 25.26*HA - 53.89*CHBZ + 57.58*CHBZ^2 + 33.68*HA^2*CHBZ + 61.28*HA*CHBZ^2$$

En la **Figura 5** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la densidad aparente (DA) de los cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. Se observaron valores de DA de 790 a 987 kg/m³ en los distintos tratamientos, los cuales están en el rango de los reportados por Ruíz-Beltrán en 2016 (690-1000 kg/m³) en cereales elaborados a partir de harina de subproductos de naranjita. Por otro lado, los valores encontrados en el presente trabajo son superiores a los encontrados por Brennan y col (2012), quienes reportaron valores de DA de 100 a 220 kg/m³ en cereales para desayuno elaborados a partir de amaranto, mijo y trigo sarraceno. Asimismo, los valores encontrados son mayores a los reportados por Carvalho y col (2012), quienes encontraron una DA promedio de 250 kg/m³ en cereales para desayuno elaborados a partir de arroz quebrado y frijol. En el presente estudio, se puede observar que los mayores valores de DA (> 952 kg/m³) se encontraron en dos zonas, la primera en condiciones altas de HA (> 27 %) y CHBZ (> 20 %), y la segunda a intermedias y altas HA (> 23 %) en combinación con bajo CHBZ (< 8 %). Este comportamiento pudo haberse debido a que en estas condiciones se presentaron los menores valores de IE. De acuerdo a Ruiz-Beltrán en 2016, los valores de DA están inversamente correlacionados con los valores de IE.

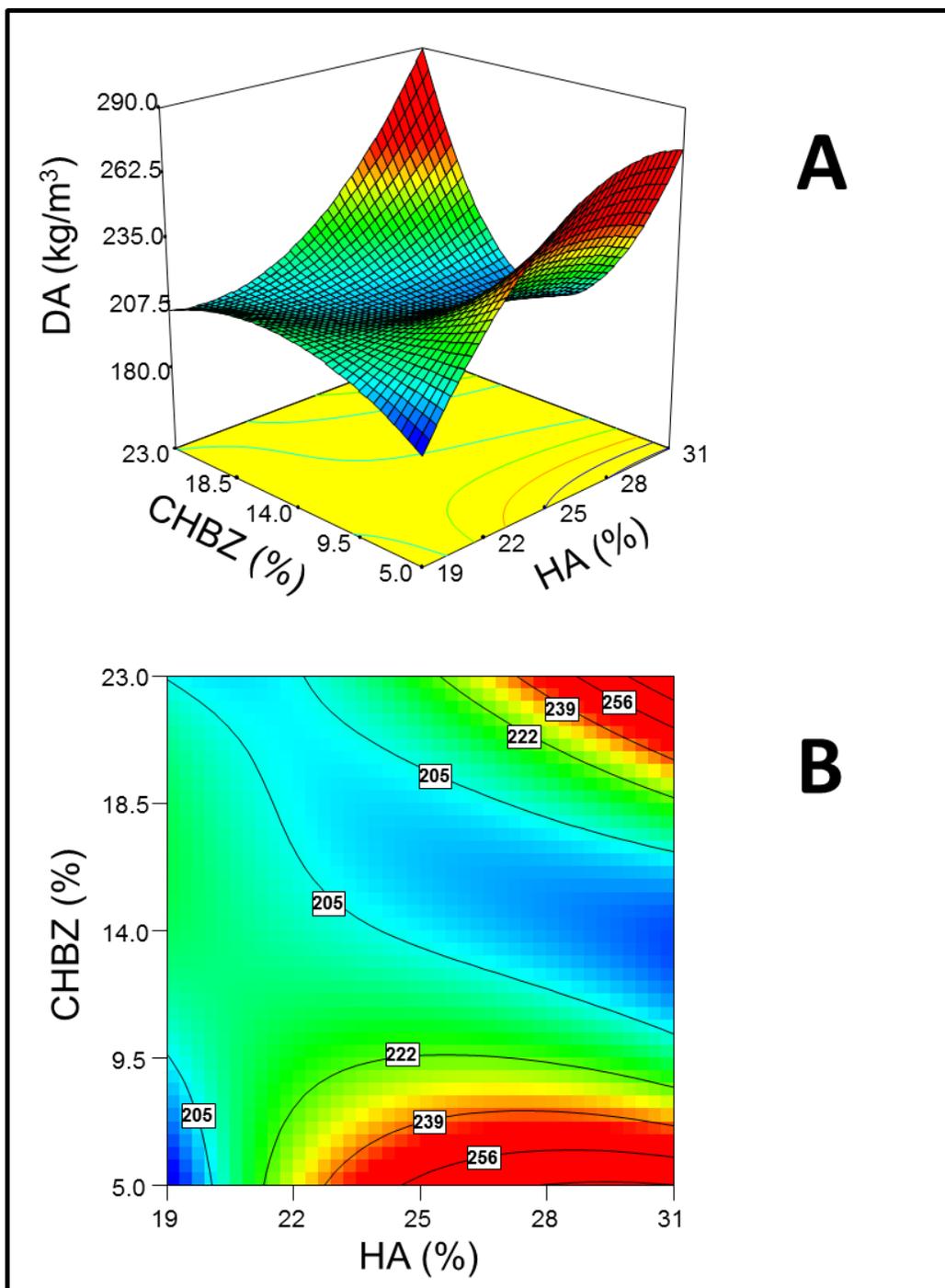


Figura 5. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la densidad aparente (DA) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

Charunuch y col (2011) observaron un incremento en la DA de cereales para desayuno elaborados con arroz, camote, col morada y betabel a medida que aumentaba la HA del proceso, atribuyendo esto al efecto lubricante generado por la HA, provocando un menor daño mecánico, además, encontrando una alta correlación negativa entre IE y DA. Asimismo, Ruiz-Beltrán (2016) observó el mismo comportamiento de DA respecto a IE en cereales para desayuno elaborados con harina de subproductos de naranjita. Oliveira y col (2015) encontraron los mayores valores de DA a altos niveles de HA en combinación con altas temperaturas de extrusión en alimentos directamente expandidos elaborados a partir de quinua y maíz.

c. Esfuerzo de deflexión (σ)

Se empleó un modelo cuadrático para el análisis de esta respuesta, el cual fue significativo ($p= 0.007$), presentando un valor de $R^2_{ajustada}= 0.75$, $CV= 4.30 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.542$) (**Cuadro 15**). Del análisis estadístico de los datos se obtuvo que la humedad de alimentación (HA) no presentó efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HA, b_1 , $p= 0.074$), mientras que el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sí presentó efecto significativo sobre esta respuesta tanto en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p= 0.015$) como en su término cuadrático (CHBZ², b_{22} , $p= 0.004$). Por otro lado, en el análisis de interacciones, se observó que la interacción HA*CHBZ (b_{12} , $p= 0.086$) no presentó efecto significativo sobre esta respuesta. El modelo utilizado para el análisis de esta variable de respuesta se presenta a continuación:

$$\sigma = 7.54 + 0.25*HA + 0.38*CHBZ + 0.34*HA*CHBZ + 0.55*CHBZ^2$$

En la **Figura 6** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el esfuerzo de deflexión (σ) de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. En el presente estudio se obtuvieron valores de σ entre 7.2 y 9.6 MPa, los cuales son similares a los reportados por Ruiz-Beltrán (2016) en cereales para desayuno adicionados con subproductos de naranjita, quien obtuvo valores de 5.17-9.19 MPa. Se puede apreciar que los mayores valores de σ (> 8.8 MPa) se presentaron a HA > 22 % en combinación con CHBZ > 19 %. Esto pudo deberse a que en esta zona se presentaron bajos índices de expansión, por lo cual los cereales fueron más compactos y duros, requiriendo un mayor esfuerzo para fracturarlos. Resultados similares fueron encontrados por Ruiz-Beltrán (2016) en cereales para desayuno altos en fibra elaborados a partir de harina de subproductos de naranjita, encontrando los mayores esfuerzos de deflexión (σ) a altas temperaturas de extrusión y bajo contenido de harina de subproductos de naranjita, condiciones en las cuales estos cereales presentaron un bajo índice de expansión. De igual manera, Hsieh y col (1990) reportaron una fuerte correlación entre el IE y σ en productos extrudidos, y señalaron que los productos que presentaron mayores IE fueron los que presentaron los menores valores de esfuerzo de deflexión. Las fibras generalmente reducen la expansión del producto debido a la ruptura de las paredes celulares antes de que las burbujas de aire se expandan a su tamaño máximo, formándose productos crujientes, duros y compactos (Hsieh y col 1990).

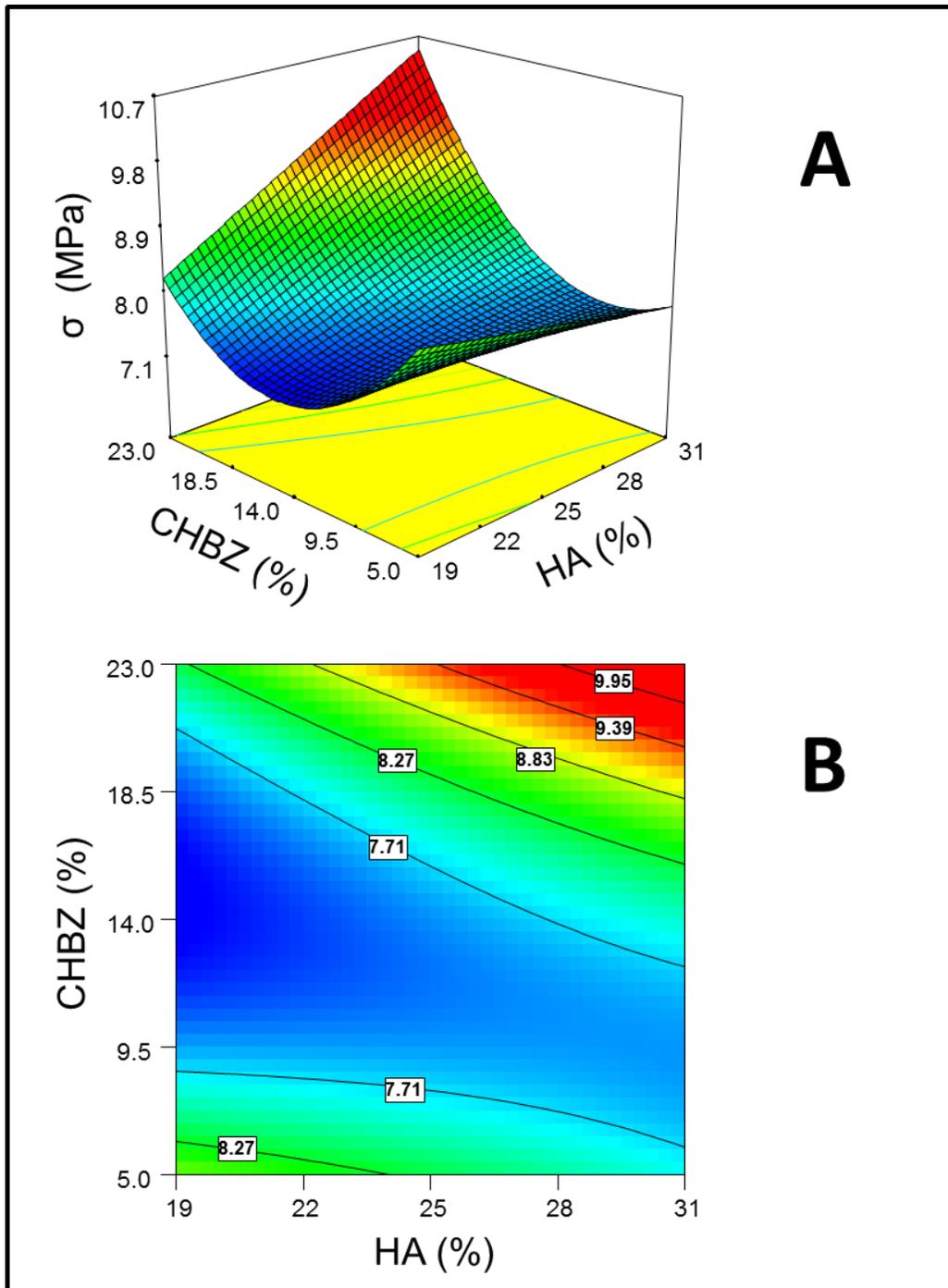


Figura 6. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el esfuerzo de deflexión (σ) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

d. Parámetros de color

1) L*

Se utilizó para el análisis de esta respuesta un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p= 0.049$), obteniendo una $R^2_{ajustada}= 0.76$, $CV= 1.27 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.554$) (**Cuadro 15**). Del análisis estadístico de los datos se obtuvo que la humedad de alimentación (HA), no presentó diferencia significativa tanto en su término lineal (HA, b_1 , $p= 0.172$) como en su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p= 0.222$). Por otro lado, el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) si presentó efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p= 0.032$), pero no en su término cuadrático ($CHBZ^2$, b_{22} , $p= 0.171$). El análisis de interacciones arrojó que la interacción HA*CHBZ (b_{12} , $p= 0.107$) no presentó efecto significativo sobre esta respuesta, contrario a la interacción HA*CHBZ² (b_{122} , $p= 0.021$), la cual si tuvo efecto significativo. A continuación se presenta la ecuación correspondiente al modelo:

$$L^* = 77.67 - 0.82*HA - 1.13*CHBZ + 1.02*HA*CHBZ + 0.60*HA^2 - 0.69*CHBZ^2 + 2.57*HA*CHBZ^2$$

En la **Figura 7** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el sobre el parámetro de color L* de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. El rango de valores obtenido para L* en este estudio fue de 73.886 a 79.716, resultados similares a los observados por Singkhornart y col (2013) en cereales para desayuno elaborados a partir de cereales germinados, quienes

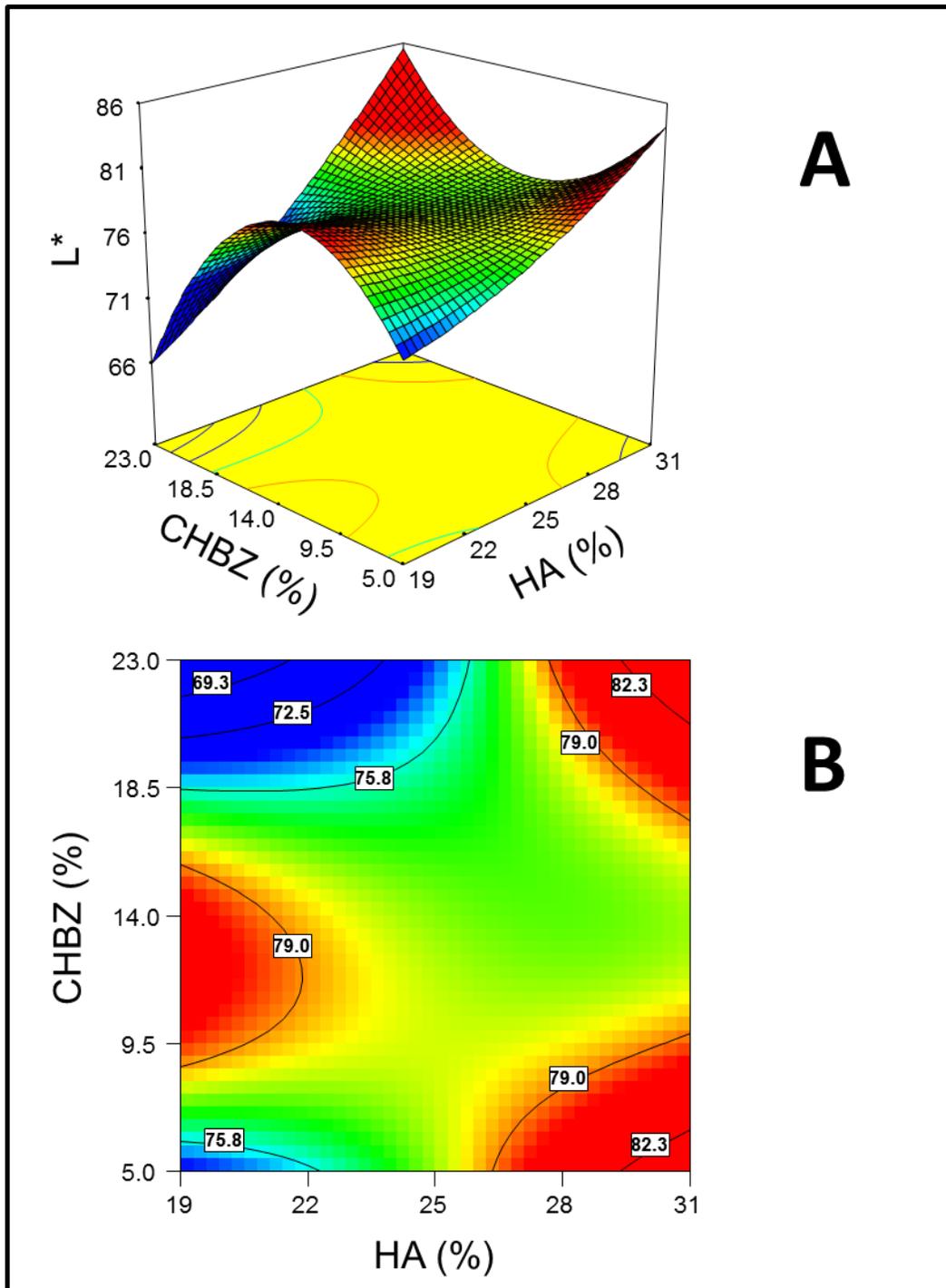


Figura 7. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el parámetro L* (color) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

encontraron valores de 61.72-78.10 y 64.53-76.75 para cereales para desayuno elaborados a partir de trigo y cebada respectivamente.

De igual manera, Charunuch y col (2011) obtuvieron valores de 72-77 para L* en cereales para desayuno elaborados a partir de una mezcla de harinas de arroz, camote, col morada y betabel. Se puede apreciar que los mayores valores de L* (> 79.0) se presentaron en dos zonas, la primera a alta HA (> 26 %) en combinación con bajo CHBZ (< 9.5 %) y la segunda a alta HA (> 28 %) en combinación con alto CHBZ (> 17 %), esto pudo deberse a que estas condiciones de procesamiento (alta HA) son más suaves, debido a que el agua puede generar un efecto lubricante, el cual podría evitar la reacción de Maillard y caramelización (Masatcioglu y col 2015). Por otro lado, los menores valores de L* (< 75.8) se presentaron a condiciones de baja HA (< 25 %) en combinación con alto CHBZ (> 18.5 %), esto puede deberse a que a bajos contenidos de humedad, se pueden llevar a cabo algunas reacciones de Maillard y caramelización (Delgado-Nieblas y col 2015; Masatcioglu y col 2015), la primera debido a la reacción de azúcares reductores con grupos amino de aminoácidos y la segunda debido a la exposición de azúcares reductores a altas temperaturas de procesamiento. Masatcioglu y col (2015) encontraron una disminución en el contenido de furfural e hidroximetilfurfural (productos de la reacción de Maillard y de caramelización) a medida que se aumentó la HA en extrudidos de maíz y proteína de soya, por lo cual estos productos presentaron colores más claros y por lo tanto mayores valores de L* a medida que se aumentó la HA. Delgado-Nieblas y col (2015) observaron bajos valores de L* a medida que se incrementaba el contenido de calabaza Cehualca y se disminuía la HA en alimentos botana, esto debido a que a

bajas HA el esfuerzo de corte en el barril del extrusor es mayor, por lo cual se pudieron liberar algunos azúcares a partir de gomas y del almidón contenidos en la formulación, los cuales podrían haber participado en reacciones de Maillard y/o caramelización, generando algunos compuestos de coloración oscura. L* presentó una correlación positiva con a* (r= 0.5975, p= 0.031) y una correlación negativa con la RC (r= -0.7300, p= 0.005).

2) a*

Para el análisis del parámetro a* de color se utilizó un modelo cúbico, el cual fue significativo (p= 0.034), obteniéndose una $R^2_{ajustada}= 0.66$ y un CV= 4.87 %, sin presentar falta de ajuste (p= 0.120) (**Cuadro 15**). Se obtuvo que la humedad de alimentación (HA) no presentó efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HA, b_1 , p= 0.122), pero si en su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , p= 0.008). Mientras que el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) no presentó efecto significativo sobre esta variable de respuesta en su término lineal (CHBZ, b_2 , p= 0.914). La interacción HA*CHBZ (b_{12} , p= 0.042) si presentó efecto significativo sobre este parámetro, a diferencia de la interacción HA*CHBZ² (b_{122} , p= 0.091), la cual no presentó efecto significativo. Los resultados producto del análisis estadístico indican que el modelo que se muestra a continuación puede ser usado para navegar en la superficie del diseño experimental. A continuación se muestra la ecuación correspondiente al modelo:

$$a^* = 3.53 - 0.16*HA + 7.191 \times 10^{-3}CHBZ + 0.23*HA*CHBZ + 0.27*HA^2 + 0.26*HA*CHBZ^2$$

En la **Figura 8** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el sobre el parámetro de color a^* de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. Para este parámetro, los valores experimentales oscilaron entre 3.396 y 4.440. Singkhornart y col (2013) observaron valores de 2.50 a 4.47 y de 2.42 a 4.19 en cereales para desayuno elaborados a partir de trigo y cebada germinados, respectivamente. Por otro lado, Charunuch y col (2011) observaron valores superiores de a^* (7.5 a 9.0) en cereales para desayuno elaborados con arroz, camote, col morada y betabel. En este trabajo, se puede observar que los mayores valores del parámetro a^* (> 4.15) se encontraron a alta HA ($> 28\%$) en combinación con altos CHBZ ($> 17\%$), esto pudo haberse debido a que los altos valores de a^* se han relacionado con pigmentos de color rojo principalmente (como carotenoides), los cuales se encuentran en la HBZ (Upadhyay y col 2010; Dar y col 2014) y en estas condiciones de alta HA, pudieron haberse conservado de mayor manera, debido al efecto lubricante que genera la humedad, además de posibles coloraciones rojizas generadas por reacciones de oscurecimiento (Masatcioglu y col 2015). Ruiz-Armenta (2015) observó un incremento en a^* a medida que se incrementaba el contenido de harina de subproductos de naranjita en alimentos botana, esto debido al alto contenido de carotenoides de dichos subproductos, aunado a posibles reacciones de oscurecimiento que pudieron haberse presentado, generando coloraciones rojizas.

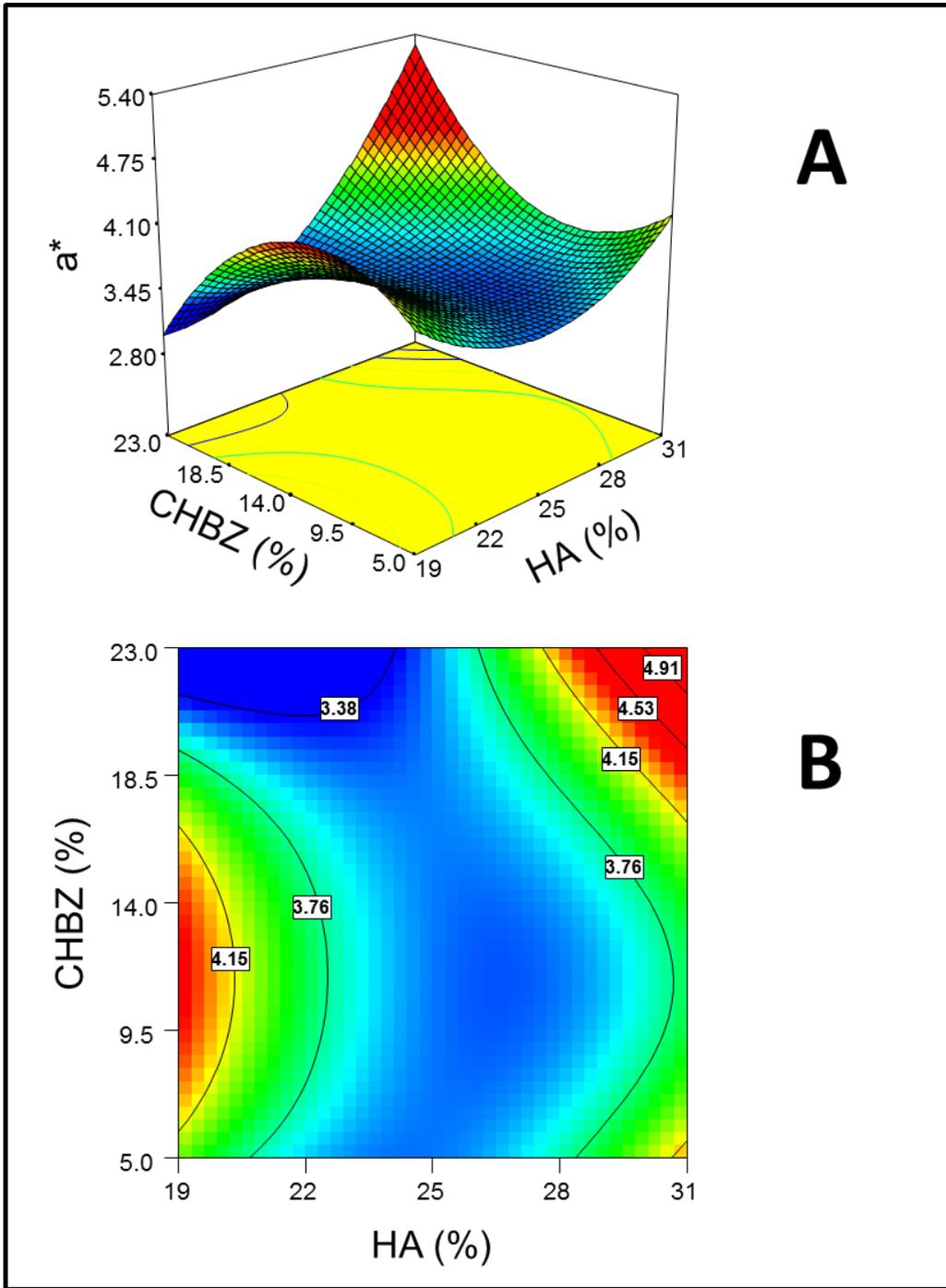


Figura 8. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el parámetro a^* (color) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

El análisis de correlaciones mostró que el parámetro de color a^* presentó correlaciones positivas con b^* ($r= 0.759$, $p= 0.003$) y ΔE^* ($r= 0.641$, $p= 0.018$), además se encontraron correlaciones negativas con IAA ($r= -0.661$, $p= 0.014$) y RC ($r= -0.607$, $p= 0.028$).

3) b^*

Se empleó un modelo cúbico para el análisis estadístico de esta respuesta, el cual fue significativo ($p= 0.006$), del cual se obtuvo una $R^2_{ajustada}= 0.96$ y un CV= 1.26 %, sin presentarse falta de ajuste ($p= 0.468$) (**Cuadro 15**). Como resultado del análisis estadístico de los datos se obtuvo que la humedad de alimentación (HA) presentó efecto significativo sobre esta variable de respuesta tanto en su término lineal (HA, b_1 , $p= 0.005$) como en su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p= 0.003$). En cambio, el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) presentó efecto significativo sobre esta variable en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p= 0.029$), pero no en su término cuadrático ($CHBZ^2$, b_{22} , $p= 0.084$). El análisis de las interacciones dio como resultado que las interacciones HA*CHBZ (b_{12} , $p= 0.043$), HA^2*CHBZ (b_{112} , $p= 0.040$) y HA* $CHBZ^2$ (b_{122} , $p= 0.008$) presentaron efecto significativo sobre esta respuesta. Enseguida se muestra la ecuación del modelo:

$$b^* = 28.54 - 1.37*HA + 0.73*CHBZ + 0.62*HA*CHBZ + 1.32*HA^2 - 0.39*CHBZ^2 + 0.90*HA^2*CHBZ + 1.66*HA*CHBZ^2$$

En la **Figura 9** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el sobre el parámetro de color b^* de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso

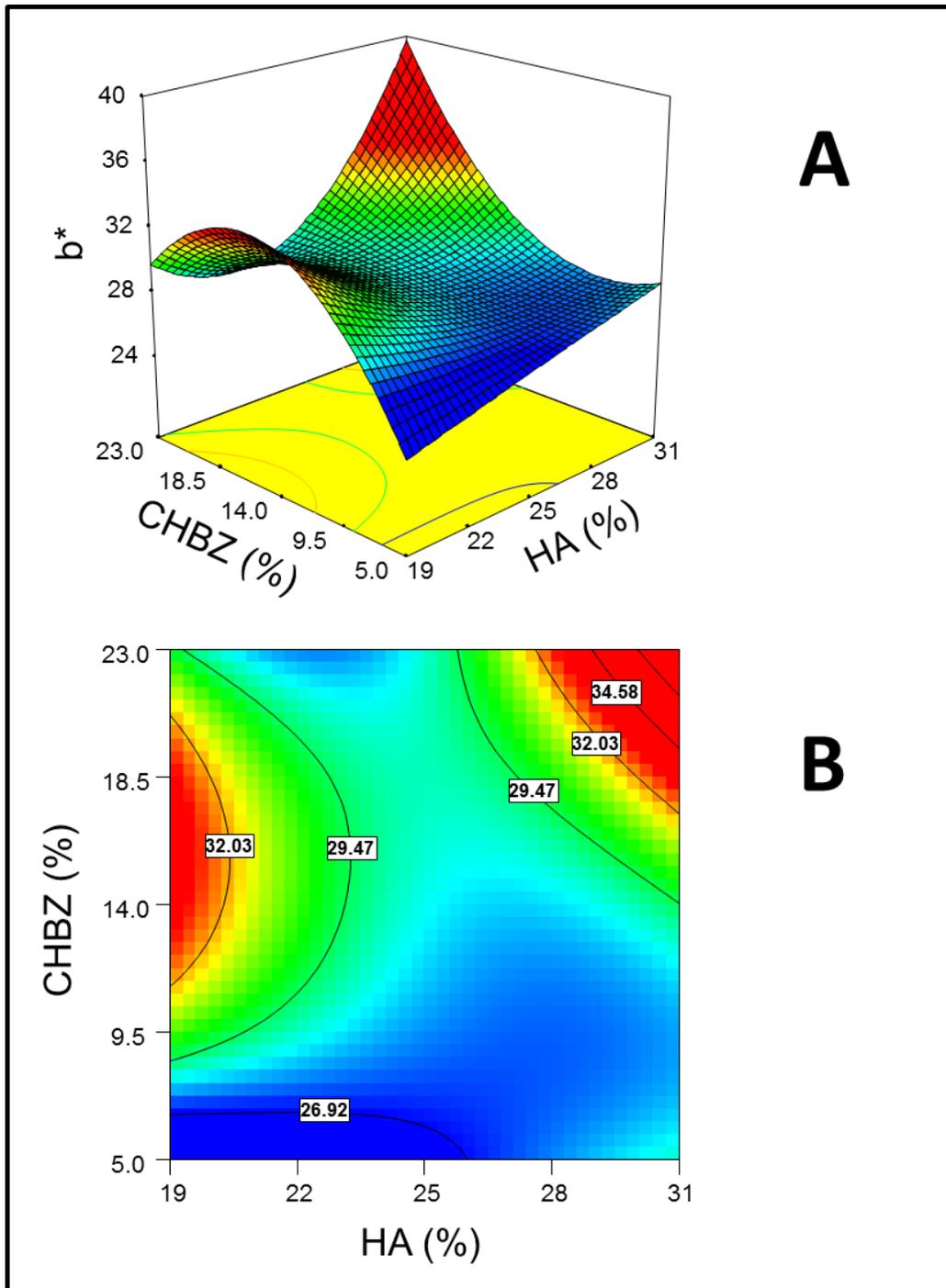


Figura 9. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el parámetro b^* (color) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

de extrusión. Se encontraron valores experimentales de 26.8 a 33.2 para esta variable de respuesta, superiores a los encontrados por Charunuch y col (2011) en cereales para desayuno elaborados con arroz, camote, col morada y betabel (14 a 20). De igual manera, Singkhornart y col (2013) observaron valores de 10.6 a 18.5 y de 8.6 a 16.8 en cereales para desayuno elaborados a partir de trigo y cebada germinados, respectivamente. Se observa que los mayores valores del parámetro b^* (>32.03) se encontraron a altas HA ($>28\%$) y CHBZ ($>17\%$), esto pudo deberse al alto contenido de β -caroteno que presenta la HBZ (Upadhyay y col 2010; Dar y col 2014), además de que en estas condiciones de HA, se pudieron haber conservado de mejor manera, debido al efecto lubricante que pudo haber generado la alta HA. Delgado-Nieblas y col 2015 encontró un comportamiento similar en la elaboración de alimentos botana suplementados con harina de calabaza Cehualca, observando los mayores valores de b^* a altos contenidos de harina de calabaza Cehualca, atribuyendo esto al alto valor de b^* que presentaba esta materia prima en relación al resto de los componentes de su mezcla base (almidón de maíz y harina integral de maíz amarillo), argumentando que estos altos valores de b^* son debidos al alto contenido de carotenoides de la calabaza Cehualca. Asimismo, Ruiz-Armenta (2015) encontró un incremento en los valores de b^* a medida que se incrementaba el porcentaje de harina de subproductos de naranjita en alimentos botana, esto debido al alto valor de b^* presentado por la harina de subproductos de naranjita, en comparación el resto de sus materias primas empleadas. Mediante el análisis de correlaciones de Pearson, se encontraron correlaciones positivas con el ISA ($r= 0.596$, $p= 0.032$) y el ΔE^* con un valor de $r= 0.741$ y $p= 0.004$.

4) ΔE^*

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p= 0.001$) con una $R^2_{ajustada}= 0.80$, un $CV= 12.80 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.221$) (**Cuadro 15**). Como resultado del análisis estadístico de los datos, se obtuvo que la humedad de alimentación (HA) no presentó efecto significativo en su término lineal (HA, b_1 , $p= 0.674$) sobre esta respuesta, a diferencia de su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p< 0.001$), mientras que el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ, b_2 , $p= 0.043$) si presentó efecto significativo sobre esta variable, contrario a lo observado en la interacción $HA*CHBZ^2$ (b_{122} , $p= 0.0864$), la cual no presentó efecto significativo. A continuación se muestra la ecuación correspondiente al modelo:

$$\Delta E^* = 6.02 - 0.21*HA + 0.81*CHBZ + 2.32*HA^2 + 1.32*HA*CHBZ^2$$

En la **Figura 10** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la diferencia total de color ΔE^* de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. El rango de valores experimentales de ΔE^* obtenidos fue de 4.0 a 11.2. Se puede apreciar que los mayores valores de ΔE^* (> 10.3) se observaron en dos zonas, la primera a baja HA ($< 20 \%$) en combinación con un CHBZ intermedio ($9.5 \% < CHBZ < 20 \%$), esto pudo deberse a que a baja HA, el proceso es más severo y puede haber una importante pérdida de color, debido a reacciones de Maillard y caramelización (Masatcioglu y col 2015), mientras que la segunda zona, a alta HA en todo el rango de CHBZ, pudo haber una mayor fluidez del material, por lo cual mayor contacto entre las moléculas, lo cual pudo haber generado un

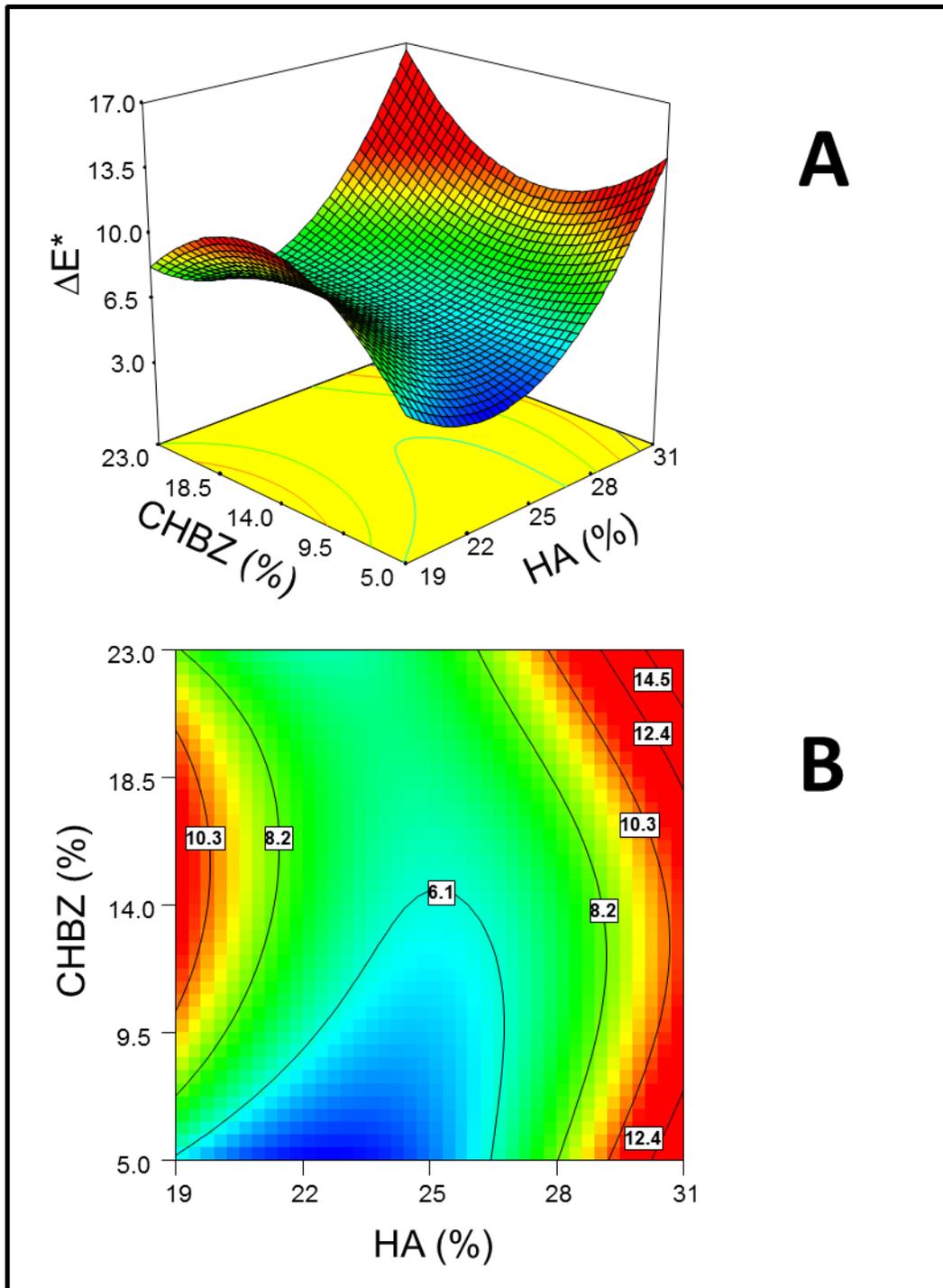


Figura 10. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la diferencia total de color (ΔE^*) de cereales para desayuno altos en fibra elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

mayor número de reacciones químicas y pérdida de color, principalmente de carotenoides.

Ruiz-Armenta (2015) observó mayores valores de ΔE^* a medida que incrementaba el contenido de harina de subproductos de naranjita en alimentos botana a menores HA, esto debido a pérdidas importantes de carotenoides, los cuales son abundantes en esta materia prima, aunado a la severidad del proceso de extrusión a bajos contenidos de humedad. Además, encontró correlaciones positivas de ΔE^* con a^* y b^* , esto debido a que a altos contenidos de harina de subproductos de naranjita, se presentaron altos valores de a^* y b^* , debido a la naturaleza de los pigmentos que contiene, los cuales pudieron haberse degradado con el proceso de extrusión, generando una mayor pérdida de color.

e. Índice de absorción de agua (IAA)

Para el análisis de esta respuesta se empleó un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p= 0.002$) dando un valor de $R^2_{ajustada}= 0.92$ y $CV= 4.82 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.069$) (**Cuadro 15**). En el análisis estadístico de los datos se encontró que la humedad de alimentación (HA) presentó efecto significativo sobre esta respuesta, tanto en su término lineal (HA, b_1 , $p= 0.004$) como en su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p= 0.002$). De igual manera, el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) también presentó efecto significativo en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p= 0.009$), a diferencia de su término cúbico ($CHBZ^3$, b_{222} , $p= 0.052$), el cual no presentó efecto significativo. En el análisis de las interacciones, se encontró que la interacción HA*CHBZ (b_{12} , $p= 0.002$) si presentó efecto significativo, contrario a la interacción $HA*CHBZ^2$ (b_{122} , $p= 0.080$), la cual no

presentó efecto significativo. A continuación se presenta la ecuación correspondiente al modelo para esta respuesta:

$$\text{IAA} = 6.65 + 0.76 \cdot \text{HA} + 1.38 \cdot \text{CHBZ} - 0.85 \cdot \text{HA} \cdot \text{CHBZ} - 0.71 \cdot \text{CHBZ}^2 - 0.46 \cdot \text{HA} \cdot \text{CHBZ}^2 - 0.54 \cdot \text{CHBZ}^3$$

En la **Figura 11** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el índice de absorción de agua (IAA) de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. Los resultados obtenidos de IAA oscilaron entre 4.0 y 7.5 g.a.a./g.s.s., similares a los encontrados por Ruiz-Beltrán (2016) en cereales para desayuno hechos a partir de subproductos de naranjita, los cuales fueron de 3.8 a 6.2 g.a.a./g.s.s. Asimismo, Yao y col (2011) encontraron valores de IAA de 5.2 a 6.0 g.a.a./g.s.s. en cereales para desayuno elaborados a partir de avena. Se puede observar que los mayores valores de IAA (> 6.88 g.a.a./g.s.s.), se mostraron en HA intermedias y bajas (< 28 %) en combinación con alto CHBZ (> 14%), lo cual pudo deberse a que la HBZ presentó un IAA de 16.33 g.a.a./g.s.s, muy superior al resto de las materias primas empleadas en la formulación de estos cereales para desayuno.

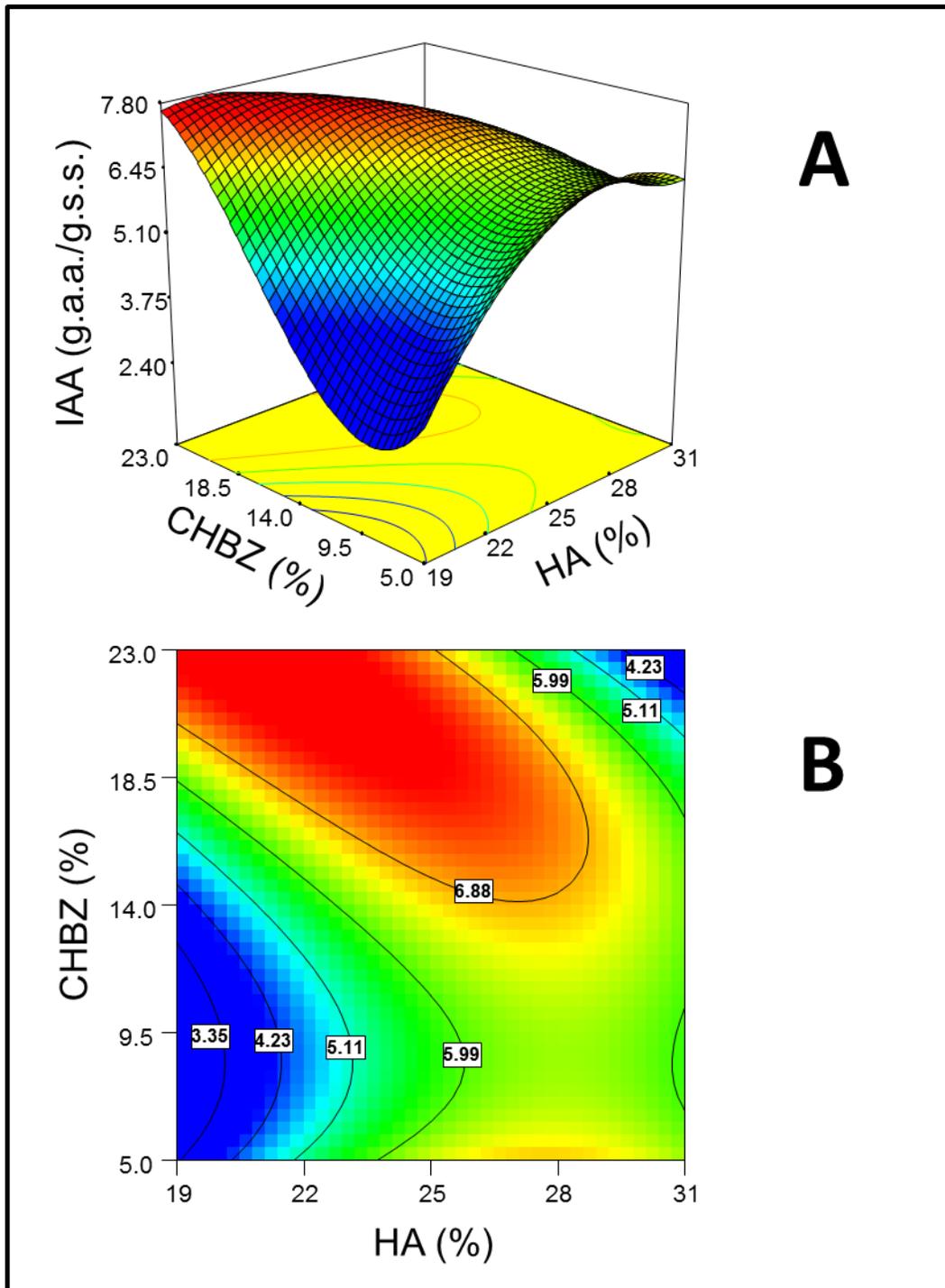


Figura 11. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el índice de absorción de agua (IAA) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

Ruiz-Beltrán (2016) encontró un comportamiento similar en esta variable de respuesta, ya que observó que al incrementarse el contenido de subproductos de naranjita en la formulación de cereales para desayuno, aumentaba el IAA de estos, lo cual se lo atribuyó al alto IAA de dicho ingrediente, el cual puede deberse al gran contenido de gomas y pectinas presentes en la naranjita. De igual manera, Pérez-Murillo (2015) observó el mismo comportamiento en la elaboración por extrusión de pastas alimenticias adicionadas con cáscara de calabaza Cehualca, ya que los mayores IAA de estas pastas se observaron a altas temperaturas de extrusión en combinación con altos contenidos de harina de cáscara de calabaza Cehualca. El IAA presentó correlaciones negativas con CFT ($r = -0.622$, $p = 0.023$) y con la RCF ($r = -0.733$, $p = 0.004$), así como una correlación positiva con ABTS ELF ($r = 0.676$, $p = 0.011$).

f. Índice de solubilidad en agua (ISA)

En el análisis de esta variable de respuesta, se empleó un modelo cuadrático, el cual fue significativo ($p < 0.001$), dando un valor de $R^2_{ajustada} = 0.97$ y $CV = 1.46\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.453$) (**Cuadro 15**). Como resultado del análisis estadístico de los datos, se encontró que la humedad de alimentación (HA) no presentó efecto significativo sobre esta variable de respuesta (HA, b_1 , $p = 0.920$). Por otro lado, se encontró que el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ), sí presentó efecto significativo tanto en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p < 0.001$), como en su término cuadrático (CHBZ², b_{22} , $p = 0.001$). Por otro lado, la interacción HA*CHBZ (b_{12} , $p = 0.077$) no presentó efecto significativo sobre esta respuesta. A continuación se presenta la ecuación correspondiente al modelo para esta variable de respuesta:

$$ISA = 17.52 + 9.211 \times 10^{-3} \cdot HA + 1.60 \cdot CHBZ + 0.26 \cdot HA \cdot CHBZ - 0.58 \cdot CHBZ^2$$

En la **Figura 12** se muestra el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el índice de solubilidad en agua (ISA) de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. En este estudio se observaron valores de ISA de 14.2 a 18.8 %, similares a los observados por Ruiz-Beltrán (2016) en cereales para desayuno adicionados con subproductos de naranjita (13.1 a 17.8 %). De igual manera, Yao y col (2011) encontraron valores similares en cereales para desayuno elaborados con avena (13.8 a 18.0 %). En este trabajo, se puede observar que los mayores valores de ISA (> 17.22 %) se presentaron a altos CHBZ (> 14 %), esto pudo haberse debido al alto ISA que presenta la HBZ (33.19 %), esto debido a la gran cantidad de azúcares presentes en la zanahoria (Upadhyay y col 2010; Kumar y Kumar 2011), lo cual pudo ayudar a incrementar el ISA de los cereales, además, es posible que el proceso de extrusión haya contribuido en la ruptura de algunos compuestos insolubles de alto peso molecular, generando compuestos solubles más pequeños.

Un comportamiento similar fue observado por Ruiz-Beltrán (2016) en cereales para desayuno elaborados con subproductos de naranjita, encontrando que a medida que se incrementaba el contenido de subproductos de naranjita, el ISA de los cereales para desayuno aumentaba considerablemente, atribuyendo esto al alto ISA de los subproductos de naranjita. Esta respuesta presentó una alta correlación positiva con el factor de estudio CHBZ ($r = 0.931$, $p < 0.001$). De igual manera, también presentó una correlación positiva con DPPH ($r = 0.668$, $p =$

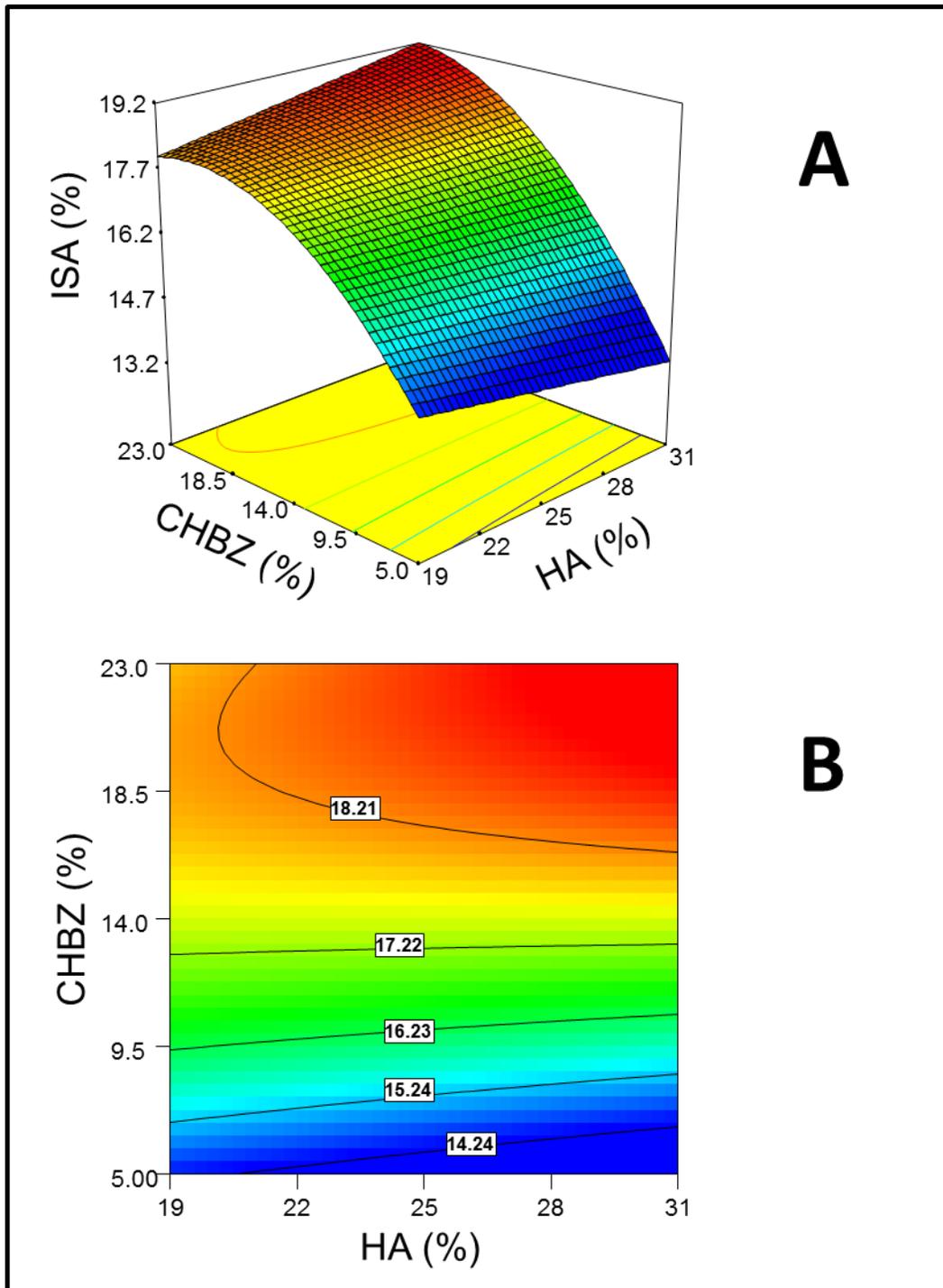


Figura 12. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el índice de solubilidad en agua (ISA) de cereales para desayuno altos en fibra elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

0.013). Por otro lado, presentó correlaciones negativas tanto con CFT ($r = -0.734$, $p = 0.004$) y con la RCF ($r = -0.749$, $p = 0.003$).

2. Capacidad antioxidante y contenido de compuestos fitoquímicos

a. Carotenoides totales (CT)

Para el análisis de esta respuesta se empleó un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p = 0.004$) con una $R^2_{ajustada} = 0.93$, un $CV = 9.70\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.273$) (**Cuadro 15**). Como resultado del análisis estadístico de los datos, se obtuvo que la humedad de alimentación (HA) no presentó efecto significativo en su término lineal (HA, b_1 , $p = 0.109$) sobre esta respuesta, a diferencia de su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p = 0.001$), mientras que el contenido de harina de bagazo de zanahoria si presentó efecto significativo sobre esta variable tanto en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p = 0.011$), como en su término cuadrático ($CHBZ^2$, b_{22} , $p = 0.010$). De igual manera, las interacciones $HA*CHBZ$ (b_{12} , $p = 0.016$) y $HA*CHBZ^2$ (b_{122} , $p = 0.043$) también presentaron efecto significativo sobre esta variable de respuesta. A continuación se presenta la ecuación del modelo:

$$CT = 301.4 - 21.88*HA + 34.16*CHBZ - 42.52*HA*CHBZ - 71.02*HA^2 - 41.84*CHBZ^2 - 44.03*HA*CHBZ^2$$

En la **Figura 13** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el contenido de carotenoides totales de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. El rango de valores experimentales de CT obtenidos fue de 121.0 a

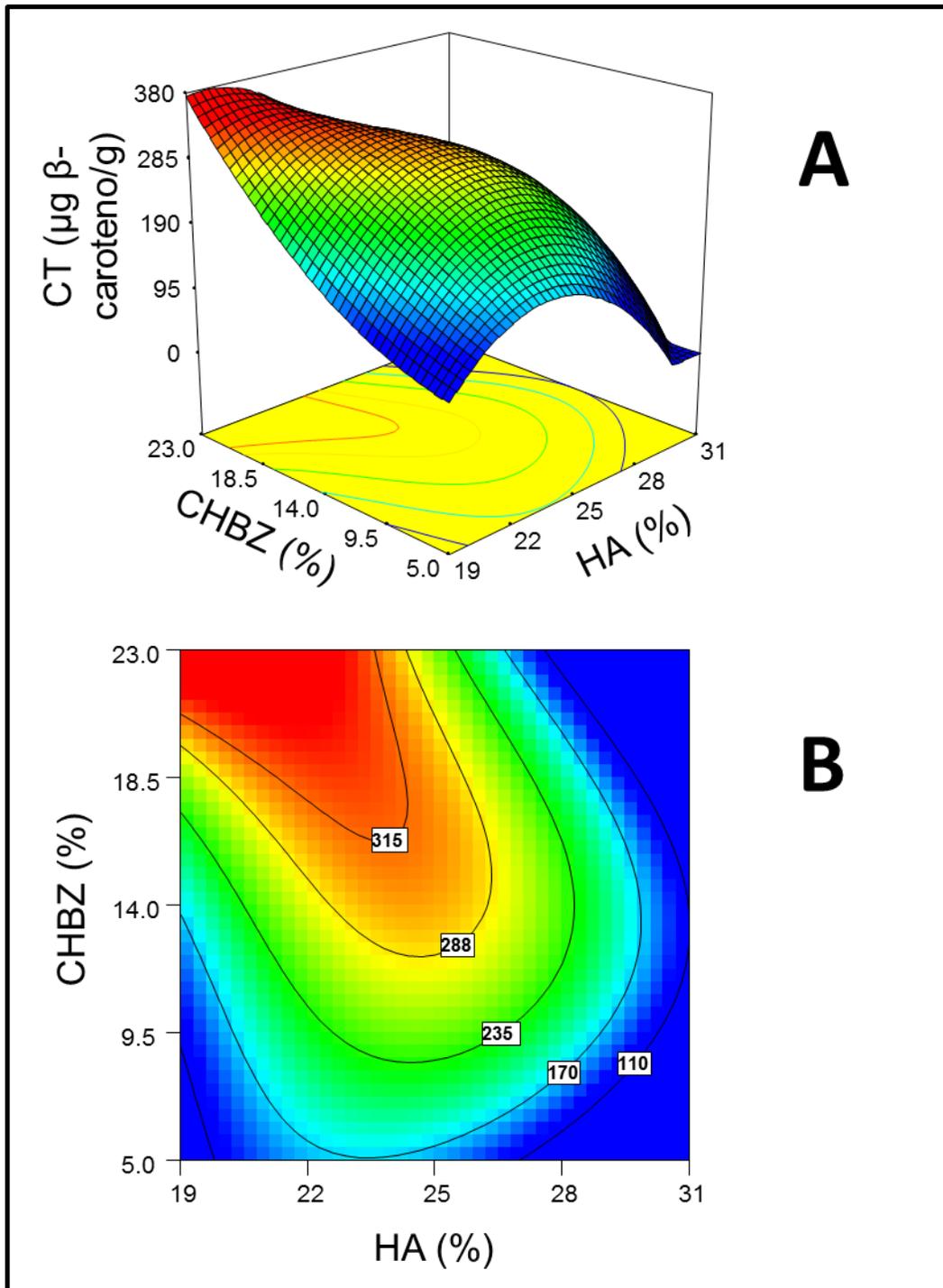


Figura 13. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el contenido de carotenoides totales (CT) en cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

337.9 μg β -caroteno/g. Se puede apreciar que los mayores valores de CT (> 288 μg β -caroteno/g) se observaron a bajas HA (< 25 %) en combinación con altos CHBZ (CHBZ > 16 %), esto pudo haberse debido al alto contenido de carotenoides totales encontrado en la HBZ en relación a los otros ingredientes empleados en la formulación de los CPD, además, a bajas HA, se pudieron haber liberado algunos carotenoides que podrían haber estado ligados, esto debido a que en estas condiciones se genera un mayor esfuerzo de corte, lo cual pudo haber ayudado a liberarlos (Jacobo-Valenzuela 2011). Resultados similares fueron encontrados por Ruiz-Armenta en 2015 y por Ruiz-Beltrán en 2016, quienes encontraron mayores contenidos de carotenoides en botanas 3G y en cereales para desayuno, respectivamente, a medida que se incrementaba la proporción de harina de subproductos de naranjita, material el cual es rico en carotenoides totales, esto aunado a que el proceso de extrusión puede ser capaz de liberar algunos de estos componentes. De igual manera Delgado-Nieblas y col en 2012 encontraron los mayores contenidos de CT en botanas 3G elaboradas a partir de calabaza Cehualca, a medida que se incrementaba la proporción de este material. La respuesta CT presentó correlaciones positivas con la RC ($r= 0.926$, $p< 0.001$), ABTS ELF ($r= 0.576$, $p= 0.040$) y DPPH ($r= 0.563$, $p= 0.045$).

b. Retención de carotenoides (RC)

Para el análisis de la Retención de carotenoides (RC) se utilizó un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p< 0.001$), obteniéndose una $R^2_{ajustada}= 0.97$ y un CV= 6.22 %, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.566$) (**Cuadro 15**). Se obtuvo que la humedad de alimentación (HA) presentó efecto significativo sobre esta respuesta

tanto en su término lineal (HA, b_1 , $p= 0.035$), como en su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p< 0.001$). De igual manera, el CHBZ también presentó efecto significativo sobre esta variable de respuesta (CHBZ, b_2 , $p< 0.001$). La interacción HA*CHBZ (b_{12} , $p= 0.0019$) si presentó efecto significativo sobre la RC, al igual que la interacción $HA*CHBZ^2$ (b_{122} , $p= 0.002$). A continuación se presenta la ecuación correspondiente al modelo:

$$RC= 100.08 - 7.37*HA + 15.06*CHBZ - 15.27*HA*CHBZ - 24.18*HA^2 - 21.83*HA*CHBZ^2$$

En la **Figura 14** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la Retención de Carotenoides (RC) de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. Para este parámetro, los valores experimentales oscilaron entre 39.3 y 138.6 %. Se puede observar que los mayores valores de la RC (> 110 %) se encontraron a bajas HA (> 25 %) en combinación con altos CHBZ (> 18.5 %), esto pudo haberse debido a que en estas zonas se presentaron los mayores contenidos de CT, debido al alto contenido que posee la HBZ de estos pigmentos. Además de los carotenoides que se pudieron haber liberado por el esfuerzo de corte generado en el proceso de extrusión (Jacobo-Valenzuela 2011).

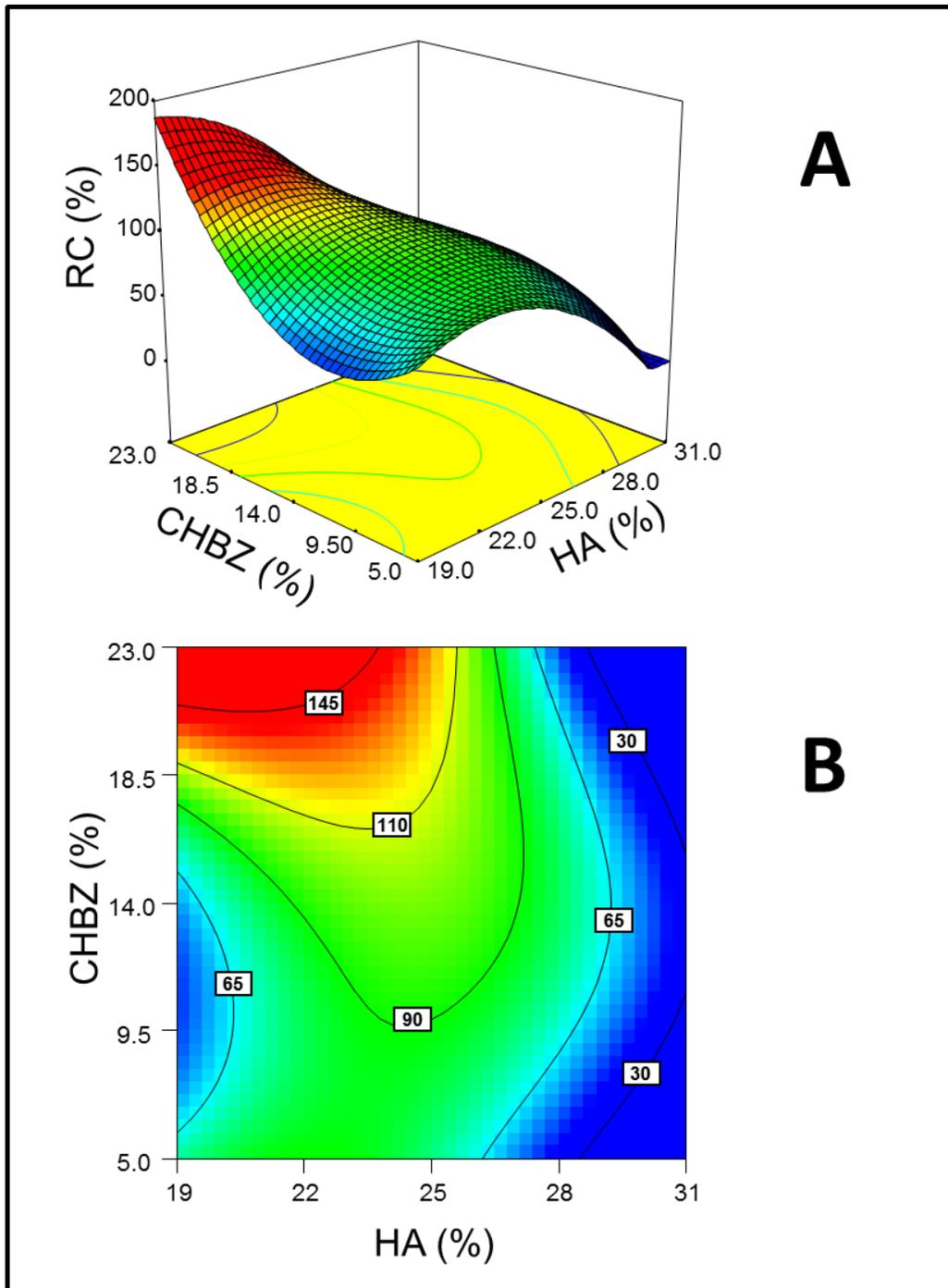


Figura 14. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la retención de carotenoides (RC) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

c. Compuestos fenólicos totales (CFT)

En el análisis de esta variable de respuesta, se empleó un modelo cúbico, que fue significativo ($p= 0.001$), dando un valor de $R^2_{ajustada}= 0.97$ y $CV= 1.01 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.195$) (**Cuadro 15**). Como resultado del análisis estadístico de los datos, se encontró que tanto la humedad de alimentación (HA, b_1 , $p= 0.920$), como el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ, b_2 , $p< 0.001$) presentaron efecto significativo sobre esta variable de respuesta. De igual manera, tanto la humedad de alimentación (HA^2 , b_{11} , $p= 0.002$), como el contenido de harina de bagazo de zanahoria ($CHBZ^2$, b_{22} , $p< 0.001$) presentaron efecto significativo sobre esta respuesta. Por otro lado, las interacciones $HA*CHBZ$ (b_{12} , $p= 0.083$) y HA^2*CHBZ (b_{112} , $p= 0.146$) no presentaron efecto significativo. Por último, la interacción $HA*CHBZ^2$ (b_{122} , $p= 0.032$) si presentó efecto significativo sobre esta variable de respuesta. A continuación se presenta la ecuación correspondiente al modelo para esta respuesta:

$$CFT= 1.05 - 0.047*HA - 0.55*CHBZ - 0.013*HA*CHBZ + 0.032*HA^2 + 0.51*CHBZ^2 + 0.014*HA^2*CHBZ + 0.026*HA*CHBZ^2$$

En la **Figura 15** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre los compuestos fenólicos totales (CFT) de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. En este parámetro, los valores experimentales oscilaron entre 1.04 y 1.24 mg EAG/g, ligeramente inferiores a los reportados por Ruiz-Beltrán en 2016, quien encontró 2.18 mg EAG/g en cereales para desayuno

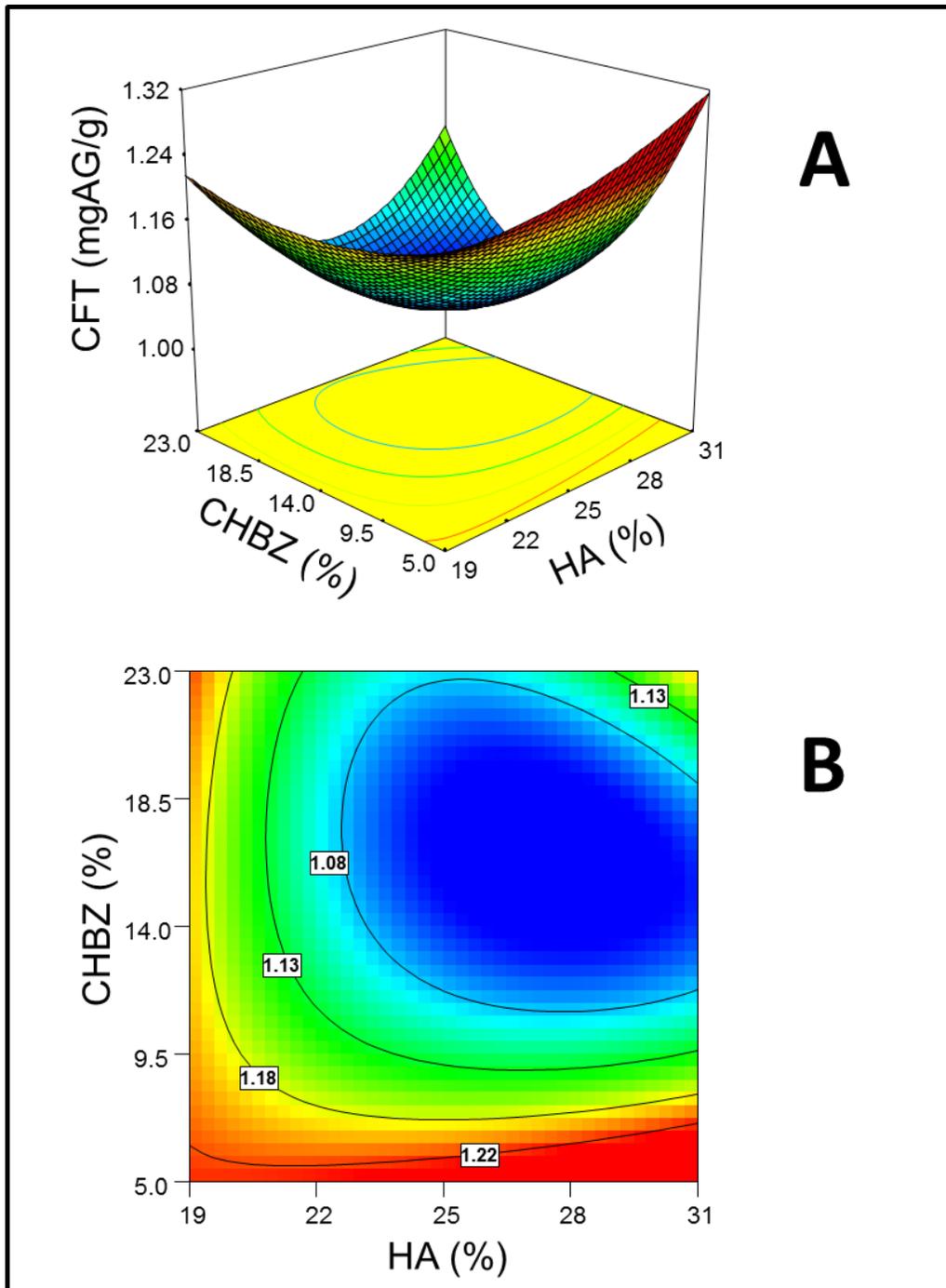


Figura 15. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre el contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

suplementados con harina de subproductos de naranjita. Camire y col (2007), encontraron valores de 118.4 a 138.5 ppm de CFT en cereales para desayuno elaborados a partir de maíz y arándanos, los cuales equivalen a 1.97-2.31 mg EAG/g, valores que son ligeramente superiores a los encontrados en este estudio. Se puede observar que los mayores valores de CFT (> 1.22 mg EAG/g) se encontraron a bajo CHBZ ($< 7\%$), esto pudo haberse debido a que la HBZ presentó un menor contenido de compuestos fenólicos (32.83 mg EAG/g) en relación con los salvados de trigo (86.52 mg EAG/g) y avena (64.75 mg EAG/g), como se muestra en el **Cuadro 14**. Lu y Luthria en 2016 encontraron altos contenidos de compuestos fenólicos en salvado de trigo, destacando al ácido ferúlico. De igual manera, Hitayezu y col (2015) encontraron importantes contenidos de compuestos fenólicos en fracciones de la molienda de avena, destacando el alto contenido de compuestos fenólicos del salvado de este cereal, en especial de ácidos ferúlico y vanílico. El contenido de CFT presentó una alta correlación positiva con la RCF ($r= 0.917$, $p< 0.001$). Por otro lado, presentó correlaciones negativas con el factor CHBZ ($r= -0.581$, $p= 0.037$) y con la variable ABTS ELF ($r= -0.814$, $p= 0.001$).

d. Retención de compuestos fenólicos (RCF)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p= 0.002$), obteniéndose una $R^2_{ajustada}= 0.96$ y un $CV= 1.25\%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.098$) (**Cuadro 15**). Se obtuvo que la humedad de alimentación (HA) presentó efecto significativo sobre esta respuesta tanto en su término lineal (HA, b_1 , $p= 0.002$) como en su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p=$

0.005). De igual manera, también presentó efecto significativo sobre esta variable de respuesta tanto en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p= 0.008$), como en su término cuadrático ($CHBZ^2$, b_{22} , $p= 0.003$). Por otro lado, la interacción HA*CHBZ (b_{12} , $p= 0.156$) no presentó efecto significativo sobre este parámetro, al igual que la interacción HA*CHBZ² (b_{122} , $p= 0.053$). Por último, la interacción HA²*CHBZ (b_{112} , $p= 0.014$) si presentó efecto significativo en el análisis de esta variable de respuesta. El modelo correspondiente para esta respuesta es el siguiente:

$$RCF= 97.15 - 4.36*HA - 3.16*CHBZ - 1.10*HA*CHBZ + 2.81*HA^2 + 3.11*CHBZ^2 - 3.77*HA^2*CHBZ + 2.43*HA*CHBZ^2$$

En la **Figura 16** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la retención de compuestos fenólicos (RCF) de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. Los mayores valores de RCF (> 107 %) se encontraron a bajos CHBZ (< 14 %), misma zona donde se observaron los mayores contenidos de CFT, esto, de igual manera, pudo haberse debido al alto contenido de compuestos fenólicos encontrados en los salvados de trigo y avena en relación a la HBZ. Los valores de RCF superiores al 100 % pudieron haberse debido a que en el proceso de extrusión se pueden liberar algunos compuestos fenólicos de la pared celular (Zielinski y col 2001). Leyva-Corral y col (2016) encontraron los mayores contenidos de ácido ferúlico en botanas de avena con almidón de papa suplementados con bagazo de manzana a medida que se incrementaba la temperatura de extrusión, atribuyendo esto a los ácidos fenólicos que se pudieron

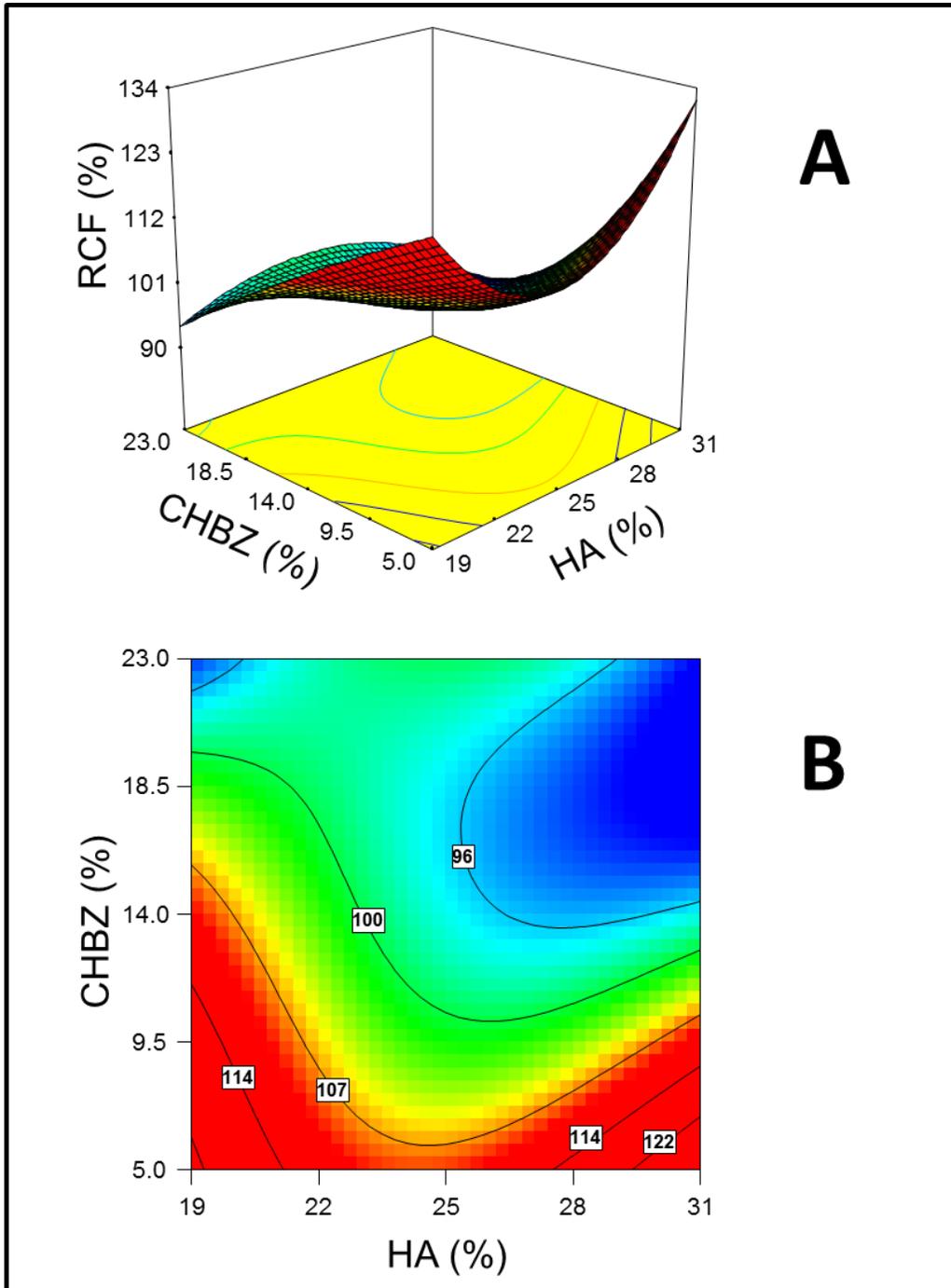


Figura 16. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la retención de compuestos fenólicos (RCF) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

haber liberado de la pared celular, lo cual permitió poder cuantificarlos. Zielinski y col (2001) encontró incrementos en el contenido de compuestos fenólicos en el proceso de extrusión de trigo, avena y cebada. La RCF presentó correlaciones negativas con el factor CHBZ ($r = -0.678$, $p = 0.011$) y con ABTS ELF ($r = -0.671$, $p = 0.012$).

e. Capacidad antioxidante ABTS

1) Extracto hidrofílico (EHF)

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p = 0.009$), presentando un valor de $R^2_{ajustada} = 0.90$ y $CV = 1.67\%$, sin presentar falta de ajuste ($p = 0.155$) (**Cuadro 15**). Como resultado del análisis estadístico de los datos, se obtuvo que la humedad de alimentación (HA) presentó efecto significativo sobre esta respuesta en su término lineal (HA, b_1 , $p < 0.001$). En cambio, en su término cuadrático no presentó efecto significativo (HA^2 , b_{11} , $p = 0.496$). El contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ), no presentó efecto significativo tanto en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p = 0.215$) como en su término cuadrático ($CHBZ^2$, b_{22} , $p = 0.637$). Por otro lado, el análisis estadístico arrojó como resultado que las interacciones $HA*CHBZ$ (b_{12} , $p = 0.019$), HA^2*CHBZ (b_{112} , $p = 0.043$) y $HA*CHBZ^2$ (b_{122} , $p = 0.001$) si presentaron efecto significativo sobre estas variable de respuesta. Enseguida se presenta la ecuación correspondiente al modelo para esta respuesta:

$$\begin{aligned} \text{ABTS EHF} = & 2,079.79 - 157.66*HA - 25.88*CHBZ - 66.56*HA*CHBZ + 10.4*HA^2 \\ & + 7.07*CHBZ^2 + 72.47*HA^2*CHBZ + 194.27*HA*CHBZ^2 \end{aligned}$$

En la **Figura 17** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la capacidad antioxidante ABTS de extractos hidrofílicos (ABTS EHF) de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. Para la capacidad antioxidante ABTS de los extractos hidrofílicos (ABTS EHF) se obtuvieron valores experimentales de 1,947.21 a 2,359.86 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$. Rufián-Henares y Delgado-Andrade (2009) encontraron valores de hasta 2,900 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$ en cereales para desayuno elaborados a partir de maíz, ligeramente superiores a los encontrados en este estudio. Se puede observar que los mayores valores de ABTS EHF se observaron a altas condiciones de HA ($> 26\%$) en combinación con bajo CHBZ ($< 8\%$), esto pudo haberse debido a que en esta zona se encontraron los mayores contenidos de CFT, además de las mayores RCF, ya que el ST y SA presentaron contenidos en CFT superiores a la HBZ.

2) Extracto lipofílico (ELF)

En el análisis de esta variable de respuesta, se empleó un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p= 0.020$), dando un valor de $R^2_{\text{ajustada}}= 0.91$ y $CV= 5.38\%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.994$) (**Cuadro 15**). Como resultado del análisis estadístico de los datos, se encontró que la humedad de alimentación (HA) presentó efecto significativo sobre esta variable de respuesta tanto en su término lineal (HA, b_1 , $p= 0.030$), como en su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p= 0.007$). De igual manera, el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) también presentó efecto significativo tanto en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p= 0.009$), como en su término cuadrático ($CHBZ^2$, b_{22} , $p= 0.024$). Por último, se obtuvo que la

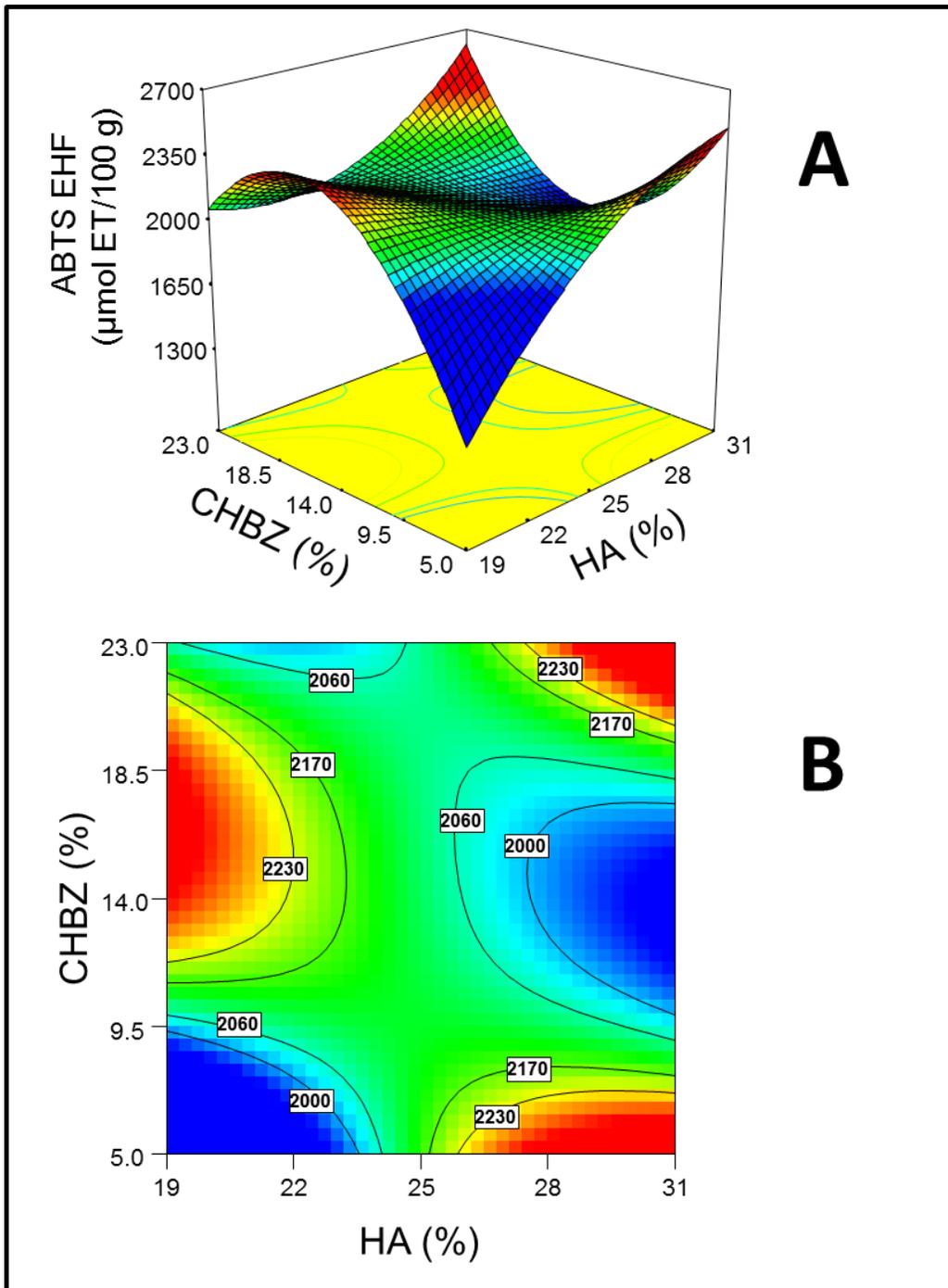


Figura 17. Efecto de la humedad y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la capacidad antioxidante ABTS de extractos hidrofílicos (ABTS EHF) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

interacción HA*CHBZ (b_{12} , $p= 0.238$) no tuvo efecto sobre esta variable de respuesta, contrario a la interacción HA²*CHBZ (b_{112} , 0.029), la cual sí presentó efecto significativo. A continuación se presenta la ecuación correspondiente:

$$\text{ABTS ELF} = 1,206.53 + 73.44 \cdot \text{HA} + 163.93 \cdot \text{CHBZ} - 39.00 \cdot \text{HA} \cdot \text{CHBZ} - 169.03 \cdot \text{HA}^2 - 105.06 \cdot \text{CHBZ}^2 - 148.89 \cdot \text{HA}^2 \cdot \text{CHBZ}$$

En la **Figura 18** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la capacidad antioxidante ABTS de extractos lipofílicos (ABTS ELF) de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. Para esta respuesta se observaron valores experimentales de 770.64 a 1,230.62 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$. Los mayores valores de ABTS ELF ($> 1,120 \mu\text{mol ET}/100\text{g}$) se observaron a intermedias HA ($22 \% < \text{HA} < 28 \%$) en combinación con altos CHBZ ($> 14 \%$), esto pudo haberse al alto contenido de CT, así como las altas RC encontradas en esta zona de procesamiento, por lo cual esta alta actividad antioxidante se le puede atribuir al alto contenido de CT de la HBZ, como se mencionó anteriormente, este parámetro mostró una correlación positiva con el contenido de CT de los CPD.

f. Capacidad antioxidante DPPH

Se utilizó para el análisis de esta respuesta un modelo cúbico, el cual fue significativo ($p= 0.024$), con una $R^2_{\text{ajustada}}= 0.83$, $\text{CV}= 5.32 \%$, sin presentar falta de ajuste ($p= 0.127$) (**Cuadro 15**). Del análisis estadístico de los datos se obtuvo que la humedad de alimentación (HA), no presentó diferencia significativa tanto en su

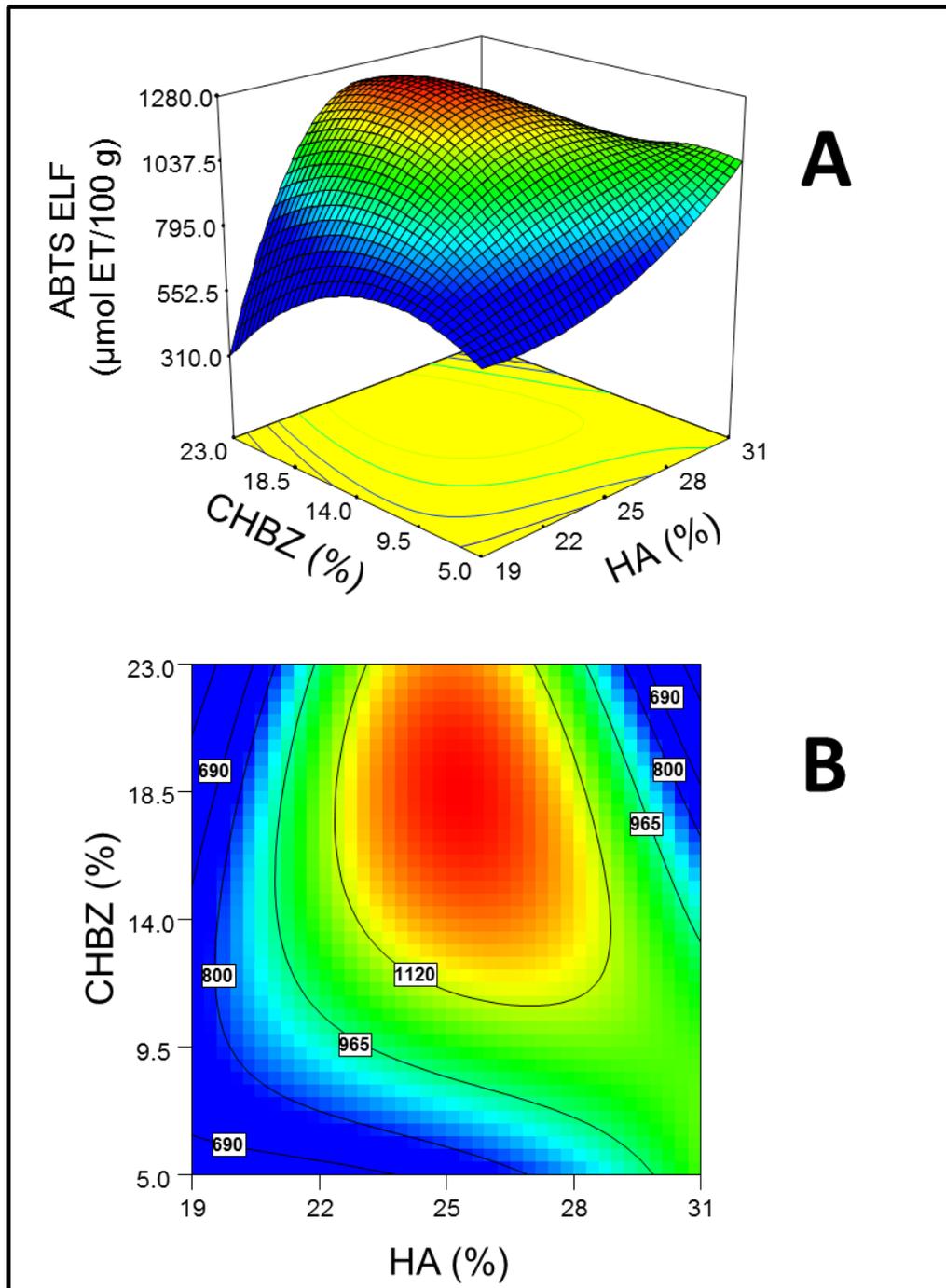


Figura 18. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la capacidad antioxidante ABTS de extractos lipofílicos (ABTS ELF) de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

término lineal (HA, b_1 , $p= 0.080$) como en su término cuadrático (HA^2 , b_{11} , $p= 0.526$). Por otro lado, el contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) si presentó efecto significativo sobre esta respuesta tanto en su término lineal (CHBZ, b_2 , $p= 0.008$), como en su término cuadrático ($CHBZ^2$, b_{22} , $p= 0.008$). El análisis de interacciones arrojó que la interacción HA*CHBZ (b_{12} , $p= 0.186$) no presentó efecto significativo sobre esta respuesta, contrario a la interacción HA^2*CHBZ (b_{112} , $p= 0.036$), la cual si tuvo efecto significativo. A continuación se presenta la ecuación correspondiente al modelo para esta respuesta:

$$DPPH= 877.15 - 35.37*HA + 104.49*CHBZ - 34.14*HA*CHBZ - 12.48*HA^2 - 87.39*CHBZ^2 - 93.79*HA^2*CHBZ$$

En la **Figura 19** se observa el efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la capacidad antioxidante DPPH de cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión. Para la capacidad antioxidante DPPH se obtuvieron valores experimentales de 577.52 a 948.49 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$. Sharma y col en 2016 encontraron valores de hasta 888 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$ en cereales para desayuno de avena. Se puede observar que los mayores valores de capacidad antioxidante DPPH ($> 860 \mu\text{mol ET}/100\text{g}$) se obtuvieron a HA intermedias y bajas ($HA < 27 \%$) en combinación con intermedios y altos CHBZ ($> 10 \%$). Esto pudo haberse debido al alto contenido de CT y alta RC presentada en esta zona de procesamiento, por lo que, a estos compuestos se le puede atribuir esta alta

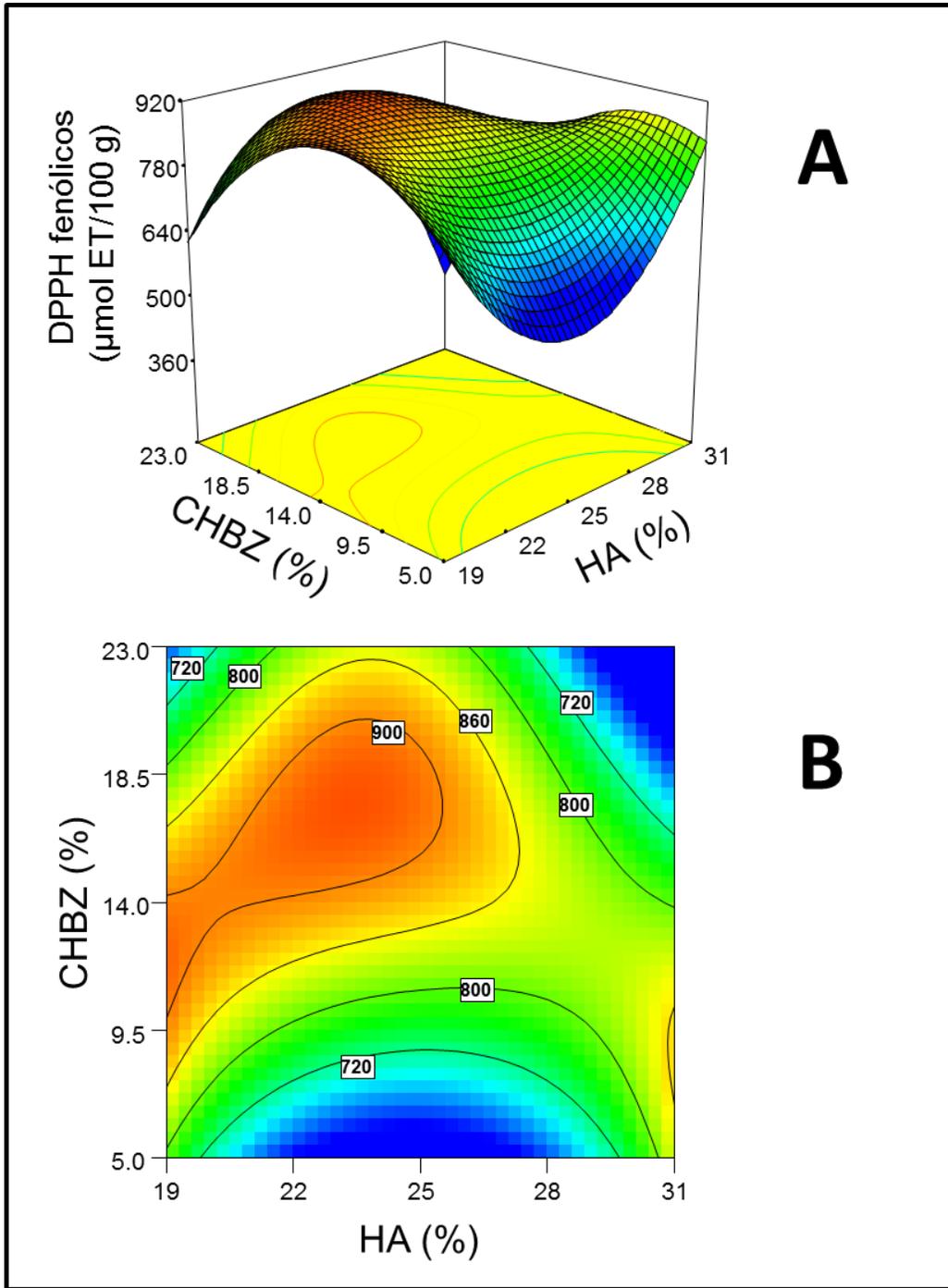


Figura 19. Efecto de la humedad de alimentación (HA) y del contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ) sobre la capacidad antioxidante DPPH de cereales para desayuno elaborados a partir del proceso de extrusión. (A) Superficies; (B) Contornos.

capacidad antioxidante DPPH, ya que como se mencionó anteriormente, este parámetro y el contenido de CT presentaron una correlación positiva.

3. Optimización

Se realizó la optimización del proceso de extrusión mediante el método gráfico, utilizando la técnica de superposición de las diferentes superficies de las respuestas con el programa computacional Design-Expert (Stat-Ease 2007). El objetivo fue encontrar las mejores condiciones del proceso de extrusión, seleccionando para realizar este procedimiento las variables de respuesta esfuerzo de deflexión (σ), índice de absorción de agua (IAA), retención de carotenoides (RC) y capacidad antioxidante del extracto lipofílico (ABTS ELF). Los criterios utilizados para llevar a cabo la optimización fueron encontrar las mejores condiciones de procesamiento para obtener los mayores valores de σ , RC y ABTS ELF, así como valores de intermedios a altos para el IAA. Se utilizaron como criterios los valores experimentales intermedios de las distintas variables empleadas en la optimización, debido a que en la literatura no se encontraron trabajos de cereales para desayuno extrudidos elaborados con harina de bagazo de zanahoria. Se realizó una optimización gráfica para determinar el área de superposición de superficies de respuesta con un valor de $\sigma = 8$ MPa mínimo, IAA= 5 mínimo e IAA= 7.5 g.a.a./g.s.s. máximo, RC= 85% mínimo y ABTS ELF= 1150 $\mu\text{mol ET}/100$ g mínima. Con esta información se procedió a realizar la optimización gráfica y el área óptima obtenida estuvo delimitada por 22.75 a 27.59 % de humedad de alimentación (HA) y por 16.16 a 23.00 % de contenido de

harina de bagazo de zanahoria (CHBZ), la cual se muestra en la **Figura 20** en color gris. Los valores predichos por el modelo en el punto central del área óptima anteriormente mencionada para las variables empleadas en la optimización fueron: $\sigma = 8.45$ MPa, IAA= 7.56 g.a.a./g.s.s., RCT= 121.32 % y ABTS ELF= 1,253.88 $\mu\text{mol ET}/100$ g. Se llevó a cabo la comprobación del modelo, realizándose un ensayo en el punto central del área óptima (HA= 24.48 %, CHBZ= 20.21 %). Se llevaron a cabo análisis físicos, fisicoquímicos, fitoquímicos y antioxidantes en el el CPD óptimo y se reportaron los valores medios con sus respectivas desviaciones estándar. Estos valores, fueron comparados con los valores predichos por el modelo en el punto central del área de optimización, no encontrándose diferencia significativa entre ellos (**Cuadro 16**). Por lo anterior, se obtuvo que el modelo probado demostró tener buen ajuste para encontrar las mejores condiciones de HA y CHBZ para elaborar cereales para desayuno con buenas características fisicoquímicas, fitoquímicas y antioxidantes. En el **Cuadro 17** se reportan los valores de diferentes características químicas, físicas, fisicoquímicas, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante del cereal para desayuno elaborado en las condiciones optimizadas de extrusión (HA= 24.48 % y CHBZ= 20.21 %). En los análisis de composición proximal se obtuvieron valores de humedad= 4.86 ± 0.01 %, proteínas= 1.32 ± 0.03 %, extracto etéreo= 0.97 ± 0.02 %, fibra cruda= 7.28 ± 0.01 % y cenizas= 5.99 ± 0.15 %. Para el caso de los parámetros físicos y fisicoquímicos, se obtuvo un IE= 1.10 ± 0.08 , DA= 806.12 ± 78.60 kg/m³, $\sigma = 7.47 \pm 0.86$ MPa, L*= 66.53 ± 0.98 , a*= 4.20 ± 0.30 , b*= 24.68 ± 0.31 , $\Delta E^* = 5.19 \pm 0.83$, IAA= 6.65 ± 0.99 g.a.a./g.s.s. e ISA= 17.56 ± 0.27 %.

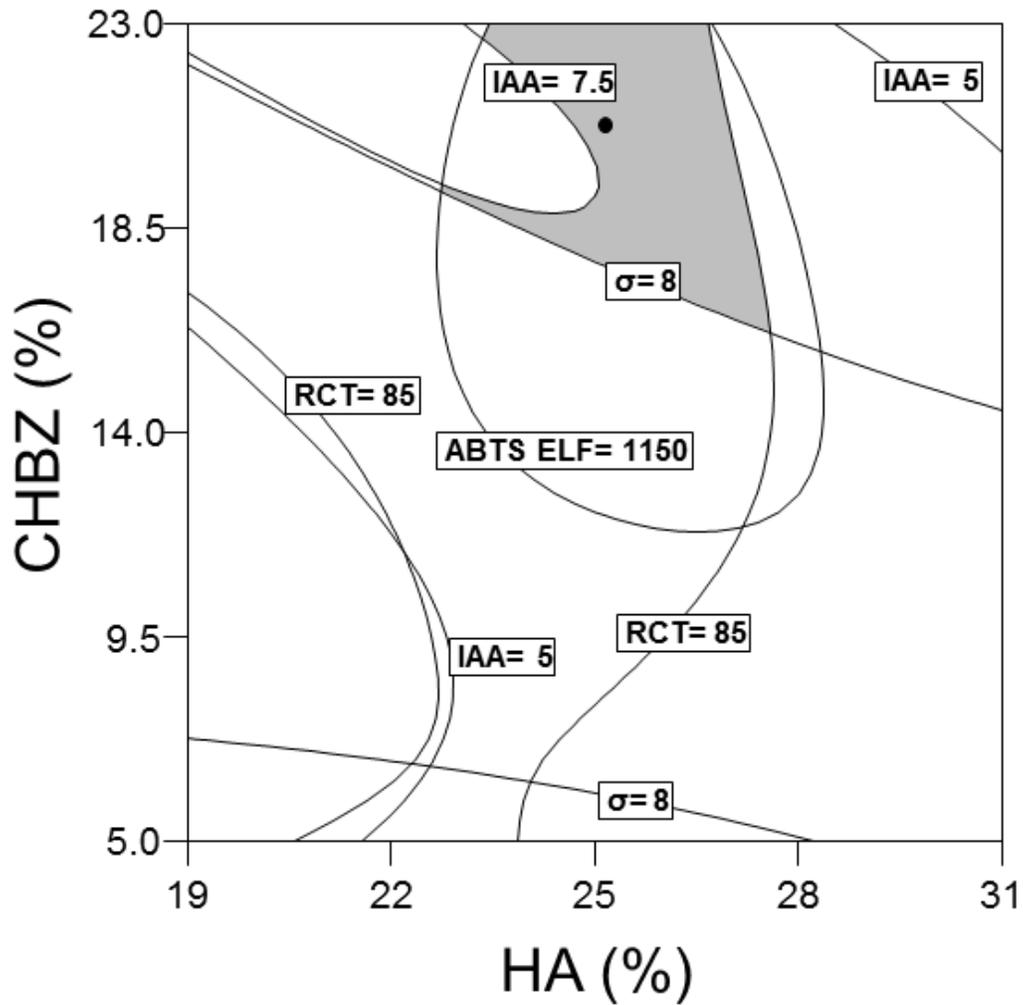


Figura 20. Optimización gráfica. Área de superposición de las respuestas como efecto de la humedad de alimentación (HA) y contenido de harina de bagazo de zanahoria (CHBZ), en la elaboración de cereales para desayuno mediante el proceso de extrusión.

Cuadro 16. Comparación de los valores predichos por el modelo mediante optimización gráfica, y los valores experimentales obtenidos en la validación de las condiciones de procesamiento optimizadas.

Variable	Valor predicho	Valor real
σ	7.56	7.47±0.86
IAA	7.56	6.65±0.99
RC	121.32	119.86±4.94
ABTS ELF	1,253.88	1,248.37±61.00

Cuadro 17. Valores experimentales de propiedades químicas, fisicoquímicas, contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de cereales para desayuno elaborados por el proceso de extrusión.

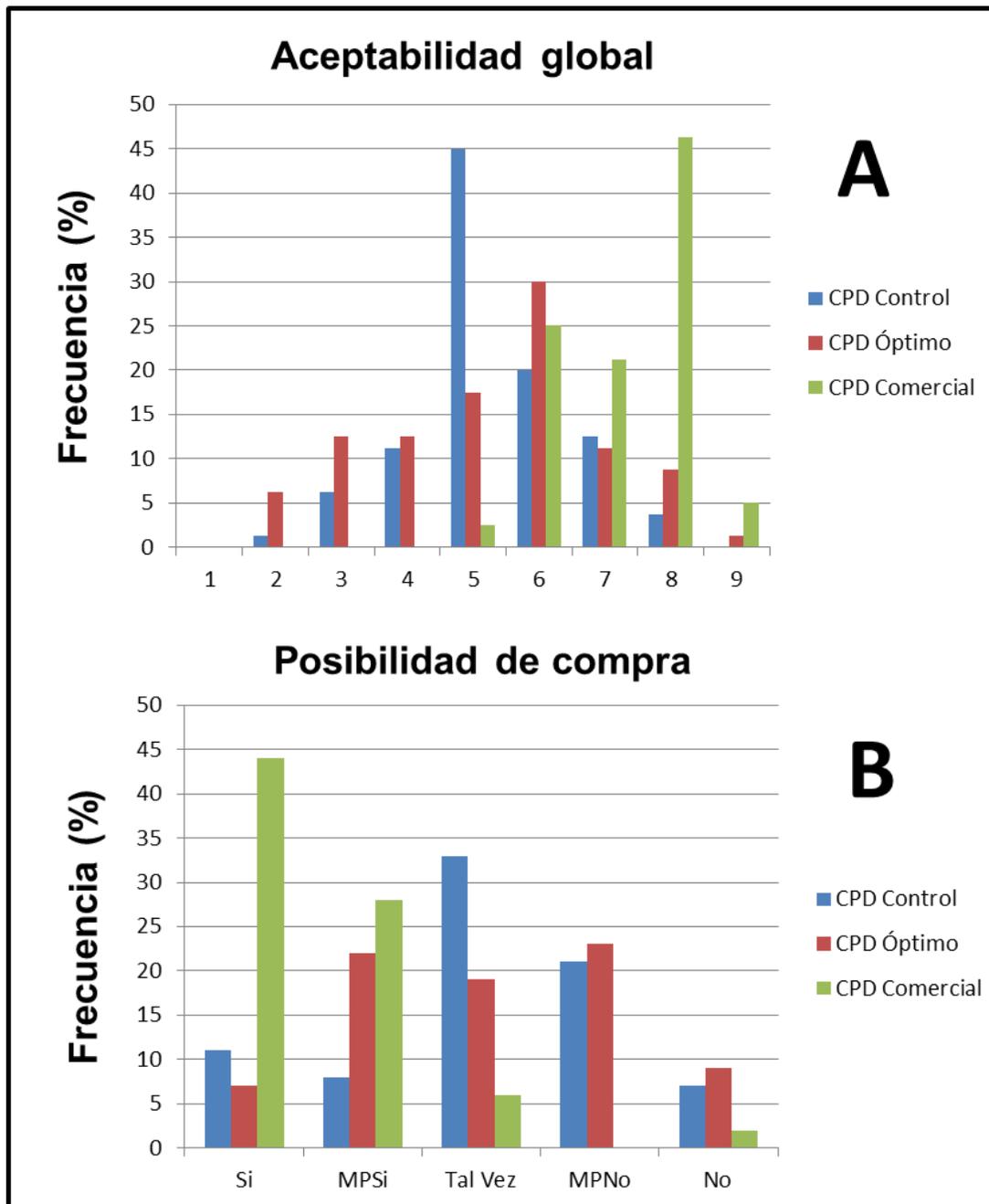
Variable	CPD Óptimo	CPD Control	CPD Comercial
Humedad (%)	4.86±0.01	5.79±0.09	4.17±0.02
Proteínas (%)	1.32±0.03	1.50±0.05	1.43±0.03
Extracto etéreo (%)	0.97±0.02	1.06±0.09	2.21±0.02
Fibra cruda (%)	7.28±0.01	5.41±0.01	6.36±0.12
Cenizas (%)	5.99±0.15	6.07±0.07	4.05±0.03
IE	1.10±0.08	1.21±0.05	NA
DA	806.12±78.60	743.05±61.19	NA
σ (MPa)	7.47±0.86	7.68±0.70	NA
L*	66.53±0.98	68.90±1.38	61.33±1.88
a*	4.20±0.30	4.12±0.36	5.83±0.36
b*	24.68±0.31	21.79±0.87	23.63±0.41
ΔE*	5.19±0.83	4.01±1.16	NA
IAA (g.a.a./g.s.s.)	6.65±0.99	4.44±0.72	4.53±0.46
ISA (%)	17.56±0.27	11.03±0.33	28.49±0.28
CT (μg β-caroteno/g)	300.83±6.09	201.90±7.60	77.14±5.53
RC (%)	119.86±4.94	89.28±4.76	NA
CFT (mg EAG/g)	1.07±0.03	1.29±0.02	1.68±0.03
RCF (%)	96.81±1.75	98.38±1.09	NA
ABTS EHF (μmol ET/100 g)	2,035.95±46.75	2,013.77±19.97	2,634.96±33.50
ABTS ELF (μmol ET/100 g)	1,248.37±61.00	649.36±41.56	225.62±16.75
DPPH (μmol ET/ 100 g)	890.72±23.15	768±36.86	1,167.93±31.77

Media ± desviación estándar; NA= No analizado; CPD= Cereal para desayuno

En el caso del contenido de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante, se obtuvieron valores de $CT = 300.83 \pm 6.09 \mu\text{g CT/g}$, $RC = 119.86 \pm 4.94 \%$, $CFT = 1.07 \pm 0.03 \text{ mg EAG/g}$, $RCF = 96.81 \pm 1.75$, $ABTS \text{ EHF} = 2,035.95 \pm 46.75 \mu\text{mol ET/100 g}$, $ABTS \text{ ELF} = 1,248.37 \pm 61.00 \mu\text{mol ET/100 g}$ y $DPPH = 890.72 \pm 23.15 \mu\text{mol ET/100 g}$. Además, en la tabla son presentados los valores de diferentes propiedades analizadas en un cereal para desayuno control (CPD Control), el cual fue elaborado en las mismas condiciones de extrusión que el CPD Óptimo, pero sin la adición de HBZ. Se obtuvieron para las diferentes propiedades físicas y fisicoquímicas en los tratamientos óptimos y control, valores cercanos entre sí, presentándose mayor contenido de compuestos carotenoides y capacidad antioxidante lipofílica en el tratamiento óptimo. Por otro lado en los análisis de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante hidrofílica, se obtuvieron valores muy cercanos. Asimismo, fueron obtenidos mayores valores de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante hidrofílica en un cereal comercial, comparado con los tratamientos óptimo y control, mientras que el cereal comercial presentó menor contenido de compuestos carotenoides y capacidad antioxidante lipofílica. En el caso de los análisis químicos, físicos y fisicoquímicos, el cereal comercial mostró valores cercanos a los tratamientos óptimo y control, excepto en la respuesta de ISA, en donde mostro un valor muy superior, por lo cual el cereal comercial se desintegra más rápido, además de que esto indica que contiene una gran cantidad de aditivos, como azúcar, que se le agrega después del proceso de extrusión, a diferencia del CPD Óptimo, al cual no se le agrega ningún tipo de aditivo.

4. Evaluación sensorial

En la **Figura 21A** se muestra el análisis de frecuencia de aceptación general de los evaluadores hacia el CPD control, el CDP óptimo y el CPD comercial. En el análisis sensorial del tratamiento control, se encontró que un 45 % de los encuestados eligió 5 (Ni me disgusta, ni me gusta), mientras que un 20 % señaló "Me gusta moderadamente" (Opción 6) y un 12.5 % eligió la opción 7 (Me gusta). En cuanto al CPD óptimo, se obtuvo que un 30 % mencionó que le gustó moderadamente (Opción 6) el CPD, un 17.5 % señaló la opción 5 (Ni me disgusta, ni me gusta), y un 11.25 % manifestó que le gustó el cereal (Opción 7). Por último, en el análisis del CPD Comercial, se observó que el 46.25 % respondieron que el cereal les gustó mucho (Opción 8), 25 % de los encuestados eligieron la opción 6 (Me gusta moderadamente), mientras que el 21.25 % señaló que le gustó el cereal (Opción 7). En la prueba de aceptación general, se considera que las opciones 6, 7, 8 y 9 manifiestan buena aceptación por parte del evaluador, por lo cual, al englobar los resultados de aceptación sensorial en los cereales, el CPD control obtuvo un 36.25 % de aceptación entre los encuestados, el CPD óptimo presentó un 51.25 % de aceptación, mientras que el CPD comercial mostró un 97.5 %. El comportamiento anterior, podría deberse a la gran cantidad de azúcar que contiene el CPD Comercial, ya que en su proceso de elaboración, se rocían con una solución azucarada después del proceso de extrusión, lo cual mejora notablemente su sabor.



1= Me disgusta extremadamente; 2= Me disgusta mucho; 3= Me disgusta; 4= Me disgusta moderadamente; 5= Ni me disgusta, ni me gusta; 6= Me gusta moderadamente; 7= Me gusta; 8=Me gusta mucho; 9= Me gusta extremadamente; MPSi= Muy probablemente si; MPNo= Muy probablemente no.

Figura 21. Gráficas de análisis de frecuencias del estudio sensorial de cereales para desayuno obtenidos mediante el proceso de extrusión. (A) Aceptabilidad global; (B) Posibilidad de compra.

Además, este CPD Comercial se encuentra establecido en el mercado hace varios años. Por otro lado, el CPD óptimo recibió mejor aceptación por parte de los evaluadores en relación al CPD control, lo cual pudo deberse a un mejoramiento en el sabor por la adición de la HBZ. O'Shea y col (2012) estudiaron el efecto de adicionar bagazo de algunos vegetales como ingredientes en la elaboración de diversos alimentos, destacando el empleo de el bagazo de zanahoria, ya que encontraron que este se podía emplear como ingrediente e incluso hasta podía mejorar notablemente el sabor de los alimentos que lo contienen. Durrani y col (2011) elaboraron caramelos a base de bagazo de zanahoria, argumentando que este mejora su contenido en compuestos bioactivos, como carotenoides, además de presentar buenas propiedades de sabor en estos alimentos. Delgado-Nieblas y col (2015) desarrollaron un CPD adicionado con subproductos de naranjita, sin observar diferencia significativa en cuanto a la aceptabilidad global de ese CPD en comparación de su CPD control.

En la **Figura 21B** se muestra el análisis de frecuencia de la posibilidad de compra por parte de los evaluadores hacia el CPD control, CDP óptimo y el CPD comercial. En el caso del CPD control un 41.25 % de los panelistas señaló que “Tal vez” compraría el CPD, mientras que un 10 % mencionó que “Muy probablemente si” lo compraría y un 13.75 % aseguró que “Si” compraría dicho CPD. Por otro lado, en el análisis de la posibilidad de compra del CPD óptimo, se obtuvo que el 27.5 % señaló que “Muy probablemente si” compraría el CPD, el 23.75 % de los evaluadores manifestó que “Tal vez” compraría el CPD, mientras que el 8.25 % aseguró que “si” compraría dicho cereal Asimismo, en el análisis sensorial del CPD comercial, se observó que el 55 % señaló que “si” compraría el

cereal, el 35 % manifestó que “Muy probablemente si” lo compraría, mientras que el 7.5% de los encuestados mencionó que “Tal vez” lo compraría.

Al englobar los resultados obtenidos para la posibilidad de compra de los cereales para desayuno, con las opciones “Tal vez”, “Muy probablemente si” y “Si” como una respuesta aceptable del evaluador hacia los CPD, se obtuvo que el 65 % de los panelistas consideraría comprar el CPD control, el 59.5 % consideraría comprar el CPD control, mientras que el 97.5 % consideraría comprar el CPD comercial. Los resultados obtenidos para la posibilidad de compra del cereal concuerdan con lo observado en la aceptabilidad global de los CPD, ya que el CPD Comercial, que fue el que tuvo mayor aceptabilidad global, fue el que mayor posibilidad de compra presentó por parte de los panelistas. Mientras que en el caso del CPD control y el CPD óptimo, presentaron valores muy cercanos de posibilidad de compra.

IX. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos de la caracterización química, fisicoquímica y fitoquímica de las materias primas indicaron que estas presentaron características apropiadas para ser utilizadas en la elaboración de los cereales para desayuno.
2. Mediante el estudio preliminar de secado fueron obtenidas las condiciones apropiadas para la producción de la HBZ, mientras que en el estudio preliminar de extrusión se obtuvieron los niveles de los factores de estudio (HA= 19.34-30.66%; CHBZ= 5.51-22.49 %) utilizados en el presente trabajo.
3. Los modelos matemáticos utilizados en el presente estudio para el ajuste de los datos, arrojaron valores de R^2 ajustada > 0.70 para la mayoría de las variables de respuesta, excepto IE y a^* , sin presentar falta de ajuste ($p > 0.05$).
4. El factor de estudio CHBZ mostró mayor efecto significativo ($p < 0.05$) sobre las variables de respuesta físicas DA y σ , así como sobre las respuestas fisicoquímicas L^* , ΔE^* e ISA, mientras que el factor de estudio HA presentó mayor efecto significativo sobre las variables de respuesta a^* y b^* .
5. El factor CHBZ presentó mayor efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el contenido de carotenoides totales y la capacidad antioxidante lipofílica (DPPH), mientras que la HA mostró mayor efecto sobre la capacidad antioxidante hidrofílica (ABTS).
6. Se obtuvieron mediante metodología de superficie de respuesta (MSR) las condiciones óptimas de procesamiento (HA= 24.48 % y CHBZ= 20.21 %).

7. En la comprobación del modelo obtenido para las distintas variables de respuesta utilizadas en la optimización, no se encontró diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) entre los valores predichos por el modelo y los valores experimentales reales.
8. En la evaluación sensorial de los CPD, el CPD comercial mostró una mayor aceptabilidad que el CPD óptimo, mientras que el CPD óptimo adicionado con bagazo de zanahoria presentó mayor aceptabilidad sensorial que el CPD control.
9. Es posible obtener mediante la tecnología de extrusión cereales para desayuno adicionados con harinas de bagazo de zanahoria con aceptable calidad fisicoquímica, fitoquímica, antioxidante y sensorial, cuyo consumo pudiera tener beneficios potenciales en la salud del consumidor.

X. BIBLIOGRAFÍA

- AACC. 2010. Approved Methods of Analysis of the American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota.
- Aguilar-Palazuelos E. 2007. Obtención y caracterización de materiales biodegradables utilizando las tecnologías de extrusión termoplástica y modelo por inyección. [Tesis doctoral]. Santiago de Querétaro, Querétaro. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. 211 p.
- Alfaro-Jiménez A y Segovia-Segovia V. 2009. Formación, evaluación y descripción del híbrido simple de maíz (*Zea mays* L.) amarillo INIA 21. UDO Agrícola, 9 (3): 499-508.
- Alfaro Y, Segovia V, Mireles M, Monasterios P, Alejos G y Pérez M. 2004. El maíz amarillo para la molienda húmeda. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. CENIAP HOY. 6.
- Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF y Griffin EL. 1969. Gelatinization of corn grits by rool and extrusion cooking. Cereal Science Today, 14:4-12.
- Anónimo. 2004. Análisis comparativo de cereales para desayuno saludables y bien elaborados. Consumer. España.
- Antoine C, Lullien-Pellerin V, Abecassis J, Rouau X. 2002. Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. Sciences des Aliments, 22:545-56.
- AOAC 1999. Official methods of analysis.15ªed. Association of Official Analytical Chemists Inc. Arlington, Virginia, USA.
- AOAC. 2012. Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL. Association of Official Analytical Chemists. 19th Ed. Gauthersburg, Maryland, USA.

- Apró N, Rodríguez J, Gornatti C, Cuadrado C y Secreto P. 2000. La extrusión como tecnología flexible de procesamiento de alimentos. La Pampa, Argentina. INTI-CEMPAM-CEIGRA.
- Borah A, Mahanta CL y Kalita D. 2015. Quality attributes of extruded breakfast cereal from low amylose rice and seeded banana (*Musa balbisiana*, ABB). *Journal of Food Research and Technology*, 3(1): 23-33.
- Brand TS, Cruywagen CW, Brandt DA, Vilojen M, y Burger W. 2003. Variation in the chemical composition, physical characteristics and energy values of cereal rains produced in the Western Cape of South Africa. *South African Journal Animal Science*, 33(2):117-126.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME y Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1):25-30.
- Brennan MA, Menard C, Roudaut G y Brennan CS. 2012. Amaranth, millet and buckwheat flours affect the physical properties of extruded breakfast cereals and modulates their potential glycaemic impact. *Starch*, 64:392-398.
- Callejo MJ. 2002. *Industria de cereales y derivados*. Editorial AMV Ediciones y Mundi-Prensa. 1ª. Edición, Cap. 14 pp. 313-325.
- Camire ME, Dougherty MP y Briggs JL. 2007. Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals. *Food Chemistry*, 101:765-770.
- Carvalho AV, Mattietto RDA, Bassinello PZ, Koakuzu SN, Rios ADO, Maciel RDA y Carvalho RN. 2012. Processing and characterization of extruded breakfast meal formulated with broken rice and bean flour. *Food Science and Technology (Campinas)*, 32(3):515-524.
- Charley H. 2000. *Tecnología de alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. Editorial Limusa. Noriega Editores. p.p 189-197.

- Charunuch C, Limsangouan N, Prasert W y Butsuwan P. 2011. Optimization of extrusion conditions for functional ready-to-eat breakfast cereal. *Food Science and Technology Research*, 17(5):415-422.
- Cornell HJ y Hoveling AW. 1988. *Wheat chemistry and utilization*. Technomic Publishing Co. Lancaster, PA. 426p.
- Dar AH, Sharma HK y Kumar N. 2014. Effect of extrusion temperature on the microstructure, textural and functional attributes of carrot pomace-based extrudates. *Journal of Food Processing and Preservation*. 38(1):212-222.
- De Ancos B, Colina-Coca C, González-Peña D y Sánchez-Moreno C. 2015. Bioactive compounds from vegetable and fruit by-products. *Biotechnology of Bioactive Compounds: Sources and Applications*. Primera edición. John Wiley & Sons, 1-36.
- De Hombre R. 1996. Análisis de la textura de Spaghetti de diferentes marcas comerciales. *Interciencia*, 21: 302-308.
- Delgado-Nieblas CI, Aguilar Palazuelos E, Gallegos-Infante JA, Rocha-Guzmán NE, Zazueta-Morales JJ y Caro-Corrales JJ. 2012. Characterization and Optimization of Extrusion Cooking for the Manufacture of Third-Generation Snacks with Winter Squash (*Cucurbita moschata* D.) Flour. *Cereal Chemistry*, 89(1):65-72.
- Delgado-Nieblas CI, Zazueta-Morales JJ, Ahumada-Aguilar JA, Aguilar-Palazuelos E, Carrillo-López A, Jacobo-Valenzuela N y Telis-Romero J. 2015. Optimization of an air-drying process to obtain a dehydrated naranjita (*Citrus mitis* B.) pomace product with high bioactive compounds and antioxidant capacity. *Journal of Food Process Engineering*.
- Demasse-Mawamba A, Gouado I, Leng M, Some-Touridomon I y Tchounanguépo-Mbiapo F. 2009. Steamed dried-squashes (*Cucurbita* sp.) can contribute to alleviate vitamin A deficiency. *American Journal of Food Technology*, 4(4):170-176.

- Desobry SA, Netto FM y Labuza TP. 1997. Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for β -Carotene encapsulation and preservation. *Journal of Food Science*, 62(6):1158-1162.
- Desrumaux A, Bouvier JM y Burri J. 1998. Corn grits particle size and distribution effects on the characteristics of expanded extrudates. *Journal of Food Science*, 63(5):857-863.
- Duarte de Oliveira GPR y Rodríguez-Amaya DB. 2007. Processed and prepared corn products as sources of Lutein and Zeaxanthin: compositional variation in the food chain. *Journal of Food Science*, 72(1):79-85.
- Durrani AM, Srivastava PK y Verma S. 2011. Development and quality evaluation of honey based carrot candy. *Journal of Food Science & Technology*, 48(4):502-505.
- Escamilla-Santana C. 2001. Comunicación personal. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Posgrado en Alimentos. Querétaro, Qro., México.
- FAO. 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO-Anuario, Base de datos estadísticos (FAOSTAT). Índices de producción agrícola. Disponible de: www.fao.org. Consultado el 15 de Marzo del 2015.
- FAO. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO-Anuario, Base de datos estadísticos (FAOSTAT). Índices de producción agrícola. www.fao.org
- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO-Anuario, Base de datos estadísticos (FAOSTAT). Índices de producción agrícola. Disponible de: www.fao.org. Consultado el 20 de Noviembre del 2016.

- Fernández IV, Aguilar C, Mateos V y Martínez P. 2008. Relación entre la calidad del desayuno y el rendimiento académico en adolescentes de Guadalajara (Castilla-La Mancha). *Nutrición Hospitalaria*, 23(4):383-387.
- Frame ND. 1999. *The Technology of Extrusion cooking*. An Aspen Publication.
- Gaines CS. 1994. *The Science of Cookie and Cracker Production*, Faridi H, New York. p 455-495.
- Gallegos-Infante JA, Rocha-Guzmán NE, González-Laredo RF y Pulido-Alonso J. 2010. Effect of processing on the antioxidant properties of extracts from Mexican barley (*Hordeum vulgare*) cultivar. *Food chemistry*, 119(3):903-906.
- García FO. 2003. Balance y manejo de nutrientes en rotaciones agrícolas. En *Trigo-Actualización 2003*. INTA
- García V. 2010. Desarrollo de un cereal para desayuno a partir de mezclas de maíz y frijol por extrusión. Tesis de licenciatura. Durango, México: Universidad Juárez del Estado de Durango. 68.
- Gujska E, Khan K. 1990. Effect of temperature on properties of extrudates from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science*, 55:566-469
- Gull A, Prasad K y Kumar P. 2015. Effect of millet flours and carrot pomace on cooking qualities, color and texture of developed pasta. *LWT-Food Science and Technology*, 63(1): 470-474.
- Guy R. 2002. *Extrusión de los alimentos tecnología y aplicaciones*. 1er Ed. España: Acribia, 1-10.
- Heimler D, Vignolini P, Dini MG, Vincieri FF y Romani A. 2006. Antiradical activity and polyphenol composition of local Brassicaceae edible varieties. *Food Chemistry*, 99(3):464-469.

- Hitayezu R, Baakdah MM, Kinnin J, Henderson K y Tsopmo A. 2015. Antioxidant activity, avenanthramide and phenolic acid contents of oat milling fractions. *Journal of Cereal Science*, 63: 35-40.
- Hsieh F, Peng IC y Huff HE. 1990. Effects of salt, sugar and screw speed on processing and product variables of corn meal extruded with a twin-screw extruder. *Journal of Food Science*, 55(1):224-227.
- Infoagro. 2008. Información Agroalimentaria. Agricultura, el cultivo de la zanahoria. Disponible en [<http://www.infoagro.com/hortalizas/zanahoria.htm>]. Consulta: 18 de marzo de 2015.
- Ingram C. 1998. La gran enciclopedia de las verduras: propiedades de las verduras. 1ra ed. Londres: Hymosa. 46, 47 p.
- Jacobo-Valenzuela N. 2011. Caracterización química, funcional y nutrimental de harinas de calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata* Duchense) precocidas por extrusión [Tesis de Doctorado]. Durango, Dgo. México. 163 p. Disponible en: Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Biblioteca de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.
- Kellogg's – Vivimos para nutrirte. 2014. "Kellogg's- Nuestra historia". Disponible de: http://www.kelloggs.com.mx/es_MX/quienes-somos-landing/nuestra-historia.html. Consultado el 15 de marzo de 2015.
- Kim DO, Lee KW, Lee JH. y Lee CY. 2002. Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC) of Phenolic Phytochemicals. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 50(13): 3713-3717.
- Krinsky NI, Landrum JT y Bone RA. 2003. Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye. *Annual Review of Nutrition*, 23:171–201.
- Kumar N y Kumar K. 2011. Development of carrot pomace and wheat flour based cookies. *Journal of Pure and Applied Science and Technology*, 1(1):5-11.

- Larrosa M, Llorach R, Espin JC y Tomás-Barberán FA. 2002. Increase of antioxidant activity of tomato juice upon functionalisation with vegetable by product extracts. *LWT- Food Science and Technology*. 35(6):532-542.
- Leyva-Corral J, Quintero-Ramos A, Camacho-Dávila A, Zazueta-Morales JJ, Aguilar-Palazuelos E, Ruiz-Gutiérrez MG, Meléndez-Pizarro CO y Ruiz-Anchondo TJ. 2016. Polyphenolic compound stability and antioxidant capacity of apple pomace in an extruded cereal. *LWT-Food Science and Technology*, 65:228-236.
- Lezcano E. 2010. Análisis de producto-Cereales para el desayuno. Alimentos Argentinos, Una elección Natural.
- Loy S, Simón R y Delgado R. 2002. VIMANG, un potencial protector de la peroxidación lipídica en lipoproteínas de baja densidad. *Revista Cubana de Investigación Biomedica*, 21(3):167-170.
- Lozano-Alejo N, Vazquez-Carrillo G, Pixley K y Palacios-Rojas N. 2007. Physical properties and carotenoid content of maize kernels and its nixtamalized snacks. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8(3):385–389.
- Lu Y y Luthria D. 2016. Influence of gelatinization on the extraction of phenolic acids from wheat fractions. *Food chemistry*, 194:1138-1142.
- Marques TR, Correa AD, Carvalho-Alves AP, Simão AA y Oliveira-Ramos V. 2015. Cereal bars enriched with antioxidant substances and rich in fiber, prepared with flours of acerola residues. *Journal of Food Science and Technology* 1-9.
- Martin-Cabrejas MA, Esteban RM, Lopez Andreu FJ, Waldron K y Selvendran RR. 1995. Dietary fiber content of pear and kiwi pomaces. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 43(3):662-666.

- Masatcioglu TM, Perry KW y Koksel H. 2015. Effects of formulation and extrusion cooking conditions on furfural and hydroxymethylfurfural content. *Journal of Cereal Science*, 65: 31-38.
- Matz S. 1999. *Bakery Technology and Engineering*. 3a Ed. Springer, New York, USA. 853p.
- McCleary BV y Nurten E. 1986. Measurement of (1-3)(1-4) β -glucan in malt, wort and beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 92:168-173
- Miller P. 1998. *Food Extrusion Technology*. Consulting Engineer 413.
- Norma Oficial Mexicana, NOM-086-SSA1-1994
- Norma Oficial Mexicana, NOM-247-SSA1-2008
- Nutritiondata. 2010. Contenidos nutrimentales de la zanahoria. Disponible en: [\[http://www.nutritiondata.com/facts/vegetables-and-vegetable-products/2383/2\]](http://www.nutritiondata.com/facts/vegetables-and-vegetable-products/2383/2). Consulta 20 de marzo de 2010.
- O'Shea N, Arendt EK y Gallagher E. 2012. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16:1-10.
- Oliveira LC, Rosell CM y Steel CJ. 2015. Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(6):1504-1514.
- Ortiz-Robles JI. 1998. Caracterización química y física de la corteza de semilla de mango variedad Kent. [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas.

- Paliwal RL y Granados G. 2001. El maíz en los trópicos Mejoramiento y producción. 28. Roma. Dirección de producción y protección Vegetal de la FAO. <http://books.google.com.mx> Consultado en 10 de febrero 2015.
- Pellegrini N, Re R, Yang M y Rice-Evans C. 1999. Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2,2'-azinobis(3-ethylenebenzothiazoline-6-sulfonic) acid radical cation decolorization assay. *Methods in Enzymology*, 299:379-389.
- Pérez-Murillo JG. 2015. Propiedades fisicoquímicas, mecánicas, de cocción y fitoquímicos de pastas alimenticias extrudidas adicionadas de harina de cáscara de calabaza (*Cucurbita moschata* D.) y maíz amarillo integral. [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. 174 p.
- Prieto J, Méndez MA, Román A y Prieto F. 2005. Estudio comparativo de características físicoquímicas de cereales Kellogg's. *Revista chilena de nutrición*, 32(1).
- Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, Devries JW y Furda I. 1988. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *Journal Association of Official Analytical Chemists*. 71: 1017-1023.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M y Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10):1231-1237.
- Reyes-Castañeda P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT editor, S.A. México.
- Reina CE y Bonilla-Olaya JF. 1997. Manejo postcosecha y evaluación de calidad para zanahoria (*Daucus carota* L.) que se comercializará en la ciudad de Neiva. Neiva, Colombia, Editorial Universidad Surcolombiana. 88 p.
- Ritchie S, Swanson SJ y Gilroy S. 2000. Physiology of the aleurone layer and starchy endosperm during grain development and early seedling growth:

new insights from cell and molecular biology. *Seed Science Research*, 10: 193-212.

Rodríguez-Amaya DB. 1993a. Nature and distribution of carotenoids in foods. *Shelf-Life Studies of Foods and Beverages. Chemical, Biological, Physical and Nutritional Aspects*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers Charalambous, 547-589.

Rodríguez-Amaya DB. 1993b. Stability of carotenoids during the storage of foods. *Shelf Life Studies of Foods and Beverages. Chemical, Biological, Physical and Nutritional Aspects*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 591-628.

Rodríguez-Amaya DB. 1999. Retención de carotenoides provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados. Brasil. Facultad de Ingeniería de Alimentos. Universidad Estatal de Campinas.

Rufián-Henares JA y Delgado-Andrade C. 2009. Effect of digestive process on Maillard reaction indexes and antioxidant properties of breakfast cereals. *Food Research International*, 42(3):394-400.

Ruiz-Armenta XA. 2015. Elaboración de alimentos botana de tercera generación utilizando subproductos del fruto de naranjita (*Citrus mitis*) mediante la tecnología de extrusión [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. 132 p.

Ruiz-Beltrán KM. 2016. Procesamiento y caracterización de cereales para desayuno adicionados con harina de subproductos de naranjita (*Citrus mitis*), elaborados por extrusión [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. 126 p.

Sánchez MT. 2003. Procesos de elaboración de alimentos y bebidas. Edith. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Serna-Saldívar SO. 2009. Química Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT Editor, S.A.

- Sharma KD, Karki S, Thakur NS y Attri, S. 2012. Chemical composition, functional properties and processing of carrot: A review. *Journal of food science and technology*, 49(1):22-32.
- Sharma S, Dar BN, Nayik GA y Kaur G. 2016. Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Cereal Bran Enriched Ready to Eat Breakfast Cereal Porridge. *Current Nutrition and Food Science*, 12(2):142-149.
- SIAP. 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Cierre de la producción agrícola por estado y por cultivo. Disponible en: [<http://www.siap.gob.mx/index.php?idCat=159&idSegCat=1>]. Consulta 18 de marzo de 2015.
- SIAP-SAGARPA. 2012. El maíz: alimento de nuestras vidas, SIAPrendes Dónde, cómo, cuándo, cuántos alimentos produce México. Boletín mensual Disponible de: <http://www.siap.gob.mx/publicaciones/siaprendes/010.html> Consultado el 15 de marzo del 2015.
- SIAP-SAGARPA. 2013. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y pesquera, con información de la delegación de SAGARPA en los estados. Disponible de: <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 15 de Marzo del 2014.
- Simpson KL. 1983. Relative value of carotenoids as precursors of vitamin A. *Proceedings of the Nutrition Society*, 42:7-17.
- Singhornart S, Gu BJ y Ryu GH. 2013. Physicochemical properties of extruded germinated wheat and barley as modified by CO₂ injection and difference extrusion conditions. *International Journal of Food Science & Technology*, 48(2):290-299.
- Solares-Juárez VZ. 2003. Determinación del perfil vitamínico de cuatro materiales de maíz amarillo (*Zea mays* L.) con fines de alimentación animal. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de

Medicina Veterinaria y Zootecnia. Escuela de Zootecnia. Guatemala.
Disponible en: <http://biblioteca.usac.edu.gt>

Stoll T, Schweiggert U, Schieber A y Carle R. 2003. Application of hydrolyzed carrot pomace as a functional food ingredient to beverages. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1(2):88-92.

Upadhyay A, Sharma HK y Sarkar BC. 2010. Optimization of carrot pomace powder incorporation on extruded product quality by response surface methodology. *Journal of Food Quality*, 33(3):350-369.

Urias-Ruelas JY. 2011. Caracterización funcional y aceptación de alimentos botana, directamente expandidos enriquecidos con harina de Calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata* D.) elaborados por extrusión [Tesis de Licenciatura]. Culiacán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas.

Valls P. 1993. El proceso de extrusión en cereales y habas de soja. Utilización de nutrientes. IX curso de especialización. Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal, Barcelona, Barcelona, 1-8.

Venegas O, Pérez D y Ochoa M. 2009. Propiedades Funcionales de la harina de avena. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. Revista: Ciencia y Tecnología de Alimentos, 19. La Habana, Cuba.

Vielma B. 1998. Caracterización de la agroindustria de harina precocida de maíz en Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, 15(5):472-485.

Wang W, Klopfenstein CF y Ponte J. 1993. Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. *Cereal chemistry*, 70:707-711.

- Yao N, White PJ y Alavi S. 2011. Impact of β -glucan and other oat flour components on physico-chemical and sensory properties of extruded oat cereals. *International Journal of Food Science and Technology*, 46(3):651-660.
- Zazueta-Morales JJ. 2003. Extrusión de maíz (*Zea mays* L.) azul: efecto del hidróxido de calcio sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales. [Tesis de doctorado] Santiago de Querétaro, Qro.: Universidad Autónoma de Querétaro. Disponible en: Programa de postgrado en alimentos del centro de la república. Santiago de Qro. Querétaro.
- 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*, 81:1379-1386.
- Zielinski H, Kozłowska H y Lewczuk B. 2001. Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2(3): 159-169.

XI. ABREVIATURAS

%	Porcentaje
µg	Microgramos
µL	Microlitros
µm	Micrómetros
°Brix	Grados brix
°C	Grados Celsius
ABTS	Ácido 2,2'-azino-bis-(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)
Aw	Actividad de agua
b.s.	Base seca
CAO	Capacidad Antioxidante
Cm	Centímetros
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
EAG	Equivalentes de ácido gálico
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación
FDI	Fibra dietaria insoluble
G	Gramos
g.a.a./g.s.s.	Gramos de agua absorbida por gramo de sólido seco
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
Ha	Hectáreas
HCl	Ácido clorhídrico
IAA	Índice de absorción de agua
ISA	Índice de solubilidad en agua
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
kcal/mol	Kilocalorías por mol
Kg	Kilogramos
kg/s	Kilogramos por segundo
M	Metros
m/s	Metros por segundo
m ² /s	Metros cuadrados por segundo
Mg	Miligramos
mg/L	Miligramos por litro
Min	Minutos
mL	Mililitros
Mm	Milímetros
MPNo	Muy probablemente no
MPSi	Muy probablemente si
MSR	Metodología de Superficie de Respuesta
N	Normalidad
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
Nm	Nanómetros

No	Número
RC	Retención de Carotenoides
s.s.	Sólidos secos
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
T	Toneladas
x g	Gravedades