



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS**

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Procesamiento y caracterización de cereales para  
desayuno adicionados con harina de subproductos  
de naranjita (*Citrus mitis*), elaborados por extrusión**

**TESIS**

Que presenta

**I.I.A. KAREN MARÍA RUIZ BELTRÁN**

Para obtener el grado de

**MAESTRA EN CIENCIA**

**Y**

**TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Director (es)

**DR. JOSÉ DE JESÚS ZAZUETA MORALES**

**DR. ERNESTO AGUILAR PALAZUELOS**

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 del Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos y la asesoría del Dr. Roberto Gutiérrez Dorado y la Dra. Irma Leticia Camacho Hernández. El proyecto recibió financiamiento del Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación, Universidad Autónoma de Sinaloa (PROFAPI2014/239). Karen María Ruiz Beltrán recibió beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT.



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**

## **CARTA CESION DE DERECHOS**

En la Ciudad de Culiacán de Rosales, Sinaloa el día 30 del mes enero del año 2016, el (la) que suscribe I.I.A. Karen María Ruiz Beltrán alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos con número de cuenta 1375601-1, de la Unidad Académica Facultad de Ciencias Químico Biológicas, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. José de Jesús Zazueta morales y Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos y cede los derechos del trabajo titulado “Proceso y caracterización de cereales para desayuno adicionados con harina de subproductos de naranjitas (*Citrus mitis*) elaborados por extrusión”, 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.

I.I.A. Karen María Ruiz Beltrán

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Karen', is written above a horizontal line.

*A Dios*  
*Mis padres*  
*Y hermanos*

## AGRADECIMIENTOS

Al programa de **Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos**, de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas, de la UAS, por permitirme realizar mis estudios de posgrado y contribuir en mi formación académica.

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

Al **Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAPI)** por el apoyo otorgado para la realización de este proyecto.

A los **docentes del programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos**, por compartir su tiempo, conocimientos y experiencias.

A mi padre académico **Dr. Ernesto Aguilar Palazuelos**, por su dirección a lo largo de esta etapa, por su tiempo, paciencia, y consejos, sin su ayuda no podría estar en donde me encuentro ahora, muchas gracias por todo el apoyo.

Al **Dr. José de Jesús Zazueta Morales**, por la dirección y asesoría en el presente trabajo, por sus palabras de aliento y siempre apoyarme en diferentes decisiones, muchas gracias por todo.

Al **Dr. Carlos Iván Delgado Nieblas**, por todo el apoyo y asesorías infinitas a lo largo de este proyecto de investigación, por las pláticas amenas de laboratorio, y siempre pensar en algo más, además de transmitir y compartir sus conocimientos.

A la **Dra. Irma Leticia Camacho Hernández**, por sus asesorías, tiempo y apoyo en diferentes técnicas, así como la confianza y paciencia brindada.

A la **Dra. Noelia Jacobo Valenzuela** y al **MC. Víctor Limón**, por su apoyo, asesorías y consejos brindados durante este periodo.

Al **Dr. Roberto Gutiérrez Dorado** y su excelente equipo de trabajo, en especial a **Mario, Julieta y Rodolfo**, quienes me ayudaron de alguna u otra forma en diferentes pruebas realizadas en su laboratorio. Gracias por compartir su tiempo conmigo y siempre brindarme su apoyo.

A mis compañeros de generación **MCTA 2013-2015**, por todo el apoyo brindado, y hacer de este lugar un mejor lugar. Gracias por todos los consejos, las salidas de vez en mes, y los viajes. Son una parte fundamental de este proyecto. En especial a **Fer, Lulú, Anayanci, Rodolfo, Anamaría, y Brenda**.

A mis amigas **Fernanda, Lulú, y Anayanci**, por brindarme su amistad, apoyo, y consejos durante esta etapa, gracias por todo, las quiero mucho.

A mis compañeros de laboratorio, **Abraham, Kike, Marco, Agustin, Amado, Urrea, Chuy, Luis, Christian, Jessica, y Silveria**, y excompañeros de laboratorio **Perla, Jacqueline y Xochitl**, por su amistad, apoyo, palabras de aliento, por compartir sus conocimientos, y las largas pláticas en el laboratorio, así como las salidas de gordos a comer, gracias por hacer esta etapa mucho más ligera.

A mi ex-roomie **MC. Jacqueline**, quien es una gran amiga, gracias por apoyarme al inicio de esta etapa, ofreciéndome un lugar para vivir, así como las tardes de chips, gracias por todo tu apoyo, como el de mi segunda mami, tienes unos padres maravillosos.

A **Miguel Urrea** y **Jessica Sánchez**, quienes forman una parte fundamental de este proyecto, gracias chicos, por todo su apoyo y colaboración, sin ustedes esto no sería posible, estamos pendientes.

A mis padres **Sandra Luz Beltrán Castro** y **Jaime Ruiz Aragón**, por ser el pilar fundamental durante toda mi formación, así como a mis hermanos **Jesús Jaime** y **María José** por todo el apoyo durante estos dos años, y todo mi desarrollo profesional, por toda la fe y confianza que depositan en mí, forman una gran parte de mi vida, sin ustedes nada de esto podría ser posible, los quiero.

A mi sobrina **María Elisa**, quien es una parte fundamental de mi vida, y mi más grande inspiración, quien llena de alegría mis días de visita en Los Mochis.

A mis abuelos **Beatriz, Enrique, Mariana†** y **Guadalupe†**, mis tías **Manuelita, Raquel, Julia** y **Elisa**, mis primos **Juan Pablo, Paulina, Belén, Jesús Ramón (Bebe), Enrique, Dulce, Mario**, mis sobrinos **Maríabe, Sergio, Eduardo, Joselito, Juan pablo Jr.** y los o las que vienen, a **Gloria, Miriam, José** y **Anayanci**, todos forman una parte fundamental en mi formación, gracias por todo el apoyo y siempre preguntar y preocuparse por mí, a lo largo de este periodo.

Por ultimo pero no menos importante, a **Obbed Higuera Chávez**, quien ha sido y será una pieza fundamental en mi vida, gracias por acompañarme en este viaje, tenerme paciencia y quererme mucho. Te amo.

A todas las personas que participaron o colaboraron de alguna u otra forma, muchas gracias.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE CUADROS	viii
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA	7
A. CEREALES PARA DESAYUNO	7
1. Historia	7
2. Generalidades	8
3. Producción y consumo	10
4. Clasificación	13
5. Composición química	14
B. MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DE CEREALES PARA DESAYUNO ALTOS EN FIBRA (CPDAF)	17
1. Trigo ( <i>Triticum ssp.</i> )	17
2. Avena ( <i>Avena sativa</i> L.)	21
3. Maíz ( <i>Zea mays</i> L.)	24
4. Naranja ( <i>Citrus mitis</i> )	27
C. EXTRUSIÓN	31
1. Generalidades	31

2. Efecto del proceso de extrusión sobre los constituyentes de los alimentos	33
D. ELABORACIÓN DE CEREALES PARA DESAYUNO ALTOS EN FIBRA (CPDAF) MEDIANTE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	36
E. ANTECEDENTES DE CEREALES PARA DESAYUNO ALTOS EN FIBRA (CPDAF)	36
IV. JUSTIFICACIÓN	<b>39</b>
V. OBJETIVOS	<b>40</b>
A. OBJETIVO GENERAL	40
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	<b>42</b>
A. MATERIALES	42
1. Materias primas	42
B. MÉTODOS	42
1. Métodos experimentales	42
2. Métodos químicos	45
3. Métodos físicos	48
4. Características fisicoquímicas	50
5. Caracterización fitoquímica	51
6. Determinación de la capacidad antioxidante	57

C. EVALUACIÓN SENSORIAL	59
D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	60
1. Diseño experimental	60
2. Análisis de datos	60
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	<b>63</b>
A. ESTUDIO PRELIMINAR	63
B. CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA	64
1. Análisis químico proximal	64
2. Tamaño medio de partícula	64
3. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua	67
C. ESTUDIO DE EXTRUSIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE CPDAF	69
1. Índice de expansión	71
2. Densidad aparente	74
3. Índice de absorción de agua	77
4. Índice de solubilidad en agua	80
5. Esfuerzo de flexión	82
6. Carotenoides totales	84
7. Fibra dietaria total	87
8. Fibra dietaria insoluble	89
9. Fibra dietaria soluble	92
10. Análisis sensorial	94

D. OPTIMIZACIÓN	96
VIII. CONCLUSIONES	<b>108</b>
IX. BIBLIOGRAFÍA	<b>110</b>
X. ABREVIATURAS	<b>123</b>
XI. ANEXOS	<b>126</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig	Descripción	Pág.
1	Partes principales del trigo	20
2	Componentes fundamentales de un extrusor utilizado para manufacturar cereales para desayuno	32
3	Diagrama de elaboración de cereales para desayuno adicionadas con harina de subproductos de naranjita.	44
4	Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el índice de expansión (IE) de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita. (A) Superficies; (B) Contornos.	73
5	Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre la densidad aparente (DA) de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita. (A) Superficies; (B) Contornos.	76
6	Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el índice de absorción de agua (IAA) de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita. (A) Superficies; (B) Contornos.	78
7	Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el índice de solubilidad en agua (ISA) de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados	81

	con harina de subproductos de naranjita. (A) Superficies; (B) Contornos.	
8	Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el esfuerzo de flexión ( $\sigma$ ) de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita. (A) Superficies; (B) Contornos.	83
9	Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el contenido de carotenoides totales (CT) de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita. (A) Superficies; (B) Contornos.	86
10	Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el contenido de fibra dietaria total (FDT) de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita. (A) Superficies; (B) Contornos.	88
11	Efecto de la temperatura de extrusión (Figura A, HSN= 7%), y contenido de harina de subproductos de naranjita (Figura B, TE= 110°C) sobre el contenido de fibra dietaria insoluble en cereales para desayuno altos en fibra (LSD, $\alpha= 0.05$ ).	91
12	Efecto de la temperatura de extrusión (Figura A, HSN= 7%), y contenido de harina de subproductos de naranjita (Figura B, TE=	93

110°C) sobre el contenido de fibra dietaria soluble en cereales para desayuno altos en fibra (LSD,  $\alpha= 0.05$ ).

- |    |  |    |
|----|--|----|
| 13 | Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre la aceptabilidad global (AG) de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita. (A) Superficies; (B) Contornos. | 95 |
| 14 | Deseabilidad individual de los factores de estudio y variables de respuestas analizadas durante el proceso de optimización, así como deseabilidad combinada.   | 99 |

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
1	Exportaciones mundiales del año 2009 de cereales para desayuno.	12
2	Composición química nutricional de cereales para desayuno (100 g)	16
3	Composición química del trigo	22
4	Clasificación taxonómica del fruto de naranjita ( <i>Citrus mitis</i> ).	28
5	Factores y niveles de variación del diseño experimental central compuesto rotatable, de dos variables independientes: temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) ( $\alpha = 1.414$ ).	61
6	Diseño experimental del estudio de extrusión para dos factores.	62
7	Composición proximal (b.s) de las materias primas utilizadas para la elaboración de CPDAF.	65
8	Distribución del tamaño medio de partícula de las materias primas utilizadas en la elaboración de CPDAF.	66
9	Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de CPDAF.	68
10	Análisis de varianza de las respuestas analizadas de cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita ( <i>Citrus mitis</i> ).	70

11	Coeficientes de regresión del modelo y nivel de significancia para las variables de respuestas de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita ( <i>Citrus mitis</i> )	72
12	Criterios y límites para la optimización del proceso de extrusión	97
13	Valores predichos por el modelo y experimentales de las variables de respuesta utilizadas en la optimización de cereales para desayuno adicionados con HSN.	101
14	Análisis proximal del cereal para desayuno alto en fibra adicionado con HSN.	103
15	Valores experimentales de diferentes propiedades químicas, físicas, fisicoquímicas y contenido de compuestos bioactivos del cereal para desayuno alto en fibra adicionado con HSN.	104

## I. RESUMEN

Actualmente, debido a los rígidos horarios de trabajo, las personas cada vez tienen menor tiempo para preparar sus alimentos. Por lo anterior, existe un alto consumo de la llamada “comida rápida”, entre los que destacan los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF), los cuales son elaborados principalmente de salvados como el de trigo y de avena. Para mejorar su contenido nutrimental de este tipo de cereales, se ha sugerido la adición de materias primas con elevado contenido de compuestos bioactivos, entre ellas algunos subproductos de cítricos, como el fruto de naranjita, además, de variedades pigmentadas de maíz, dentro de los cuales sobresale el maíz amarillo. Estos materiales son fuentes importantes de carotenoides, fibra dietaria y compuestos fenólicos, cuyo consumo se ha relacionado con beneficios potenciales a la salud. Uno de los procesos más empleados para elaborar cereales para desayuno es el de extrusión, que por ser un proceso de alta temperatura-corto tiempo, puede contribuir a la retención de los nutrimentos de estos productos durante su elaboración. El objetivo de la presente investigación fue estudiar el efecto del proceso de extrusión sobre las propiedades físicas, fisicoquímicas, fitoquímicas y sensoriales de cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita (*Citrus mitis*). Se evaluaron los efectos de la temperatura de extrusión (TE: 88.79 – 131.21 °C), y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN: 0.64 – 13.36%), variando el HSN en una mezcla compuesta por salvado de trigo:salvado de avena (60:40), y grits de maíz amarillo (10%). Las mezclas fueron procesadas utilizando un extrusor de tornillo simple para la obtención de los CPDAF. Para el análisis de los datos, se utilizó un diseño experimental central compuesto rotatable, aplicándose la metodología de superficie de respuesta para la

optimización del proceso mediante el método numérico. Los menores valores de índice de expansión (IE, < 1.12) se encontraron a TE > 121 °C, en todo el rango de HSN. Asimismo, los mayores valores de densidad aparente (DA, > 900 kg/m<sup>3</sup>) y esfuerzo de flexión ( $\sigma$  > 9 MPa) se presentaron a TE > 121 °C y HSN < 3%. Por otro lado, los mayores valores de índice de absorción de agua (IAA > 6 g.a.a./g.s.s) se obtuvieron combinando HSN > 12% y TE > 121 °C, mientras que los mayores valores de índice de solubilidad en agua (ISA > 17%) se presentaron a HSN > 12%, en todo el rango de TE. Asimismo, los mayores valores de carotenoides totales (CT > 7.5 µg/g) se encontraron a niveles de HSN > 12% y TE > 121 °C, mientras que, los mayores valores de fibra dietaria total (FDT > 16%) se presentaron a TE > 125 °C y HSN de 6-9%. Se obtuvo que los mayores valores de aceptabilidad global (AG > 58 “me gusta moderadamente”, escala LAM) de los CPDAF, se presentaron a TE > 126°C y HSN de 3.5-10.5%. Las condiciones óptimas de procesamiento fueron: TE = 125 °C y HSN = 9.21%, obteniéndose valores predichos para  $\sigma$  = 8.55 MPa, FDT = 15.81%, CT = 6.71 µg/g, y AG = 57.71. Los valores experimentales obtenidos en la validación fueron similares a los valores predichos por el modelo, con excepción de FDT. Se obtuvieron CPDAF adicionados con subproductos de naranjita, los cuales presentaron importantes características fisicoquímicas, de textura y de compuestos bioactivos, además de presentar buena aceptabilidad sensorial.

**Palabras clave:** Cereales para desayuno, harina de subproductos de naranjita, extrusión, compuestos bioactivos, optimización.

## ABSTRAC

Currently, due to the rigid work schedules, people increasingly have less time to prepare meals. Therefore, there is a high consumption of so-called fast food, among which breakfast cereals high in fiber (BCHF), which are produced mainly as wheat bran and oatmeal. To enhance its nutritional content of such grains, it has been suggested adding raw materials with high content of bioactive compounds, including some byproducts such as citrus naranjita also pigmented corn varieties, which protrudes into the yellow corn. These materials are important sources of carotenoids, dietary fiber and phenolic compounds, whose use has been associated with potential health benefits. There are some processes for making breakfast cereals, including extrusion, who as a process of high temperature-short time, can contribute to the retention of nutrients in these products during processing. The objective of this research was to study the effect of extrusion process on physical and sensory added with flour byproducts naranjita (*Citrus mitis*), physicochemical, phytochemicals. The effects of extrusion temperature (TE: 88.79 - 131.21 ° C) were evaluated, and content of by-product meal naranjita (HSN: 0.64 - 13.36%), varying the HSN in a mixture composed of wheat bran: bran oats (60:40), and yellow maize grits (10%). The mixtures were processed using a single screw extruder to obtain the CPDAF. For data analysis, we used a composite rotatable experimental design center, applying the response surface methodology to optimize the process by numerical method. Lower values of expansion rate (ie, <1.12) were found to TE > 121 ° C, the entire range of HSN. Also, higher values of bulk density (DA, > 900 kg / m<sup>3</sup>) and bending stress ( $\sigma$ , > 9 MPa) were submitted to TE > 121 ° C and HSN <3%. On the other hand, the highest values of water absorption index (IAA) > 6 gaa

/ GSS) were obtained by combining HSN > 12% and TE > 121 ° C, while the highest values of water solubility index (ISA, > 17%) were submitted to HSN > 12%, in the entire range of TE. Also, the highest values of total carotenoids (CT, > 7.5 mg / g) levels HSN > 12% is found and TE > 121 ° C, while the highest values of total dietary fiber (TDF, > 16%) They were presented to TE > 125 ° C and 6-9% HSN. It was found that the highest values of overall acceptability (AG > 58 "like moderately" scale LAM) of CPDAF, were presented to TE > 126 ° C and HSN of 3.5-10.5%. The optimum processing conditions were: TE = 125 ° C and HSN = 9.21%, obtaining predicted values for  $\sigma$  = 8.55 MPa, FDT = 15.81%, CT = 6.71 g / g, and AG = 57.71. The experimental values obtained in the validation were similar to the values predicted by the model, except FDT. CPDAF obtained naranjita added with byproducts, which had appropriate physicochemical characteristics, texture and bioactive compounds, in addition to having good sensory acceptability.

**Keywords:** Breakfast cereals, flour byproducts naranjita, extrusion, bioactive compounds, optimization.

## II. INTRODUCCIÓN

Hace décadas en las zonas rurales realizaban un desayuno poco abundante antes de comenzar las tareas del campo, pero el almuerzo completaba las necesidades de nutrientes en el organismo como un alimento que se ingería entre el desayuno y la comida; hoy en día muchas personas consideran que han desayunado tras haber tomado únicamente café, jugo o galletas, lo que difiere de las recomendaciones de una dieta equilibrada. El almuerzo ha desaparecido en la alimentación diaria debido a los rígidos horarios laborales, por lo que el desayuno se convierte en el único aliado para afrontar el día (García 2010).

Entre la población infantil y juvenil, son cada vez más los niños y jóvenes que por las prisas, no desayunan antes de dirigirse a sus actividades, solamente un pequeño grupo toman un desayuno saludable. Dado que 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, puede 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 nutrimentos (Fernández 2008).

Muchos productos a base de cereales ahora suelen ser considerados algo más que alimentos para el desayuno, y de manera creciente son vistos por muchos consumidores como alimentos que promueven la buena salud. Los consumidores se

encuentran cada vez más presionados por la falta de tiempo, e interesados en mejorar sus hábitos alimenticios consumiendo alimentos llamados saludables, entre ellos destacan, los cereales para desayuno altos en fibra, los cuales son productos innovadores que están dirigidos a satisfacer una parte importante de los requerimientos diarios de fibra de los consumidores.

Los frutos cítricos, entre ellos el fruto de naranjita son una fuente importante de compuestos bioactivos, se ha encontrado en dicho fruto un importante contenido de fibra dietaria, carotenoides, y compuestos fenólicos, los cuales están localizados principalmente en la cáscara y pulpa (bagazo), por lo cual pudieran aportarle una alta capacidad antioxidante con beneficios potenciales en la salud humana.

Por lo anterior, el objetivo principal del presente trabajo fue evaluar el efecto del proceso de extrusión sobre las propiedades fisicoquímicas y fitoquímicas de cereales para desayuno altos en fibra, adicionados con subproducto del procesamiento del fruto de naranjita (*Citrus mitis*) deshidraado.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### A. CEREALES PARA DESAYUNO

##### 1. Historia

El primer cereal para desayuno, denominado “Granula”, fue inventado en 1863 por James Caleb Jackson, en Dansville, Nueva York. El cereal no prosperó por ser poco práctico en su forma de preparación, ya que los mismos necesitaban permanecer en remojo durante la noche anterior para poder estar aptos para el consumo (Lezcano 2010).

La industria del cereal para desayuno se comenzó a desarrollar en el siglo XIX en Estados Unidos por motivos principalmente nutricionales. A mediados del siglo, se inició una corriente defensora de la dieta vegetariana y las costumbres saludables. Uno de los miembros de dicha corriente fue John Harvey Kellogg, quien fue el artífice del establecimiento de la popularidad de vegetarianismo a finales del siglo XIX y principios del siglo XX (AEFC 2010).

En 1877, John Harvey Kellogg, inventó un bizcocho hecho de trigo, avena y harina de maíz para pacientes del Sanatorio Battle Creek (Michigan, EUA) que sufrían problemas intestinales. Inicialmente, su producto también se llamó “Granula”, pero se cambió a “Granola” tras un fallo judicial (Lezcano 2010). En 1898 se abre la primera fábrica de copos de maíz, y en 1906, William K. Kellogg funda “The Battle Creek Toasted Corn flakes Company”, que fue conocida más adelante como “Kellogg Company”. Los cereales para desayuno se hicieron pronto muy populares y desplazaron a otros productos con alto contenido graso que se consumían en la época. Apenas diez años

después de su aparición, ya existían más de 40 compañías que elaboraban productos similares (AEFC 2010).

## **2. Generalidades**

Se entiende por cereal para desayuno a los cereales en hojuelas o expandidos que son elaborados a base de granos de cereales sanos, limpios y de buena calidad, enteros o sus partes molidas, preparados mediante diferentes técnicas, aptos para ser consumidos directamente o previa cocción. Estos podrán contener ingredientes adicionales autorizados (Sánchez 2003).

Los cereales para desayuno están principalmente constituidos 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 estos 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, mientras que 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 debido al creciente número de amas de casa que desempeñan otras labores y, en general, al acelerado tren de vida cotidiano (Serna 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 1255-1673 kJ por cada 100 g, de 10 a 12 g de proteínas, 60-80 g de carbohidratos disponibles entre azúcares y almidones y, de 10 a 15 g de fibra dietaria. 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 dependiendo de sus velocidades de degradación se reportarían tiempos de estabilidad de dichos productos (Charley 2000).

Los granos de los cereales son parecidos entre ellos y se 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 (integrales) 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, 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 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 2009).

Los procesos más utilizados para desarrollar la mayoría de estos productos son nuevas técnicas de cocción para reemplazar o modificar la tradicional cocción hidrotérmica, entre las que se pueden mencionar los siguientes: 1) laminado (flakes). Los cereales laminados o expandidos son alimentos muy adecuados para el desayuno. Estos cereales aportan muchos hidratos de carbono, por lo que se consideran alimentos energéticos, y contienen también proteínas, grasas, vitaminas, minerales y fibra. Para el consumo habitual conviene elegir los de menor contenido en sodio, azúcares sencillos, y grasas saturadas (Anónimo 2004); 2) explosión (puffing). En esta se utilizan granos enteros a los cuales se le reduce su densidad alrededor de diez veces (Fast 1991), y 3) cocción por extrusión. Se utilizan especialmente harinas, sémolas y almidones (Harper 1981; Batterman y col. 1998; Fast 1991; González y col. 2002).

### **3. Producción y consumo**

Desde el año 2002, el consumo y la producción de cereales para desayuno se ha venido incrementando gracias a las inversiones que los productores han realizado para aumentar la capacidad instalada. Desde el 2008 los ingresos por concepto de ventas de cereales para desayuno han ido creciendo de 1.8 billones a casi 2 billones de dólares Kellogg Co. aumentó sus ventas en un 3.1% con su marca Kellogg. A finales del 2015 se espera que las ventas de cereales para desayuno aumenten en 21.9% (AAFC 2012).

El consumo anual per cápita de cereales para desayuno para el año 2011 se estimó en 4.5 kg/año en Estados Unidos y en Europa 2.7 kg/año (AEFC 2011).

En 2013, la industria de los cereales para desayuno en los Estados Unidos contabilizó ingresos por 11,125 millones de dólares (mdd), que significó un incremento del 3% respecto al año 2012. En México, también se ha reportado un incrementó en los

ingresos de las compañías productoras, ya que en el año 2011 se tuvieron ingresos por 1,357.2 mdd, mientras que en el 2009 se presentaron 1,175.2 mdd. Se estima que para el 2015 se obtengan ingresos por 1,702.6 mdd (AAFC 2012b).

En cuanto a los distintos tipos de productos que se comercializan como cereales para desayuno a nivel mundial, los que encabezan el mercado exportador, año a año, son los “productos a base de cereales obtenidos por inflado o tostado” incluyendo a las tradicionales hojuelas o *flakes* de maíz. Tanto en volumen como en valor, su participación fue del 81% y 62% en promedio de 2004-2008 respectivamente (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 saludable 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 de cereales para desayuno en el año 2009 (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 %	
1 Reino Unido	225.218	681	13.5	18.7	
2 Alemania	268.401	653	16.0	17.9	
3 Estados Unidos	210.731	408	12.6	11.2	
4 Francia	120.176	341	7.2	9.4	
5 Canadá	216.421	301	12.9	8.3	
6 Bélgica	87.106	214	5.2	5.9	
7 México	56.072	175	3.3	4.8	
8 China	63.801	128	3.8	3.5	
9 Australia	65.369	75	3.9	2.1	
10 Guatemala	28.318	56	1.7	1.5	
- Otros	332.465	608	19.9	16.7	
Total exportaciones mundiales de 2009	1,674,076	3,640	Concentración de los 1ros 10 exportadores		
			80.1%	83.3%	

Fuente: Dirección Nacional de Transformación y comercialización de Productos

Agrícolas y Forestales-MAGyP (2010).

En los años 2010-2012 los tres principales países exportadores de relevancia en este sector fueron España, Polonia y Holanda (Lezcano 2010). México para el año 2009 ocupó el séptimo lugar en exportación con una producción de 56, 072 toneladas las cuales representaron el 3.3% de la producción mundial.

#### **4. Clasificación**

El mercado ofrece una gran variedad de cereales para desayuno. Las hojuelas se obtienen de harinas refinadas y contienen sal, azúcar y malta entre otros ingredientes. Estos productos están fortificados con vitaminas y minerales, con el fin de compensar el efecto del refinado al que se someten las harinas. Asimismo, los cereales 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 tienen menos fibra. Por otro lado los cereales integrales y ricos en fibra 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 para su elaboración frutos secos y frutas deshidratadas (Lezcano 2010).

El *Muesli* está compuesto de cereales (avena, arroz inflado, trigo, maíz, etc.), frutos secos (nueces, almendras, avellanas) y frutas deshidratadas (pasas, manzana, plátano, coco, fresas, etc.).

Las barritas de cereales tienen como ingredientes : 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 soja (Zudaire y col 2004).

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 las empresas productoras decidan 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 presentan una gama de distintos productos con diferente composición química y nutricional. El común denominador de estos productos es que contienen baja cantidad de grasa y la mayoría están 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 todas 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 por bajar el índice glucémico del producto. 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 2009).

Los cereales para desayuno en México deben sujetarse a lo establecido por la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-086-SSA1-1994, para “Bienes y servicios”. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición, la cual establece las especificaciones nutrimentales a que deben sujetarse dichos productos. En su artículo 7.17 establece que para que un alimentos sea considerado como adicionado con fibra, su contenido de este nutrimento debe ser igual o mayor a 2.5 g por porción (40 g), en relación con el contenido del alimento original o de su similar.

La proteína de los cereales para desayuno puede ser bien aprovechada ya que la mayoría de las veces se consume con leche, cuya excelente calidad proteica hace que la proteína del cereal sea aprovechada más eficientemente. La leche además aporta cantidades importantes de calcio. En conclusión, un cereal para desayuno con alto contenido de fibra dietética y baja cantidad de azúcares solubles, consumido con leche es una excelente fuente de nutrimentos para personas con condiciones adecuadas de salud, además de ser apropiado para diabéticos. El **Cuadro 2** 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 2009).

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

<b>Nutriente</b>	<b>All-Bran Original</b>	<b>Corn Flakes</b>	<b>All-Bran Copos de trigo</b>	<b>All-Bran</b>	<b>Raisin Bran</b>	<b>Special K</b>	<b>Hojuelas de avena</b>
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
<b>Minerales</b>							
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
<b>Vitaminas</b>							
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

USDA (2014)

## **B. MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACIÓN DE CEREALES PARA DESAYUNO ALTOS EN FIBRA (CPDAF)**

Los cereales para desayuno se componen de uno o más cereales a los que, según su formulación, se añaden vitaminas y minerales que completan el producto, haciéndolo más adecuado desde el punto de vista nutricional, ya que contribuyen a completar las cantidades diarias recomendadas (CDR) de estos nutrientes.

Las materias primas más utilizadas para elaborar los CPDAF son: trigo, maíz, arroz, avena, cebada, y otros cereales comestibles, ya sean enteros o troceados. Además de los cereales, en ocasiones se utilizan otros ingredientes como cacao, frutas, frutos secos, malta, miel y leche (AEFC 2010). A continuación se presentan algunas características de las materias primas más utilizadas para la elaboración de los CPDAF.

### **1. Trigo (*Triticum ssp.*)**

#### **a. Aspectos generales**

El trigo (*Triticum ssp.*), es una planta gramínea anual con espigas de cuyos granos molidos se saca 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 kilogramos por hectárea (kg/ha), y si se realiza en líneas esta cantidad disminuye de 120 a 125 kg/ha, si 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 col 1998):

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

El trigo es el cereal que más se utiliza en la alimentación humana y su importancia reside principalmente en su valor energético alto, además de que contiene más proteínas que el maíz y el arroz (SIAP-SAGARPA 2015).

#### **b. Producción de trigo**

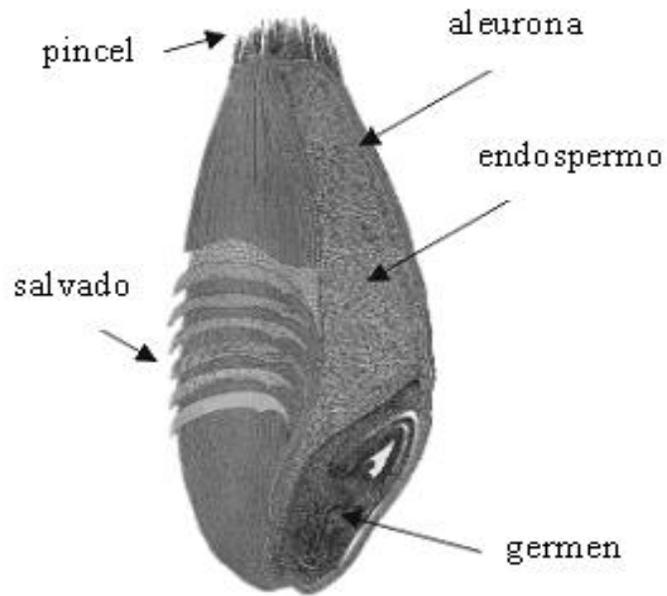
La producción a nivel mundial que engloba todas las clases de trigo existentes en el año 2013 fue de 715, 909, 258 toneladas (t), de un superficie cosechada de 219, 046, 706 hectáreas (ha). El principal país productor de trigo fue China, seguido de India, Estados Unidos, Rusia, Francia, Canadá, Alemania, Pakistán, y Australia (FAO 2015).

México contó una producción de 3, 357, 307 t, de una superficie cosechada a nivel nacional de 634, 241 ha. En el año 2013, el principal estado productor de trigo fue Sonora, que tuvo una producción de 2, 089, 841 t que representó el 62% de la producción nacional. Sinaloa ocupó el sexto lugar en producción de dicho cereal con un total de 81, 747 t (SIAP-SAGARPA 2015).

### **c. Composición química y aspectos nutricionales**

Los granos de trigo son carióspsides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. Están formados por tres partes principales (**Figura 1**): 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 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 en el desarrollo del embrión durante la germinación (Ritchie y col 2000). La capa de aleurona contiene concentraciones altas de diversas sustancias nutritivamente importantes, y por ello resulta muy interesante conseguir su aprovechamiento (Antoine y col 2002).



**Figura 1.** Partes principales del trigo. Matz (1999).

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, y presenta un bajo contenido de vitaminas y minerales.

La harina blanca está formada predominantemente por el endospermo. La harina de trigo 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 (*Avena Sativa* L.) 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 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.

**Cuadro 3.** Composición química del trigo.

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Humedad</b>	8.0 -18.0
<b>Carbohidratos</b>	60.0 – 68.0
<b>Proteína</b>	7.0 – 18.0
<b>Grasa</b>	1.5 - 2.0
<b>Fibra cruda</b>	2.0 – 2.5
<b>Ceniza</b>	1.5 – 2.0

Matz (1999)

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 fuese 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 de avena**

La avena ocupó el sexto lugar en la producción mundial de cereales en el año 2013, presentando una producción de 23, 880, 997 t, de un superficie cosechada de 9, 779, 903 ha. El principal país productor de avena fue Rusia seguido de Canadá, Finlandia, Polonia, Australia, Estados Unidos, España, y Reino Unido (FAO 2015). México ocupó el lugar número treinta y dos, con una producción de 91, 049 t, de una superficie cosechada a nivel nacional de 49, 354 ha. En el año 2013 Chihuahua fue el estado con mayor producción de avena en México, con una producción total de 57, 228 t que representó el 62.85% de la producción nacional. Sinaloa no es productor de dicho cereal (SIAP-SAGARPA 2015).

#### **c. Composición química y aspectos nutricionales**

La avena es un grano importante para la alimentación animal, pero su consumo en la alimentación humana tradicionalmente está limitado a productos infantiles como cereal para el desayuno, no obstante tiene muy buenas propiedades nutritivas. En años recientes su utilización se ha incrementado y trata de diversificarse, pues se conoce más su relación con una serie de beneficios para la salud. Se destaca entre los cereales por su 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  $\beta$ -glucanos, polisacáridos

de estructura lineal, no amiláceos, que constituyen aproximadamente 85% de la fracción soluble de las fibras, los cuales tienen un efecto reductor del colesterol (total y LDL-colesterol) en la sangre y atenúan la respuesta postprandial a la 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 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 el centro y sur 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 2012a).

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). Hay muchas variedades de maíz en el mundo: rojo, morado, negro, naranja, amarillo, de colores, el maíz no sólo se utiliza 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 2012a).

## **b. Producción de maíz**

La producción a nivel mundial de maíz en el año 2013 fue de 1, 018, 111, 958 t, de una superficie cosechada de 185, 121, 342 ha. El principal país productor de maíz fue Estados Unidos seguido de China, Brasil, Argentina, Ucrania, India, México, Indonesia y Francia (FAO 2015). México se encontró en el octavo lugar a nivel mundial con una producción de 22, 663, 953 t, de una superficie cosechada a nivel nacional de 7, 095, 630 ha. En el año 2013, el principal estado productor de maíz fue Sinaloa, que contó con una producción total de 3, 627, 777 t que representó el 16% de la producción nacional (SIAP-SAGARPA 2015).

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 2015).

## **c. Maíz amarillo**

Muchos de los maíces duros cultivados comercialmente poseen granos anaranjados-amarillentos o blancos-cremosos, aunque existe una amplia gama de colores, por ejemplo, amarillo, anaranjado, blanco, crema, verde, púrpura, rojo, azul y negro (Paliwal y col 2001). Desde el punto de vista biológico y genético, el maíz amarillo es muy similar al blanco, los mismos sólo difieren en el gen "Y" que determina la coloración del endospermo y afecta los contenidos de vitamina A, xantofilas y carotenos. La acción de este gen, y de los demás genes que controlan la coloración de los granos de maíz, puede ser alterada por genes modificadores, lo cual afecta la formación de

pigmentos del mismo y el contenido de otras sustancias por ellos condicionados (Alfaro y col 2004).

El maíz amarillo tiene a contener un valor nutritivo mayor en comparación con el maíz blanco por presentar valores elevados de vitamina A, y sin olvidar su contenido de vitamina E. Los maíces que poseen endospermo con un número mayor de genes "Y" también son preferidos por la agroindustria de alimentos para animales, porque da a la carne de las aves, la grasa animal y la yema de huevos el color amarillo, el cual es un carácter de valor económico muy apreciado en el mercado consumidor (Alfaro y col 2004; Alfaro y col 2009).

Los carotenoides del maíz amarillo, se encuentran presentes en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos (Solares 2003).

Según Vielma (1998) el maíz amarillo es una importante fuente de nutrientes como lo son niacina, riboflavina, carotenos y xantofilas. Entre estos dos últimos nutrientes, existen algunos compuestos precursores de la vitamina A. Los maíces amarillos contienen además de estos 2 compuestos precursores, más carbohidratos y producen mayor energía en los animales que las variedades de maíz blanco. Sin embargo, con excepción del color amarillo no hay información que indique que los colores tengan influencia en el valor nutrimental del grano (Reyes 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, su principal destino es la alimentación del ganado y la producción de almidones (Paliwal y col 2001).

#### 4. Naranja ( *Citrus mitis* )

##### a. Aspectos generales

La naranja es un fruto el cual se cree nativo de China, y que fue llevado en un principio a Indonesia y Filipinas. Asimismo, se convirtió en la más importante fuente de jugo cítrico en las Islas Filipinas, en la India donde es ampliamente cultivado, así como en el sur de Asia y Malasia. Es un árbol común en los patios como ornamento en Hawai, las Bahamas, algunas islas de las Antillas, y partes de Centroamérica. El Dr. David Fairchild lo introdujo en el estado de Florida, EUA, desde Panamá en 1899. Pronto se hizo popular en los estados de Florida y Texas (Morton 1987).

Desde 1960, miles de ejemplares en maceta se han enviado desde el sur de Florida a otras partes de los Estados Unidos para su uso como plantas de casa. Israel está ahora exportando ese tipo de plantas para el mercado europeo. El fruto también es valorado como un patrón para el kumquat ovalado de siembra en macetas. Es muy utilizado para la investigación en invernadero sobre los diversos aspectos de la floración y fructificación en *Citrus* (Morton 1987). La descripción taxonómica del fruto de naranja se muestra en el **Cuadro 4**.

**Cuadro 4.** Clasificación taxonómica del fruto de naranjita (*Citrus mitis*).

---

<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Angiosperma
<b>Subdivisión</b>	Eudicots
<b>Clase</b>	Rosidae
<b>Orden</b>	Sapindales
<b>Familia</b>	<i>Rutaceae</i>
<b>Género</b>	<i>Citrus</i>
<b>Especie</b>	<i>Mitis</i>

---

Morton (1987)

## **b. Producción de cítricos**

En México la citricultura representa una actividad de gran importancia, una de cada veinte toneladas de cítricos que se consumen en el mundo proviene de nuestro país. No se encontró información específica sobre superficie cosechada y producción del fruto de naranjita, sin embargo, la superficie cosechada de cítricos en México, en el año 2013 fue de 556, 789 ha, con una producción total de 7, 613, 105 t de fruta. Lo que sitúa a este país en el quinto lugar mundial en producción de cítricos (FAO 2015).

La naranja representa el cítrico de mayor superficie cultivada, con más de 320 mil ha cosechadas y una producción de 4, 409, 967 t, seguido del limón con más de 150 mil ha y una producción de 2, 120, 612 t (SIAP 2015).

En relación a los estados productores, destacan por su superficie sembrada Veracruz, con el 40% de la superficie total de cítricos en el país, entre los que sobresalen la naranja (161 mil ha), limón (37 mil ha) y tangerinas (11 mil ha); le sigue en orden de importancia San Luis Potosí, cuyo principal cultivo cítrico es la naranja (38 mil ha), mandarina (21 ha) y limón (aproximadamente 11 ha); otros importantes productores son Tamaulipas, Nuevo León, Colima y Sonora (SIAP 2015).

## **c. Usos de la naranjita**

La naranjita suelen ser cortadas a la mitad o en cuartos y se sirven con el té helado, mariscos y carnes, para ser exprimidas por su jugo ácido. Estos frutos eran comúnmente utilizados en Florida antes de que los limones fueran abundantes. Algunas personas hierven las frutas en rodajas con arándanos para hacer una salsa. También se conservan enteras, en encurtidos, dulces o mermeladas. Una mermelada se hace usando partes iguales de naranjitas y kumquat. En Hawaii, una mermelada de papaya-

naranja es muy popular. Las frutas enteras, fritas en aceite de coco con varios condimentos, se comen con curry. La conserva de la cáscara se añade como condimento a otros guisos o conservas de frutas (Morton 1987).

#### **d. Composición química y aspectos nutricionales**

Existe poca información acerca de la caracterización de este fruto, sin embargo, Calderón-Arredondo en el año 2012 encontró que la pulpa, presenta un contenido de humedad de 80.52%, proteína cruda 10.88%, extracto etéreo 3.59% y cenizas 2.77%, asimismo, presenta un alto contenido de fibra cruda (33.62%) y carbohidratos (49.12%). En cuanto a la cáscara y semilla, estas presentan respectivamente, contenido de humedad de (79.16 y 48.91%), proteína cruda (15.49 y 16.48%), fibra cruda (25.91 y 19.00%), extracto etéreo (6.71 y 32.98%), cenizas (7.10 y 3.13%), y carbohidratos (44.76 y 28.40%).

El fruto de naranja también es una buena fuente de compuestos fenólicos totales (CFT). En el caso de la cáscara, se presentan valores de  $33.24 \pm 4.10$  mg de equivalentes de ácido gálico (EAG)/g en base seca (b.s), y un contenido de flavonoides totales (FT) de  $10.29 \pm 0.32$  mg de equivalentes de quercetina (EQ)/g b.s. Asimismo, en la pulpa el contenido de CFT es de  $23.30 \pm 3.80$  mg EAG/g b.s, y el contenido de FT de  $1.42 \pm 0.20$  mg EQ/g en b.s. Por otro lado, en las semillas el contenido de CFT es de  $5.70 \pm 4.28$  mg EAG/g en b.s., mientras que el contenido de FT es de  $0.011 \pm 0.01$  mg EQ/g en b.s. (Soto-Ibarra 2012).

Por otro lado, se ha reportado información acerca del procesamiento de los subproductos de este fruto (cáscara, bagazo) mediante la tecnología de secado, Ahumada-Aguilar (2014) estudió el efecto de la temperatura de secado (TS) y velocidad

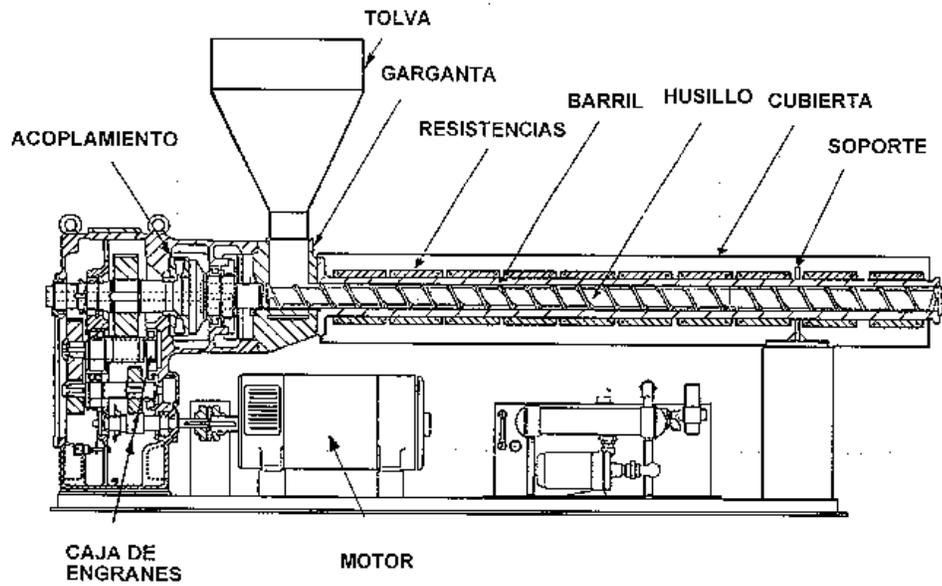
de aire de secado (VA) sobre el contenido de compuestos bioactivos de harinas de subproductos de naranjita. Se encontró que los mayores valores de CFT (>12 mg EAG/g) se presentaron a una TS > 75°C y VA < 0.7 m/s. Asimismo, en dicho trabajo fue reportado que las condiciones óptimas de procesamiento se presentaron en un rango de TS de 59.9 a 75.3°C y VA de 0.7 a 1.2 m/s. Igualmente, se evaluó el contenido de carotenoides totales (CT) en los subproductos sin proceso de secado, y en los subproductos deshidratados en los diferentes tratamientos, encontrándose, un valor de retención máximo de 52.14% (1.06 mg/g). Por otro lado, se determinó la actividad antioxidante (DPPH), encontrándose valores de 28.85±0.55 µmol equivalentes trolox/g.

## **C. Extrusión**

### **1. Generalidades**

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).

El proceso fundamental de extrusión consiste en un equipo generador de presión (extrusor) (**Figura 2**), 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).



**Figura 2.** Componentes fundamentales de un extrusor utilizado para manufacturar cereales para desayuno.

El proceso de cocción por extrusión implica calentamiento a temperaturas elevadas, aplicación de mezclado y cizallamiento mecánico, antes que finalmente la extrusión forme una estructura. El material de alimentación es expuesto a más altas temperaturas, esfuerzo y 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 a la presión atmosférica (Serna 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 y diferentes temperaturas (Valls 1993).

## **2. Efecto del proceso de extrusión sobre los constituyentes de los alimentos**

Las condiciones de temperatura, presión y fuerzas cortantes a que se somete un producto alimenticio durante el proceso de extrusión pueden producir los siguientes fenómenos en su composición química: 1) modificaciones de la estructura nativa de las macromoléculas por gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas (Ho e Izzo 1992), 2) formación de enlaces cruzados intermoleculares, 3) formación de almidón resistente (Unlu y Faller 1998) y 4) degradación de vitaminas y pigmentos. Sin embargo el proceso de extrusión es preferible a otras técnicas de procesamiento de alimentos debido a la retención significativa de nutrientes, destrucción de factores antinutricionales, incremento de la fibra dietaria soluble y reducción en la oxidación de lípidos (Singh y col 2007).

En general, los alimentos que son sometidos a extrusión en su mayoría son ricos en almidón o en fibras. A continuación se mencionan los cambios por efecto del proceso que sufren estos 2 macro componentes:

#### **a. Cambios en fibra dietaria**

Existen pocas publicaciones sobre el efecto del proceso de extrusión en la fibra dietaria. Se ha encontrado que en el trigo la fibra adquiere solubilidad, incrementando la disponibilidad para ser fermentada, asimismo, al someter al salvado de trigo al proceso de extrusión el contenido de fibra soluble se incrementa significativamente. Varias observaciones indican que las paredes de las celulosas de los productos extrudidos se adelgazan y la superficie se vuelve más rugosa en comparación a la materia prima (Pérez y col 2008; Larrea y col 2005). Larrea y col. (2005) indican que se requiere de condiciones muy severas para conseguir efectos significativos sobre la fibra, como lo es aumento de fibra dietaria soluble y de fracciones de almidón resistente al ataque enzimático.

#### **b. Cambios en el almidón**

En su forma nativa, el almidón aparece en el endospermo de las semillas en forma de gránulos esféricos microscópicos. En el interior del gránulo se encuentran alineados radialmente los polímeros amilosa (cadena recta) y amilopectina (en forma ramificada), los dos macrocomponentes del almidón, consisten de unidades de glucosa enlazadas por enlaces  $\alpha$  1-4 y  $\alpha$  1-6 (Kokini y col 1992).

El almidón es insoluble en agua a temperatura ambiente; sin embargo, al aplicar calor el agua comienza a difundirse al interior del granulo provocando que éste se hinche debido a la formación de puentes de hidrógeno entre las moléculas de agua y los residuos polares de las unidades de glucosa. Debido al gran número de grupos polares,

la absorción de agua es tal que llega un momento en que el gránulo se colapsa y las moléculas de amilosa y amilopectina salen al exterior para formar agregados con las moléculas de los gránulos adyacentes, formando así un gel. A este proceso se le conoce como gelatinización del almidón y ocurre aproximadamente entre 70-75 °C, dependiendo del origen del almidón (Kokini y col 1992).

Durante la extrusión, el esfuerzo mecánico fragmenta los gránulos de almidón y permite una transferencia más rápida de agua hacia el interior de las moléculas. La pérdida de la cristalinidad de almidón durante la extrusión es causada no tanto por la penetración del agua sino por el rompimiento de los enlaces moleculares debido a los esfuerzos intensos de corte dentro del extrusor. Los polímeros amilosa y amilopectina que han sido liberados del gránulo se fragmentan en trozos más pequeños, a estos fragmentos de peso molecular más bajo se les llama dextrinas y el proceso se conoce como dextrinización (Singh y col 2007).

Durante el proceso de extrusión existen, simultáneamente, una mezcla de almidón gelatinizado y fragmentos de almidón degradado. El grado de fragmentación depende de la severidad del tratamiento térmico y de los esfuerzos cortantes en el extrusor. La severidad de estos dos factores puede originar que las dextrinas se degraden hasta formar oligosacáridos y azúcares monoméricos (Kokini y col 1992). La presión dentro del extrusor aumenta debido a la restricción en el dado; una vez que el almidón fundido emerge del dado, ocurre una vaporización súbita de la humedad interna debido al cambio brusco de presión, provocando la expansión del producto. A medida que la temperatura desciende por debajo del punto de gelatinización, el extrudido solidifica y retiene su forma expandida.

El grado de gelatinización es un parámetro importante para la hidrólisis enzimática de almidón y su absorción intestinal. Esta se incrementa con el incremento de la temperatura. La degradación molecular del almidón es una función de las variables de extrusión (temperatura, contenido de humedad de la materia prima y velocidad de tornillo) (Singh y col 2007).

#### **D. ELABORACIÓN DE CEREALES PARA DESAYUNO ALTOS EN FIBRA (CPDAF) MEDIANTE EL PROCESO DE 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 tecnología de 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 2009).

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 niveles elevados de esfuerzo mecánico, el extrusor debe operar a altas revoluciones y estar equipado con un tornillo diseñado para ese uso específico.

#### **E. ANTECEDENTES DE CEREALES PARA DESAYUNO ALTOS EN FIBRA (CPDAF)**

Camire y col (2007) evaluaron la funcionalidad de diferentes polvos de frutos rojos en cereales para desayuno de maíz extrudido. Encontrando un mayor contenido de

compuestos fenólicos solubles y antocianinas en los cereales adicionados con los polvos de frutas. Las concentraciones utilizadas de polvos de frutos rojos fueron demasiado bajas. Sin embargo, estos productos mostraron buena actividad antioxidante y fueron altamente aceptados sensorialmente.

Stojceska y col (2008) adicionaron los subproductos de coliflor como una nueva fuente de fibra dietaria, antioxidantes y proteínas, en la elaboración de cereales para desayuno extrudidos. En dicho trabajo, se encontró un alto contenido de fibra dietaria y de proteínas en los cereales, por la adición de estos subproductos. Asimismo, se registró un aumento del contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante por el proceso de extrusión, así como una disminución en la digestibilidad in vitro de proteínas y en el contenido de fibra. El análisis sensorial realizado indicó que la concentración máxima aceptable de subproductos de coliflor en los cereales para desayuno fue de 10%, ya que al utilizar concentraciones mayores se presentó una aceptabilidad baja por los consumidores.

Carvalho y col (2012) caracterizaron un cereal para desayuno formulado con arroz y harina de frijol en el cual determinaron el contenido de proteína (9.9 g / 100 g), el contenido de fibra dietaria (3.7 g/100 g) y realizaron una evaluación sensorial en la cual dentro de la escala hedónica utilizada, los resultados se inclinaron por la opción “Me gusta ligeramente” y “Me gusta mucho”. Dichos autores reportaron que a partir de los ingredientes utilizados, se obtuvo un cereal con buenas características nutricionales, tecnológicas y sensoriales.

Holguín-Acuña y col. (2008) ellos elaboraron un cereal para desayuno a base de salvado de maíz y harina de avena extrudida, concluyeron que dicho cereal contenía

varios compuestos que podrían ser benéficos para la salud. Reportaron que una porción de 100 g de proporcionaba 0.2 g de ácido ferúlico, y 8 g de polisacáridos complejos, que incluye 1.2 g de  $\beta$ -glucanos y 6.8 de arabinosilanos. Ellos sugieren que dicha formulación de salvado de maíz y harina de avena, podrían ser una alternativa para el salvado de maíz el cual apenas se utiliza para el consumo humano.

Vernaza y Chang (2009) evaluaron el efecto de la temperatura de extrusión, contenido de humedad y contenido de fibra de fruto de la pasión en la elaboración de un cereal para desayuno a base de maíz. Dichos autores concluyen que es posible desarrollar un cereal para desayuno extrudido aceptable con hasta el 12% de contenido de fibra del fruto de la pasión (maracuyá), y 20% de contenido de humedad, con alto contenido de fibra dietaria total (11%), y con características físicas aceptables por los consumidores.

#### IV. JUSTIFICACIÓN

Una gran variedad de alimentos con alto contenido de fibra dietaria, entre ellos los cereales para desayuno, son vistos por los consumidores como alimentos innovadores, cuyo consumo pudiera presentar beneficios potenciales a la salud. En adición a lo anterior, el consumo de estos productos ha venido incrementándose, debido a que las personas cada vez tienen menos tiempo para preparar alimentos, por los rígidos horarios de trabajo. Con el objetivo de mejorar el contenido nutrimental de los cereales para desayuno, se ha buscado adicionar materias primas ricas en compuestos bioactivos, entre ellas destacan algunos cítricos, como la naranjita. Este fruto es una fuente importante de compuestos bioactivos como son fibra dietaria, carotenoides, y compuestos fenólicos, destacando su presencia en la cáscara y pulpa (bagazo).

En el Estado de Sinaloa existe significativa producción de naranjita, la cual ha adquirido importancia industrial, en la extracción del jugo, en el norte del Estado, generando subproductos (bagazo: cáscara, pulpa, semilla), los cuales son desechados generando contaminación ambiental. La alta presencia de compuestos bioactivos en este subproducto residuo agroindustrial, ha motivado su deshidratación para obtener un producto en polvo mediante el proceso de secado, lo cual le daría un valor agregado, ampliando su vida de anaquel, y logrando su posible utilización como ingrediente en la formulación de diversos alimentos con potencial nutraceutico, entre ellos los cereales para desayuno. Igualmente, con la adición de bagazo de naranjita deshidratado para producir este tipo de cereales se estaría generando importante información científica, ya que existen escasos datos en la literatura sobre la utilización de subproductos cítricos en la elaboración de productos para consumo humano.

## V. OBJETIVOS

### A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del proceso de extrusión sobre las propiedades fisicoquímicas y contenido de compuestos bioactivos de cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita (*Citrus mitis*).

### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar una caracterización de las materias primas utilizadas en el presente trabajo en relación a composición proximal y contenido de compuestos bioactivos.
2. Realizar un estudio preliminar para definir las condiciones del proceso de extrusión y niveles de los factores de estudio.
3. Evaluar el efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre las propiedades fisicoquímicas, índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), esfuerzo de flexión ( $\sigma$ ), índice de expansión (IE) y densidad aparente (DA) de cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF).
4. Estudiar el efecto de los factores de estudio (TE, HSN) sobre el contenido de compuestos bioactivos, carotenoides totales (CT) y fibra dietaria total (FDT) de CPDAF.
5. Realizar un estudio sensorial en los CPDAF para conocer el nivel de aceptabilidad de estos productos.

6. Optimizar el proceso de extrusión utilizando la metodología de superficie de respuesta, y validar los valores predichos por el modelo.
7. Analizar el contenido de compuestos bioactivos, compuestos fenólicos totales, flavonoides totales, contenido de  $\beta$ -glucanos y capacidad antioxidante (DPPH) a extractos lipófilicos e hidrofílicos de los CPDAF obtenidos en la región óptima del procesamiento.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. MATERIALES

#### 1. Materias primas

En el presente estudio se utilizaron como materias primas salvado de trigo, salvado de avena, grits de maíz amarillo y harina de subproductos de naranjita. El salvado de trigo se obtuvo de un mercado local; el salvado de avena fue obtenido de la empresa “*mothernature*”, ubicada Zapopán, Jalisco. Los grits de maíz amarillo se adquirieron de la empresa denominada “industrial de alimentos, S.A” ciudad de México, D.F y la harina de subproductos de naranjita mediante el proceso optimizado de secado desarrollado por Ahumada-Aguilar (2014), el cual se llevó a cabo a una temperatura (T) de  $72 \pm 2$  °C y un tiempo (t) de 95 min. El fruto de naranjita (*Citrus mitis*) fue cortado directamente de diferentes árboles de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, en la temporada 2012, posteriormente fue llevado al laboratorio de procesos térmicos, de la FCQB, en donde se lavó, y posteriormente se exprimió para obtener los subproductos de naranjita.

### B. MÉTODOS

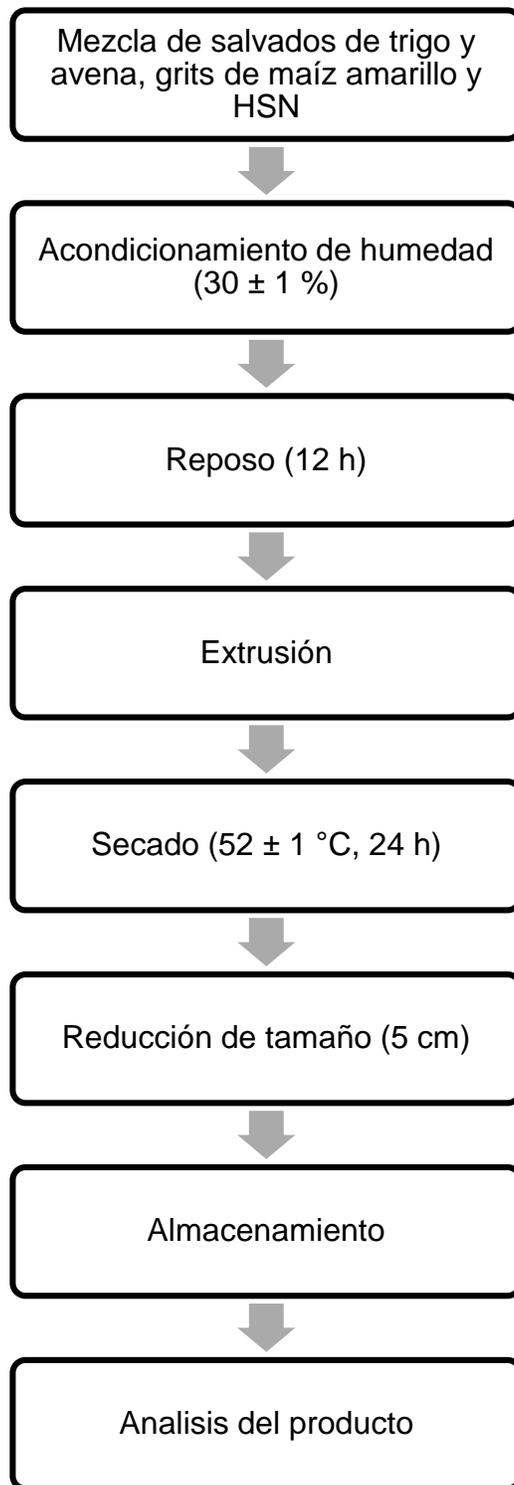
#### 1. Métodos experimentales

##### a. Obtención de los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF)

Para la obtención de los CPDAF se utilizó una mezcla compuesta por salvado de trigo y salvado de avena en una relación 60:40, respectivamente, grits de maíz amarillo 10%, mientras que el contenido de harina de subproductos de naranjita varió de 0.64 al 13.36%, de acuerdo al diseño experimental. Las mezclas de harinas fueron ajustadas a una humedad de  $30 \pm 1\%$  utilizando una batidora de laboratorio (KitchenAid, Model K5SSWH, Michigan, USA) a mínima velocidad y fueron almacenadas en bolsas de

polietileno a 8 °C aproximadamente por 12 h. Posteriormente, las muestras fueron alimentadas a un extrusor de laboratorio de tornillo simple, 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 abertura de 2 mm. Durante el proceso de extrusión se mantuvieron constantes las temperaturas en la zona de alimentación y mezclado a 75 °C y 130 °C, respectivamente, mientras que la temperatura de la zona de salida del extrusor fue variada de acuerdo al diseño experimental de 89 a 131 °C.

Una vez obtenidos los CPDAF, estos fueron deshidratados a una temperatura de  $52 \pm 1$  °C por un tiempo de 24 h, obteniendo una humedad final de ~ 4.34%. Posteriormente, los CPDAF se cortaron en fracciones de aproximadamente 5 cm de largo y se guardaron en refrigeración (~5 °C) hasta su utilización. El proceso de obtención de CPDAF se muestra de manera general en la **Figura 3**.



**Figura 3.** Diagrama de elaboración de cereales para desayuno adicionados con harina de subproductos de naranjita.

## **2. Métodos químicos**

### **a. Análisis proximal**

El análisis proximal de las materias primas utilizadas para elaborar las pastas se realizó de acuerdo con los métodos oficiales de la AOAC (2012), para proteína (960.52), grasa (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.

### **b. Fibra dietaria**

#### **1) Fibra dietaria total**

Esta determinación se llevó a cabo usando un kit de determinación de fibra dietaria total (Sigma-Adrich, TDF-100A), de acuerdo a la metodología descrita por la AOAC, sección 985.29 (1997). El método se basó en la remoción enzimática del almidón, la proteína del material y la separación de las fracciones solubles e insolubles por filtración.

Se utilizaron filtros de vidrio con porosidad No. 2 de 50 mL de capacidad, los cuales fueron sometidos a calcinación a 550 °C durante 2 h (mufla Thermolyne, Modelo FB1415M, serie 1257050461027), posteriormente, se ambientaron y se les agregaron 0.5 g de celite a cada filtro, seguido de la adición de agua destilada hasta lograr una compactación uniforme. Posteriormente, se secaron a 105 °C por 24 h en estufa (redLine by Binder, serie RL11-10875), y al terminar dicho tiempo se ambientaron y se registró su peso.

La determinación de fibra dietaria total (FDT) se llevó a cabo pesando por cuadruplicado 1 g de muestra seca en vasos de digestión de 600 mL. Se adicionaron 50 mL de buffer de fosfatos pH = 6.0 a cada vaso y se agitaron lentamente. Posteriormente, se añadieron 100 µL de  $\alpha$ -amilasa estable al calor, se cubrió el vaso de digestión con

aluminio y se colocaron en un baño de agua (Shel Lab, modelo WS27) a 95 °C durante 15 min con agitación orbital. Una vez terminada la digestión, se ambientó y se ajustó el pH a  $7.5 \pm 0.2$  añadiendo 10 mL de NaOH 0.275 N (si fue necesario se ajustó al pH deseado con NaOH o HCl), para proceder a la digestión con proteasas. Ésta consistió en añadir 100  $\mu$ L de una disolución de proteasas (conteniendo 50 mg/mL de proteasas en buffer de fosfatos), cubrir con aluminio y colocar en un baño de agua (Shel Lab, modelo WS27) con agitación orbital a 60 °C, durante 30 min, para remover la proteína. Finalmente se llevó a cabo la digestión con amiloglucosidasas bajo las condiciones antes mencionadas, ajustando el pH previamente de 4.0 - 4.6 añadiendo 10 mL de HCl 0.325 M (si fue necesario se añadió NaOH o HCl para ajustar al pH deseado). Una vez realizadas las digestiones se procedió a precipitar la fibra dietaria adicionando cuatro volúmenes de alcohol al 95%, dejándose reposar toda la noche para permitir una completa precipitación. El residuo total se filtró sobre los filtros Gooch (previamente pesados) usando leve vacío y se lavó con 60 mL de etanol al 78%, 20 mL de etanol al 96 % y 20 mL de acetona. El residuo resultante se sometió a un proceso de secado durante 12 h a 105 °C en estufa (redLine by Binder, serie RL11-10875), posteriormente se ambientó en un desecador por 30 min y se registró su peso (WR). Dos muestras se usaron para analizar proteína, midiendo el nitrógeno por el método de microkjeldahl (WP) y las otras dos fueron incineradas a 550 °C durante 5 h, determinando así el contenido de cenizas (WC). Simultáneamente con las muestras, se corrieron dos blancos durante el procedimiento completo, para medir alguna contribución de los reactivos en el residuo (WB), determinando además el contenido de cenizas en los blancos. Los cálculos fueron realizados mediante la siguiente fórmula matemática:

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

FDT = Fibra dietaria total (%)

$W_R$  = Peso del residuo de fibra dietaria

$W_P$  = Peso de proteínas en el residuo de la fibra

$W_C$  = Peso de cenizas en el residuo de fibra

$W_B$  = Peso del residuo del blanco

PM = Peso de la muestra (g)

## 2) Fibra dietaria insoluble y soluble

Se determinaron utilizando el método reportado por Prosky y col. (1988), el cual corresponde al método oficial 991.42 de la AOAC (1992). Se llevó a cabo por cuadruplicado pesando 1 g de muestra seca de los cereales para desayuno. Al igual que la metodología empleada para la determinación de FDT, se llevaron a cabo tres digestiones enzimáticas con  $\alpha$ -amilasa, proteasas y amiloglicosidasas para remover las partes almidonosas y proteínicas. El residuo de las digestiones se filtró en filtros de vidrio con celite previamente tarados como se indica en el apartado anterior y se realizaron los mismos lavados. El residuo se sometió a un proceso de secado durante 12 h a 105 °C en estufa (redLine by Binder, serie RL11-10875), posteriormente se ambientó en un desecador por 30 min y se registró su peso ( $W_R$ ). Dos muestras se usaron para analizar proteína, midiendo el nitrógeno por el método de microkjeldahl ( $W_P$ ) y las otras dos fueron incineradas a 550 °C durante 5 h, determinando así el contenido de cenizas ( $W_C$ ).

Los cálculos fueron determinados de la misma forma que la fibra dietaria total y el contenido de fibra dietaria soluble se calculó por diferencia.

### 3. Métodos físicos

#### a. Esfuerzo de flexión

El esfuerzo de flexión ( $\sigma$ ) 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). 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, esta consiste 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  $\sigma$  se calcularon usando las ecuaciones siguientes:

$$\delta_{max} = PL^3/48 E I$$

$$\sigma = My/I$$

$$\sigma = E f \epsilon$$

Donde:

$\delta_{max}$  = 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<sub>f</sub>** = Modulo de flexión (MPa)

**I** = Momento de inercia en el cilindro (m<sup>4</sup>)

**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

#### **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<sub>m</sub>= 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<sup>3</sup>, realizándose 15 mediciones por tratamiento, realizándose los cálculos mediante la siguiente ecuación:

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

#### **4. Características fisicoquímicas**

##### **a. Índice de absorción de agua**

Se realizó de acuerdo a la metodología 54-21 descrita por la AACC (2010), con algunas modificaciones. Una muestra de 0.25 g de harinas de los cereales para desayuno 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 4000 rpm por 30 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.

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

El índice de solubilidad en agua se obtuvo de la cantidad de sólidos secos recuperados por la evaporación del sobrenadante, obtenido de la determinación del IAA. Los sólidos solubles en agua se expresaron como % de sólidos secos. La prueba se realizó por triplicado (AACC 2010).

## **5. Caracterización fitoquímica**

### **a. Compuestos fenólicos**

#### **1) Extracción de la muestra**

La determinación del contenido de compuestos fenólicos totales (CFT) se realizó por triplicado siguiendo la metodología propuesta por Wolfe y col (2003) con algunas modificaciones. Este procedimiento se realizó en el cereal para desayuno obtenido en la región óptima del procesamiento. Se pesaron  $1 \pm 0.05$  g de muestra seca, los cuales fueron homogeneizados en 20 mL de acetona al 80 % en vortex (vortex Thermolyne modelo MG3215, USA) a temperatura ambiente. Posteriormente fue sometido a sonicación por un tiempo de 5 min en un sonicador Branson (modelo 3510R-DTH, serie CPN-925-318R, México) y las muestras fueron centrifugadas a 4000 rpm a 2 °C durante 15 min. El sobrenadante producto de la centrifugación fue recolectado y el sedimento fue sometido nuevamente al proceso de extracción bajo las mismas condiciones descritas anteriormente. Los sobrenadantes fueron reunidos y evaporados a 40°C y presión reducida en un rotavapor Heidolph (modelo LABOROTA4011, serie 100500495, Alemania), el concentrado resultante fue diluido con 25 mL de metanol y finalmente aforado a 50 mL con agua destilada. Dicha dilución fue filtrada y se tomaron alícuotas de la misma para su análisis.

#### **2) Preparación de la curva de calibración**

Se preparó una solución madre (1000 ppm), pesando 0.01 g de ácido gálico monohidratado y disolviéndolo en 10 mL de metanol. Posteriormente, se prepararon diluciones de 0.5, 10.5, 20.5, 30.5, 40.5 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**

Para efectuar el ensayo se adicionaron 100  $\mu\text{L}$  del extracto de las muestras en tubos eppendorf de 15 mL. Posteriormente, se adicionaron 125  $\mu\text{L}$  del reactivo Folin y 500  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}$ , agitando 30 s con vortex (vortex Thermolyne modelo MG3215, USA). Se dejó reposar 6 min en la oscuridad y al terminar se adicionaron 1250  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 7 % como catalizador y 1000  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{O}$ , se agitó con vortex (vortex Thermolyne modelo MG3215, USA) y se dejó reposar por 1.5 h en oscuridad a temperatura ambiente. Finalizado dicho tiempo se midió la absorbancia a 750 nm utilizando un espectrofotómetro Thermo Spectronic (modelo GENESYS 10 UV, serie 2H7G229001, USA). Los resultados fueron comparados con la curva de calibración descrita anteriormente, expresando los resultados como miligramos equivalentes de ácido gálico por 100 g en base húmeda (mg EAG/100 g b.h).

#### **b. Flavonoides totales**

##### **1) Extracción de la muestra**

Se utilizó el mismo extracto obtenido para la determinación de los compuestos fenólicos totales.

##### **2) Preparación de la curva de calibración**

Se pesaron 0.01 g de quercetina y se diluyeron en 10 mL de metanol obteniendo una solución stock de 1000 ppm, con el cual se prepararon diluciones de 10, 20, 30, 40, 50, y 60 ppm. Dichas diluciones fueron utilizadas para llevar a cabo el ensayo mediante

la prueba espectrofotométrica de  $\text{AlCl}_3$  que se explica en el próximo paso. La curva de calibración se realizó por duplicado.

### **3) Determinación del contenido de flavonoides totales**

Se utilizó la metodología espectrofotométrica reportada por Ebrahimzaded y col. (2008) con ligeras modificaciones. En tubos de vidrio PYREX se adicionaron 500  $\mu\text{L}$  de extracto, 1500  $\mu\text{L}$  de metanol, 100  $\mu\text{L}$  de cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ) al 10%, 100  $\mu\text{L}$  de acetato de potasio al 10 % y 2800  $\mu\text{L}$   $\text{H}_2\text{O}$  destilada. Posteriormente, se agitaron con vortex (vortex Thermolyne modelo MG3215, USA) y se dejaron reposar 30 min en la oscuridad. Transcurrido dicho tiempo, se midió la absorbancia a 415 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 quercetina por 100 g en base húmeda (mg EQ/100 g b.h.).

#### **c. 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 (2012). Se realizó por triplicado en los diferentes tratamientos del diseño experimental, y en el tratamiento obtenido en las condiciones óptimas de procesamiento. Se pesaron 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 se sometió 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 le 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 espacio de 1 h, en el cuál se observó un cambio de fases.

## **2) Preparación de la curva de calibración**

Se pesaron 0.0005 g de  $\beta$ -caroteno y se aforaron con 50 mL de hexano generando una solución madre de 10  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . De ella se tomaron 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9  $\mu\text{L}$  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  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , utilizando como blanco hexano.

## **3) Determinación del contenido de carotenoides totales**

Una vez llevado a cabo el cambio de fases se tomaron 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. El procedimiento se realizó por triplicado, y los resultados fueron comparados con la curva de calibración relatada en el apartado anterior los cuales fueron expresados como  $\mu\text{g}/\text{g}$  (b.s).

### **d. Contenido de $\beta$ -glucanos**

El contenido de  $\beta$ -glucanos se evaluó utilizando un kit comercial Megazyme (Mixed-Linkage), mediante la metodología reportada por la AOAC método 995.16,

utilizando el procedimiento para cereales extrudidos. Primeramente, se pulverizó el cereal para desayuno obtenido en las condiciones óptimas de procesamiento, reduciendo su tamaño de partícula a 0.5 mm. Posteriormente, fueron colocados 200 mg con precisión en tubos de vidrio para centrifuga (16 x 120 mm; 17 mL de capacidad), asegurándose que toda la muestra quedara dentro del tubo, se añadieron 50 mL de etanol acuoso (50 % v/v) y posteriormente se incubaron durante 5 min en un baño de agua a temperatura de ebullición (~100 °C). Se mezcló el contenido con vórtex (vortex Thermolyne modelo MG3215, USA) y se añadieron 5 mL de etanol acuoso al 50% y se mezcló de nuevo. Después se centrifugaron los tubos durante 10 min a 1800 g (3000 rpm aprox.) y se eliminó el sobrenadante. Posteriormente se suspendió el sedimento en 4 mL de buffer de fosfato de sodio (20 mM, pH 6.5) y se incubaron en un baño de agua (ISOTEMP, Modelo 205, Serial 1600061101934, USA) a 50 °C por 5 min. Al finalizar dicho tiempo, se agregaron 2 µL de liquenasa (10 U) y se agitó en vórtex para incorporar la liquenasa, después se selló el tubo con parafilm y se incubó en baño de agua (ISOTEMP, Modelo 205, Serial 1600061101934, USA) por 1 h a 50 °C con agitación continua. Posteriormente se agregó el buffer de acetato de sodio (2 mL, 200 mM, pH 4.0) y se agitó con vórtex (vortex Thermolyne modelo MG3215, USA), se dejó equilibrar el tubo hasta temperatura ambiente y se centrifugó (Eppendorf, 5804R, Hamburgo, Alemania) (1000 g) por 10 min. Se colocaron alícuotas (0.1 mL) en la parte inferior de 3 tubos de ensayo (12 mL de capacidad). Se añadió β-glucosidasa (0.1 mL, 0.2 U) en buffer de acetato de sodio (50 mM, pH 4.0) a dos de los tubos (Reacción) y en el tercero (blanco de reacción) se añadió sólo buffer de acetato de sodio (0.1 mL, 50 mM, pH 4.0), se incubaron los tres tubos en baño de agua (ISOTEMP, Modelo 205, Serial 1600061101934, USA) a 50 °C por 10 min. Concluido dicho tiempo se añadieron 3 mL

del reactivo GOPOD a cada tubo, y se incubaron a 50 °C por 20 min. Finalmente, se retiraron los tubos del baño de agua y se dejaron reposar por 1 h transcurrido el tiempo se midió la absorbancia a 510 nm frente al blanco de reactivo (0.1 mL de agua destilada, 0.1 mL de buffer de acetato de sodio, y 3 mL de reactivo GODOP). Los cálculos para la determinación de  $\beta$ -glucanos (%) se obtuvieron mediante las siguientes ecuaciones:

$$\beta - \text{glucano} \left( \frac{W}{W} \% \right) = \Delta A \times F \times \frac{FV}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180} \times D$$

$$\beta - \text{glucano} \left( \frac{W}{W} \% \right) = \Delta A \times \frac{F}{W} \times FV \times D \times 0.9$$

Donde:

$\Delta A$  = Absorbancia después del tratamiento con  $\beta$ -glucosidasa de reacción menos la absorbancia del blanco de reacción

F = Factor de conversión de los valores de absorbancia a  $\mu\text{g}$  de glucosa

$$F = \frac{100 (\mu\text{g de D - glucosa})}{\text{abs. de } 100 \mu\text{g de D - glucosa}}$$

FV = Volumen final (6.4 mL para productos de cereales tostados, cocinados o extrudidos)

0.1 = volumen de muestra analizada

$$\frac{1}{1000} = \text{conversión de } \mu\text{g a mg}$$

$$\frac{100}{W} = \text{factor para expresar el contenido de } \beta$$

– glucano como porcentaje de peso de la muestra

W = peso de la muestra en mg

$$\frac{162}{180} = \text{Factor para convertir D - glucosa libre, a anhidr - D glucosa, como ocurre en } \beta \text{ - glucano}$$

D = dilución adicional antes de la incubación con  $\beta$ -glucosidasa (si es necesario).

$\beta$  - glucano  $\left(\frac{W}{W} \%\right)$  (base seca)

$$= \beta \text{ - glucano } \left(\frac{W}{W} \%\right) \times \frac{100}{100 - \text{contenido de humedad } (\%)}$$

## 6. Determinación de la capacidad antioxidante

### a. Método DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil)

#### 1) Extracción de la muestra

Para la realización de esta prueba, se empleó el mismo extracto utilizado en la determinación de compuestos fenólicos (extracto hidrofílico EHF) y carotenoides totales (extracto lipofílico ELF).

#### 2) Curva de calibración

Para llevar a cabo la determinación de la capacidad antioxidante (CAO) por el método del radical 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 2.4 a 3 mg de radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) y se aforó a 100 mL de metanol, para así obtener una solución madre de aproximadamente 1000 ppm. 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.

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. De igual manera, se determinó la absorbancia ( $A_0$ ) de un control que contenía 100  $\mu$ L de metanol y 2900  $\mu$ L de radical DPPH. Posteriormente, a tubos PYREX de vidrio se le adicionaron 100  $\mu$ L de cada dilución y 2900  $\mu$ L del radical DPPH con la absorbancia fijada. Después se mezclaron por 10 seg con vortex, se dejaron reposar por 30 min en oscuridad, y se leyó la absorbancia ( $A$ ) a 515 nm. El porcentaje 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 la muestra

Una vez calculado el porcentaje de inhibición, se elaboró una gráfica en función de la concentración de las soluciones de trolox. El valor de la capacidad antioxidante equivalente trolox (CAET) fue calculado mediante el análisis de regresión, utilizando la ecuación que relacionó la concentración de trolox con el % de inhibición.

### **3) Medición de capacidad antioxidante**

Para la medición de la actividad antioxidante en los diferentes tratamientos se determinó la absorbancia ( $A_0$ ) de un control que contenía 100  $\mu$ L de metanol y 2900  $\mu$ L de radical DPPH. Asimismo, en diferentes tubos PYREX de vidrio se adicionaron 100  $\mu$ L

del extracto de la muestra y 2900  $\mu\text{L}$  del radical DPPH. Se dejaron reposar por 30 min en oscuridad y se leyó la absorbancia a 515 nm, se procedió a calcular la CAET mediante el análisis de regresión mostrado en el apartado anterior y por la comparación con la curva de calibración. Los valores de capacidad antioxidante fueron reportados en  $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g b.h.}$

### **C. EVALUACIÓN SENSORIAL**

Los cereales para desayuno fueron evaluados usando 31 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 cada tratamiento, donde se evaluaron los atributos: sabor, color, textura y aceptabilidad global, haciendo uso de una escala LAM (Labeled Affective Magnitude) (ANEXO 1), la cual es una escala bidireccional de 100 mm con una descripción verbal con rangos que van desde -100 (máximo valor de disgusto imaginable) hasta +100 (máximo valor de gusto imaginable), en donde cero corresponde a “ni me gusta, ni me disgusta”. Posteriormente, estos valores fueron transformados a una escala de 0 a 100 [0 = máximo valor de disgusto imaginable; 100 = máximo valor de gusto imaginable, donde 50 = ni me gusta, ni me disgusta] (Cardello y Schutz 2004). Esta transformación se realizó para poder obtener modelos matemáticos de predicción para cada uno de los atributos (sabor, textura, color, y aceptabilidad global). Esta prueba permitió a los panelistas manifestar su grado de aceptación por el producto. Las muestras se presentaron en orden aleatorio y fueron evaluadas con luz del día a media mañana, en diferentes días.

## D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### 1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental central compuesto rotatable de segundo orden con un valor  $\alpha = 1.414$  (**Cuadro 5**), teniendo como variables independientes la temperatura de extrusión (TE, °C) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN, %), con cinco niveles cada una, obteniendo un total de 13 tratamientos (**Cuadro 6**). Estos niveles de las variables independientes fueron elegidos de acuerdo a pruebas preliminares. Se utilizó la metodología de superficie de respuesta (MSR) para encontrar las condiciones óptimas de procesamiento mediante el método numérico, en los intervalos de las variables anteriormente mencionadas, que proporcionen un cereal para desayuno con buenas características de textura y nutrimentales.

### 2. Análisis de datos

Para la regresión múltiple (MSR) y predicción del comportamiento experimental de los datos, se utilizaron los modelos cuadráticos con el programa estadístico Design Expert (Stat-Ease, 2008) versión 7.0.

El modelo matemático fue:

$$Y_i = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_1^2X_1^2 + b_2^2X_2^2 + b_1b_2X_1X_2$$

donde  $Y_i$  es la respuesta genérica,  $X_1$  es la temperatura de extrusión y  $X_2$  es el contenido de harina subproductos de naranjita y  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_1^2$ ,  $b_2^2$  y  $b_1b_2$  son los coeficientes de regresión. Las comparaciones de medias se realizaron con la prueba LSD, utilizando el programa estadístico Design Expert (Stat-Ease, 2008) versión 7.0.

**Cuadro 5.** Factores y niveles de variación del diseño experimental central compuesto rotatable, de dos variables independientes: temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) ( $\alpha= 1.414$ ).

<b>Factores</b>	<b>(-<math>\alpha</math>)</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>(+<math>\alpha</math>)</b>
<b>TE</b>	88.79	95	110	125	131.21
<b>CHN</b>	0.636	2.5	7	11.5	13.36

**Cuadro 6.** Diseño experimental del estudio de extrusión para dos factores.

Tratamiento	Variables independientes			
	Codificadas		Decodificadas	
	X1	X2	TE (°C)	HSN (%)
1	-1	-1	95.00	2.50
2	1	-1	125.00	2.50
3	-1	1	95.00	11.50
4	1	1	125.00	11.50
5	-1.414	0	88.79	7.00
6	1.414	0	131.21	7.00
7	0	-1.414	110.00	0.64
8	0	1.414	110.00	13.36
9	0	0	110.00	7.00
10	0	0	110.00	7.00
11	0	0	110.00	7.00
12	0	0	110.00	7.00
13	0	0	110.00	7.00

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. ESTUDIO PRELIMINAR

Se realizó un estudio preliminar para definir las condiciones de procesamiento en el presente trabajo. Primeramente, se llevaron a cabo pruebas para fijar el contenido de humedad (CH) a utilizar durante la elaboración de los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF), realizándose tratamientos con CH de 18, 24, 30 y 34%. Se obtuvo como resultado que al utilizar un CH de 18%, los CPDAF no presentaban propiedades de cocción adecuadas, además de que las muestras mostraban problemas para fluir en el extrusor. Por otro lado, al utilizar un CH de 34%, los CPDAF presentaban alto grado de expansión, lo cual era una característica no deseada, además de que los productos se apelmazaban y fluían de forma lenta en el extrusor. Al utilizar CH de 24 y 30% se obtuvieron CPDAF con mejores características, sin embargo, cuando fueron combinados estos CH con temperaturas de extrusión (TE) elevadas, los productos obtenidos a CH de 24% mostraban características no apropiadas de cocción (crudos). No obstante, los CPDAF obtenidos a CH de 30% mostraron características apropiadas de cocción, de porosidad y fragilidad, semejantes a productos comerciales. Por lo anterior, se decidió fijar un CH de 30% para los diferentes tratamientos. Por otro lado, en las pruebas para fijar los niveles del factor de estudio TE, se encontró que en un rango de 90 a 120 °C, los CPDAF presentaban las mejores características, ya que a TE por debajo de 90 °C, no se presentaban propiedades adecuadas en los productos, se mostraban crudos y quebradizos, mientras que al utilizar TE mayores a 120 °C se podría haber afectado el contenido de compuestos bioactivos presentes en estos cereales. Para el caso del factor de estudio contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN), se estableció un

intervalo de 0 a 14%, debido a que niveles mayores, las características sensoriales de los CPDAF se vieron afectadas, mostrando un sabor amargo y astringente característico de la cáscara de este fruto, debido, probablemente al alto contenido de compuestos fenólicos presentes en HSN, no deseable para este tipos de cereales.

## **B. CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA**

### **1. Análisis químico proximal**

En el análisis de la composición química de las materias primas (**Cuadro 7**) utilizadas para la elaboración de los cereales para desayuno, se encontró que la composición química del salvado de trigo y salvado de avena fue muy similar a la reportada por la FAO (2015), de igual forma, la composición proximal de los grits de maíz amarillo fue similar a la reportada por Pérez-Silva (2009). Asimismo, la harina de subproductos de naranjita (HSN) presentó menores valores para proteína y extracto etéreo que los reportados por Ruiz-Armenta (2015), mientras que en relación al contenido de cenizas y carbohidratos, presentó valores mayores. Estas diferencias pueden deberse a las características de la materia prima, que estas fueron cosechadas en diferentes años, y épocas, presentándose diferentes condiciones climáticas, además de que las condiciones de siembra para el fruto de naranjita no se encuentran estandarizadas.

### **2. Tamaño medio de partícula**

En el **Cuadro 8** se muestra el tamaño medio de partícula (TMP) del salvado de trigo (ST), salvado de avena (SA), grits de maíz amarillo (GMA) y harina de

**Cuadro 7.** Composición proximal (b.s) de las materias primas utilizadas para la elaboración de CPDAF.

Compuesto	Materias primas			
	ST	SA	GMA	HSN
<b>Humedad (%)</b>	8.28 ±0.08	9.73±0.08	12.95±0.04	16.47±0.06
<b>Ceniza (%)</b>	9.19±0.18	2.36±0.03	0.52±0.02	4.19±0.04
<b>E.E (%)</b>	2.23±0.025	5.42±0.09	1.01±0.09	0.61±0.05
<b>Proteína (%)</b>	13.42±0.25	12.83±0.51	6.56±0.44	6.56±0.44
<b>Carbohidratos<sup>1</sup> (%)</b>	75.16	79.39	91.91	88.64

ST = Salvado de trigo

SA = Salvado de avena

GMA = Grits de maíz amarillo

HSN = Harina de subproductos de naranjita

E.E = Extracto etéreo

<sup>1</sup> = Calculo por diferencia de 100

Media ± desviación estándar

b.s = Base seca

**Cuadro 8.** Distribución del tamaño medio de partícula ( $\mu\text{m}$ ) de las materias primas utilizadas en la elaboración de CPDAF.

# Malla	Abertura ( $\mu\text{m}$ )	ST (g)	SA (g)	HSN (g)	GMA(g)
20	840	0.04	0	0.04	2.44
40	420	0.94	0.67	31.27	86.66
60	250	20.79	69.08	28.44	4.03
80	177	11.58	15.06	13.3	1.93
100	149	17.54	8.08	7.86	0.84
200	74	39.15	3.58	15.92	2.27
<200	<74	9.96	3.53	3.17	1.83
TMP		139.23	219.47	252.15	402.24

ST= Salvado de trigo

SA= Salvado de avena

GMA= Grits de maíz amarillo

HSN= Harina de subproductos de naranjita

TMP= Tamaño medio de partícula

subproductos de naranjita (HSN), obteniendo valores promedio para ST de  $\approx 139.23$   $\mu\text{m}$ , SA  $\approx 219.47$   $\mu\text{m}$ , GMA  $\approx 402.24$   $\mu\text{m}$ , y HSN  $\approx 252.15$   $\mu\text{m}$ . Diferentes autores relacionan el tamaño de partícula sobre diferentes propiedades de los productos extrudidos, reportando que a tamaños de partícula pequeños se presentan altas características de expansión, y disminuye la fuerza de corte (Desrumaux y col1998).

En cereales para desayuno altos en fibra se busca que el TMP de las materias primas permita la unión de dichos productos sin que se compacten completamente, ya que estos productos se caracterizan por la fibra que existe en ellos. Por lo cual, al utilizar materias primas con un TMP igual se obtendría un producto compacto, lo cual no es una característica adecuada para dicho producto.

### **3. Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua**

Se realizaron análisis de índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA) en las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión, encontrando valores de IAA para salvado de trigo de 2.48 g de agua absorbida/g sólidos secos (g.a.a/g.s.s), y de ISA de 15.73%. En el caso de salvado de avena y grits de maíz amarillo, se obtuvieron valores de IAA de 1.63 y 2.05 g.a.a /g.s.s e ISA de 10.79 y 3.40%, respectivamente. Asimismo, la harina de subproductos de naranjita (HSN) presentó los mayores valores dentro de IAA (9.70 g.a.a/g.s.s) y de ISA (49.62%) dentro de las materias primas, como se muestra en el **Cuadro 9**.

**Cuadro 9.** Índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua de las materias primas utilizadas en el proceso de extrusión para la elaboración de CPDAF.

Muestra	IAA (g.a.a/g.s.s)	ISA (%)
ST	2.48 ± 0.16	15.73 ± 0.34
SA	1.63 ± 0.09	10.79 ± 0.29
GMA	2.05 ± 0.18	3.40 ± 0.21
HSN	9.70 ± 0.06	49.62 ± 0.01

ST= Salvado de trigo

SA= Salvado de avena

GMA= Grits de maíz amarillo

HSN= Harina de subproductos de naranjita

Media ± desviación estándar

Ruiz-Armenta (2015) obtuvo valores similares de IAA e ISA, para HSN, reportando valores de  $9.31 \pm 0.36$  g.a.a/g.s.s y de  $44.99 \pm 0.33$  %, respectivamente. Los altos valores de IAA de la HSN pudieron deberse a que la naranjita es una fuente rica de fibra dietaria soluble (FDS), como gomas, mucilagos y pectinas, las cuales presentan altas propiedades de absorción de agua. Igualmente, los valores de ISA en HSN pudieron deberse a que la naranjita presenta un alto contenido de fibra dietaria insoluble (cáscara 48.5%, pulpa 15.62%) (Calderón-Arredondo 2012), por lo cual este tipo de fibra pudo verse afectada durante el proceso de secado al que fueron expuestos los subproductos de dicho fruto, cambiando la estructura de algunos polímeros, degradándolos a azúcares más simples y con ello, aumentando la solubilidad de las HSN.

### **C. ESTUDIO DE EXTRUSIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE CPDAF**

Una vez 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 principales se discuten a continuación.

En el **cuadro 10** se muestra el análisis de varianza para las diferentes respuestas físicas, fisicoquímicas, fitoquímicas, y sensoriales de los CPDAF. Se encontró que todos los parámetros evaluados mostraron un modelo de regresión significativo ( $p < 0.004$ ), con valores de  $R^2_{ajustada} \geq 0.75$ , coeficientes de variación (CV)  $\leq 7.09$ , y no presentaron falta de ajuste ( $p > 0.05$ ).

**Cuadro 10.** Análisis de varianza de las respuestas analizadas de cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita (*Citrus mitis*).

Respuesta	R <sup>2</sup> <sub>ajustada</sub>	CV (%)	Valor F	p de F (modelo)	Falta de ajuste
IE	0.99	0.90	238.98	<0.0001	0.113
DA (kg/m <sup>3</sup> )	0.81	3.18	11.03	0.0032	0.066
IAA (gaa/gss)	0.82	2.33	11.77	0.0027	0.380
ISA (%)	0.97	1.65	92.51	<0.0001	0.903
σ (MPa)	0.85	7.09	14.78	0.0013	0.160
CT (μg/g b.s)	0.99	4.95	208.39	<0.0001	0.240
FDT (%)	0.98	1.74	82.09	<0.0001	0.572
AG	0.75	2.91	13.06	0.0013	0.891

CV = Coeficiente de variación

DA = Densidad aparente

IE = Índice de expansión

IAA = Índice de absorción de agua

ISA = Índice de solubilidad en agua

σ = Esfuerzo de flexión

CT = Carotenoides totales

FDT = Fibra dietaria total

AG = Aceptabilidad global

## 1. Índice de expansión

En el análisis de la variable de respuesta índice expansión (IE), se utilizó un modelo cuadrático, obteniendo un valor de  $R^2_{ajustada} = 0.99$  y  $CV = 0.90\%$ , sin presentar falta de ajuste ( $p = 0.113$ ) (**Cuadro 10**). De acuerdo con el análisis estadístico para la variable de respuesta IE (**Cuadro 11**), se encontró que el factor temperatura de extrusión (TE), presentó efecto significativo ( $p < 0.001$ ) en su término lineal ( $b_1$ ) y cuadrático ( $b_1^2$ ). Asimismo, el contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN), sólo presentó efecto significativo ( $p = 0.046$ ) en su término cuadrático ( $b_2^2$ ). En el análisis de las interacciones, se obtuvo que sólo las interacciones TE\*HSN ( $p = 0.009$ ) y TE<sup>2</sup>\*HSN ( $p = 0.007$ ) fueron significativas.

El modelo cuadrático empleado para el análisis de la variable de respuesta IE, puede ser utilizado para navegar en la superficie del diseño experimental.

En la **Figura 4** se muestra el efecto de la TE y HSN sobre el IE de los cereales para desayuno altos en fibra. Se puede observar que los menores valores de IE ( $< 1.12$ ) se encontraron a altas TE, en todo el rango de contenidos de HSN. Esto pudo deberse que a altas TE, se pudo haber presentado una disminución en la viscosidad de las mezclas en el extrusor, disminuyendo el tiempo de residencia, y provocando una menor modificación en la estructura de polímeros como el almidón, produciéndose una menor captación de agua en los productos, por lo cual afectó su disponibilidad para utilizarse como vehículo de expansión al salir del extrusor (Moraru y Kokini 2003). Lo anterior, también pudo ser causado por los altos contenidos de humedad utilizados, los cuales pudieron tener un efecto lubricante, provocando un menor esfuerzo de corte, y una disminución en el calor liberado por fricción, por lo que la severidad del proceso

**Cuadro 11.** Coeficientes de regresión del modelo y nivel de significancia para las variables de respuestas de los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita (*Citrus mitis*)

Respuesta	Coeficientes							
	Intercepto	Lineales		Cuadráticos		Interacción		
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_1^2$	$b_2^2$	$b_1b_2$	$b_1^2b_2$	$b_1b_2^2$
DA	-867.25	26.13	15.74	-0.09	1.19	-0.32	--	--
		(<0.01)	(0.18)	(0.08)	(0.05)	(0.14)		
IE	8.11	-0.12	-0.38	4.88	4.77	6.5	-2.83	--
		(<0.01)	(0.10)	(<0.01)	(0.05)	(<0.01)	(<0.01)	
IAA	-9.87	0.23	1.88	-8.86	-0.13	-0.02	--	1.11
		(0.04)	(0.02)	(<0.01)	(<0.01)	(0.78)		(0.02)
ISA	35.23	-0.35	-0.06	1.37	--	3.97	--	--
		(<0.01)	(<0.01)	(<0.01)		(0.07)		
$\Sigma$	-61.3	1.17	0.19	-4.8	0.02	-4.16	--	--
		(<0.01)	(0.52)	(<0.01)	(0.15)	(0.36)		
CT	1.66	-5.57	-0.31	--	0.01	5.51	--	--
		(<0.01)	(<0.01)		(<0.01)	(<0.01)		
FDT	-33.52	0.92	0.59	-4.63	0.31	-0.05	4.69	-3.47
		(<0.01)	(0.15)	(0.02)	(<0.01)	(<0.01)	(0.04)	(<0.01)
AG	28.75	0.2	1.22	--	-0.09	--	--	--
		(<0.01)	(0.81)		(0.01)			

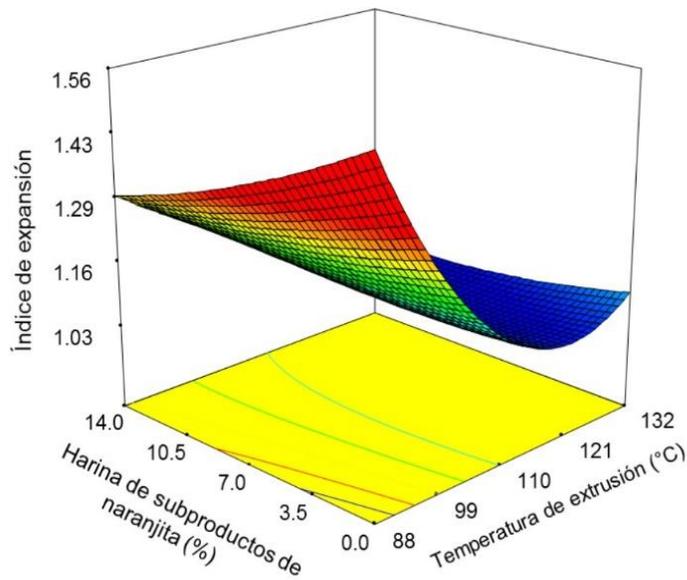
$b_0$  = Intercepto

$b_1$  = Temperatura de extrusión

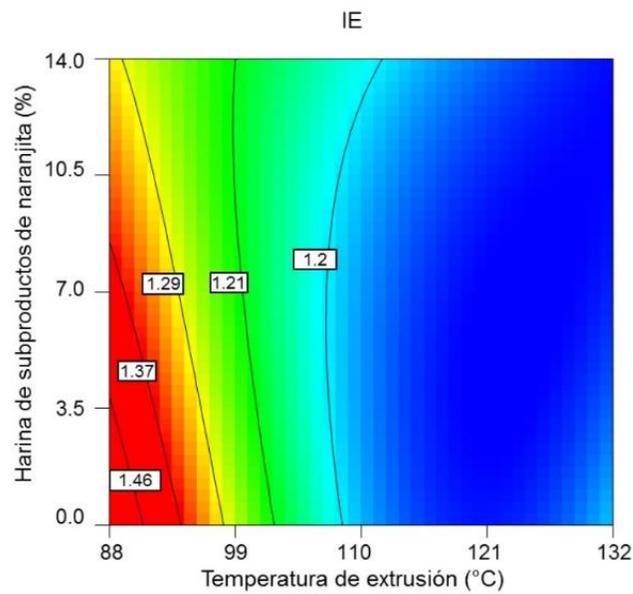
$b_2$  = Contenido de harina de subproductos de naranjita

-- = Términos que no participan en el modelo

() = Valor  $p$



A



B

**Figura 4.** Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el índice de expansión (IE) de los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF). (A) Superficies; (B) Contornos.

disminuyó. Asimismo, puede observarse a bajas TE ( $< 99\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), que conforme se aumentaron los niveles de HSN, los valores de IE tendieron a disminuir. Esto pudo deberse al alto contenido de fibra dietaria presente en las materias primas, lo cual pudo haber reducido la expansión, debido a que la fibra dietaria puede provocar que las paredes celulares colapsen durante la formación de burbujas de aire, reduciendo la habilidad de retener aire en el interior de la pared celular y, por lo tanto, reducir la expansión (Delgado-Nieblas 2012). Asimismo, el alto contenido de aceites esenciales en HSN, podría haber causado un efecto lubricante disminuyendo la severidad del proceso, y el IE.

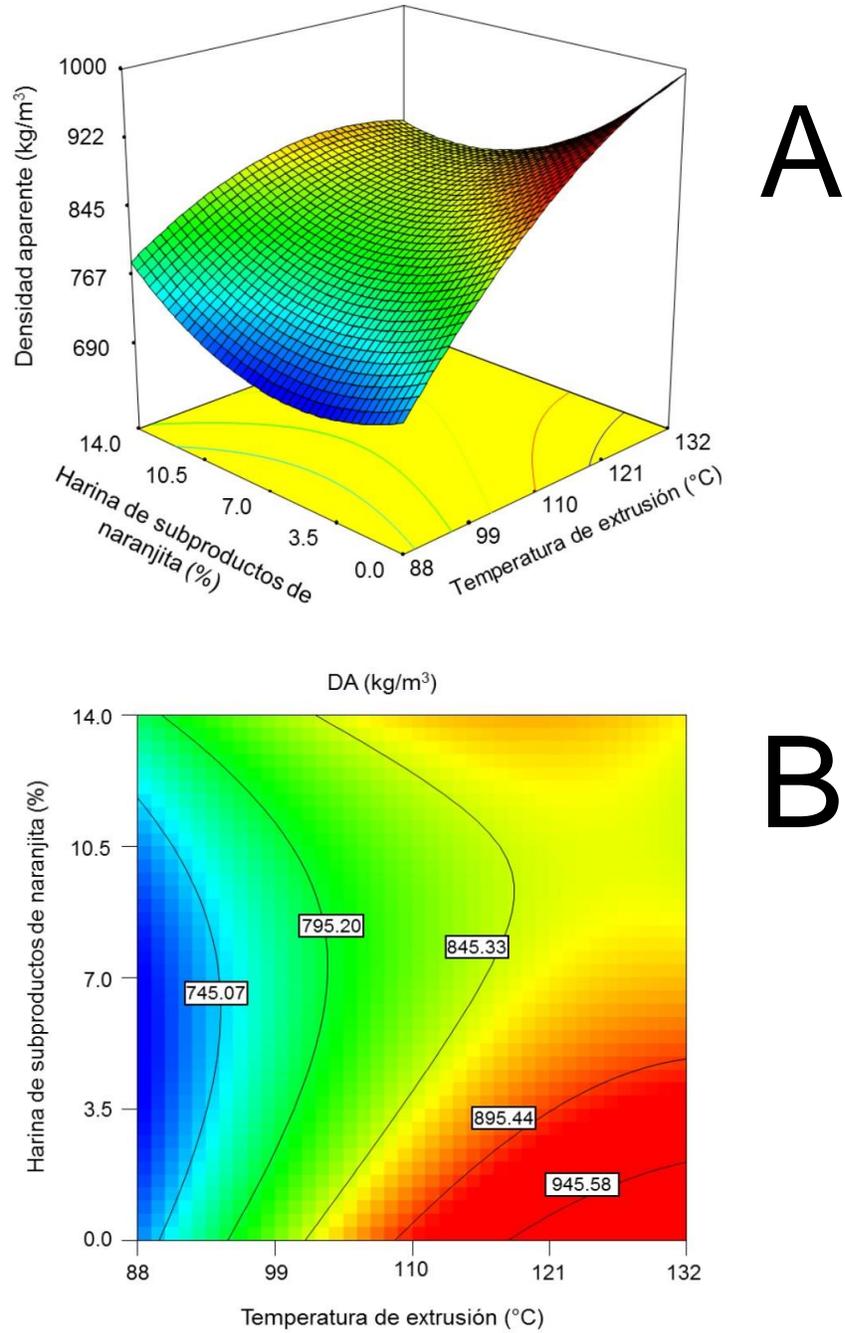
Urias-Ruelas (2011) encontró este mismo comportamiento en alimentos botana directamente expandidos elaborados a partir de maíz, y adicionados con harinas de calabaza Cehualca, reportando que al utilizar altos CH, cuando los niveles de TE incrementaron, el IE disminuyó.

## **2. Densidad aparente**

Para el análisis de esta respuesta se utilizó un modelo cuadrático, obteniendo un valor de  $R^2_{\text{ajustada}} = 0.81$  y  $\text{CV} = 3.18\%$ , sin presentar falta de ajuste ( $p = 0.066$ ) (**Cuadro 10**). De acuerdo con el análisis estadístico para esta variable de respuesta (**Cuadro 11**), se encontró que el factor de temperatura de extrusión (TE), sólo presentó efecto significativo ( $p = 0.004$ ) en su término lineal ( $b_1$ ). Asimismo, el contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN), sólo presentó efecto significativo ( $p = 0.047$ ) en su término cuadrático ( $b_2^2$ ). El modelo cuadrático empleado para esta variable de respuesta puede ser utilizado para navegar en la superficie del diseño experimental.

En la **Figura 5** se muestra el efecto de la TE y HSN sobre la densidad aparente (DA) de los cereales para desayuno altos en fibra. Puede ser observado que los mayores valores de DA ( $> 900 \text{ kg/m}^3$ ) se encontraron a altas TE ( $>121 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y bajos contenidos de HSN ( $< 3\%$ ). Esto pudo deberse a una mayor fluidez, y al efecto lubricante proporcionado por la humedad, lo cual pudo haber causado una disminución del daño mecánico, ocasionando que las burbujas de aire colapsaran, y se obtuvieran productos más compactos y duros. Esto coincide con lo reportado por Ding y col (2006), quienes en alimentos expandidos elaborados con trigo, encontraron que a altos contenidos de humedad y conforme fue incrementada la TE los valores de densidad aparente aumentaron. Esto lo atribuyeron a que en estas condiciones se presentó una menor gelatinización del almidón causando una menor expansión y mayor densidad aparente. Asimismo, en el presente estudio, este comportamiento puede correlacionarse con los valores bajos de índice de expansión (IE) presentados por los CPDAF en estas mismas condiciones. De acuerdo con Ascheri y col (1995) la DA se encuentra inversamente correlacionada con el IE.

Oliveira y col. (2007) encontró este mismo comportamiento en productos directamente expandidos elaborados a partir de quinua y sémola de maíz, encontrando que a altas TE ( $140 \text{ }^\circ\text{C}$ ), y altos contenidos de humedad, se observaban los mayores valores de DA.



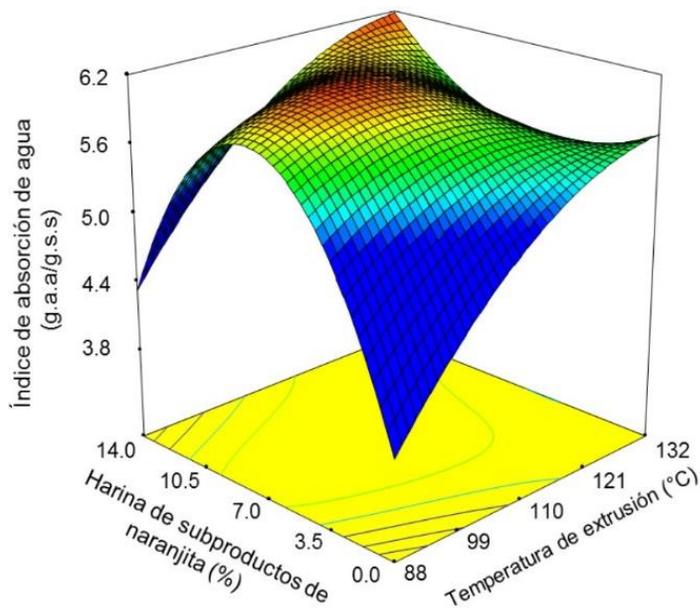
**Figura 5.** Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre la densidad aparente (DA) de los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF). (A) Superficies; (B) Contornos.

### 3. Índice de absorción de agua

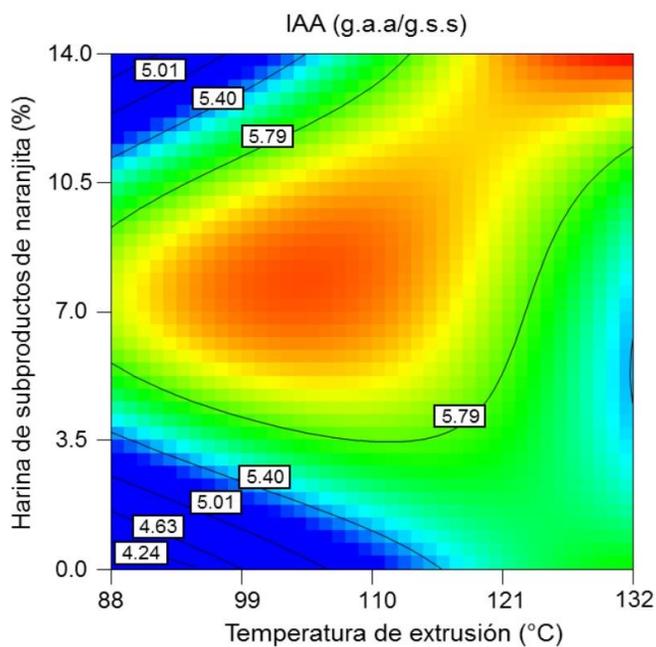
En el análisis de la variable de respuesta índice de absorción de agua (IAA) se utilizó un modelo cuadrático obteniendo un valor de  $R^2_{ajustada} = 0.82$  y  $CV = 2.33\%$ , sin presentar falta de ajuste ( $p = 0.380$ ) (**Cuadro 10**). De acuerdo con el análisis estadístico (**Cuadro 11**), se encontró que el factor temperatura de extrusión (TE), presentó efecto significativo ( $p = 0.044$ ) tanto en su término lineal ( $b_1$ ), como en su término cuadrático ( $b_1^2$   $p = 0.011$ ). Igualmente, el contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN), presentó efecto significativo ( $p = 0.024$ ) tanto en su término lineal ( $b_2$ ) y en su término cuadrático ( $b_2^2$   $p = 0.003$ ). En el análisis de las interacciones, se encontró que solo la interacción ( $b_1b_2^2$   $p = 0.017$ ) presentó efecto significativo. El modelo cuadrático empleado para el análisis de esta respuesta puede ser utilizado para navegar en la superficie del diseño experimental.

En la **Figura 6** se muestra el efecto de la TE y HSN sobre el IAA de los cereales para desayuno altos en fibra. Puede observarse que los mayores valores de IAA ( $> 6$  g.a./g.s.s) se encontraron a contenidos de HSN  $> 6\%$ , lo cual puede atribuirse a que la HSN es la materia prima que presentó los mayores valores de IAA (9.7 g.a./g.s.s). Asimismo, pueden observarse altos valores de IAA ( $> 6$  g.a./g.s.s), combinando altos contenidos de HSN ( $> 12\%$ ) y altas TE ( $> 121$  °C), lo cual pudo deberse a que en estas condiciones por efectos de las altas TE pudieron ser liberadas algunas gomas y pectinas presentes en HSN, las cuales presentan una alta capacidad de absorción de agua (Calderón-Arredondo 2012).

Arce-Félix (2012) encontró un comportamiento similar en pastas alimenticias extrudidas adicionadas con harina de calabaza cehualca, obteniendo a altos



A



B

**Figura 6.** Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el índice de absorción de agua (IAA) de los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF). (A) Superficies; (B) Contornos.

contenidos de humedad, que conforme se incrementaba la TE, los valores de IAA aumentaban. Esto lo relacionaron a que a altas TE se presentó una mayor fluidez del material, disminuyendo el tiempo de residencia dentro del extrusor, por lo que no se rompió completamente la estructura granular del almidón, produciendo gránulos fragmentados que pudieron absorber agua a temperatura ambiente. De igual forma, Pérez-Murillo (2015) reportó un comportamiento similar en pastas alimenticias extrudidas adicionadas con harinas de cáscara de calabaza cehualca, las cuales se presentaron los mayores valores de IAA combinando altos contenidos de los subproductos utilizados, y altas TE. Esto fue correlacionado con el importante contenido de gomas y pectinas de las harinas de cáscara de calabaza, las cuales por efecto de las altas TE, pudieron liberarse, incrementando la absorción de agua de dichos productos.

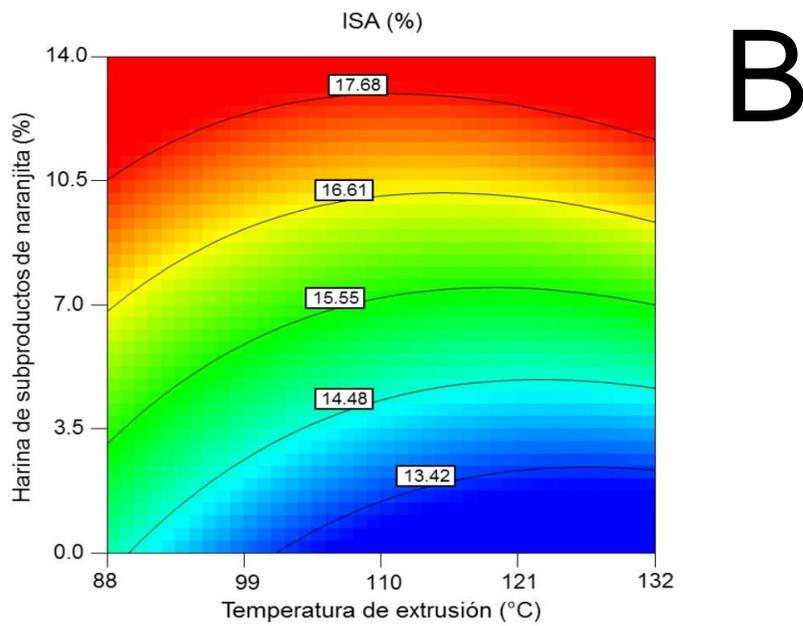
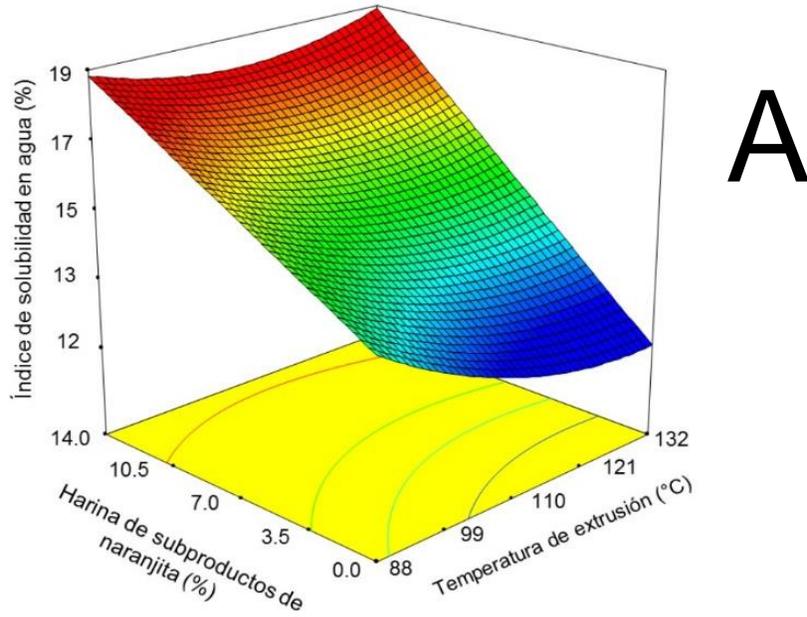
Se llevó a cabo una comparación entre los valores de IAA de los cereales para desayuno altos en fibra obtenidos en el presente trabajo (5.21-6.20 g.a.a/g.s.s) con los valores de un cereal para desayuno comercial. Se encontró que el cereal para desayuno obtenido en la presente investigación presentó menores valores de IAA, lo cual puede ser positivo, ya que esta variable de respuesta es importante para la calidad final de dicho producto. Esto es debido a que, al consumirse este tipo de cereales, al presentarse menores valores de IAA, le proporcionan al producto mayor firmeza por un tiempo mayor, ya que estos productos generalmente son consumidos agregando leche.

#### 4. Índice de solubilidad en agua

Para el análisis de la variable respuesta índice de solubilidad en agua (ISA) se utilizó un modelo cuadrático, obteniendo un valor de  $R^2_{ajustada} = 0.97$  y  $CV = 1.65\%$ , sin presentar falta de ajuste ( $p = 0.903$ ) (**Cuadro 10**). De acuerdo con el análisis estadístico (**Cuadro 11**), se encontró que el factor de temperatura de extrusión (TE) presentó efecto significativo ( $p = 0.003$ ) en su término lineal ( $b_1$ ) y cuadrático ( $b_1^2$   $p = 0.013$ ). Asimismo, el contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN), presentó efecto significativo ( $p < 0.001$ ) en su término lineal ( $b_2$ ). El modelo cuadrático empleado para el análisis de esta respuesta, puede ser utilizado para navegar en la superficie del diseño experimental.

En la **Figura 7** se muestra el efecto de la TE y el contenido de HSN sobre el ISA de los cereales para desayuno altos en fibra. Se puede observar que en todo el rango de TE, conforme se incrementaron los niveles de HSN, aumentaron los valores de ISA. Esto se puede atribuir a un incremento en el contenido de fibra dietaria insoluble por la adición de HSN, la cual por efecto del proceso de extrusión pudo degradarse, generando compuestos más soluble (Calderón-Arredondo 2012). Asimismo, este aumento pudo deberse al valor de solubilidad (49.62%) presentado por la HSN, la cual fue la materia prima que presentó el valor más alto.

Se compararon los valores de ISA presentados en el cereal para desayuno alto en fibra obtenido en el presente trabajo, con respecto a los valores de ISA de un cereal comercial (All-Bran Kelloggs). Se encontró que el cereal comercial presentó un valor de ISA de  $29.72 \pm 1.16\%$ , el cual fue mayor al valor presentado por los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita, los



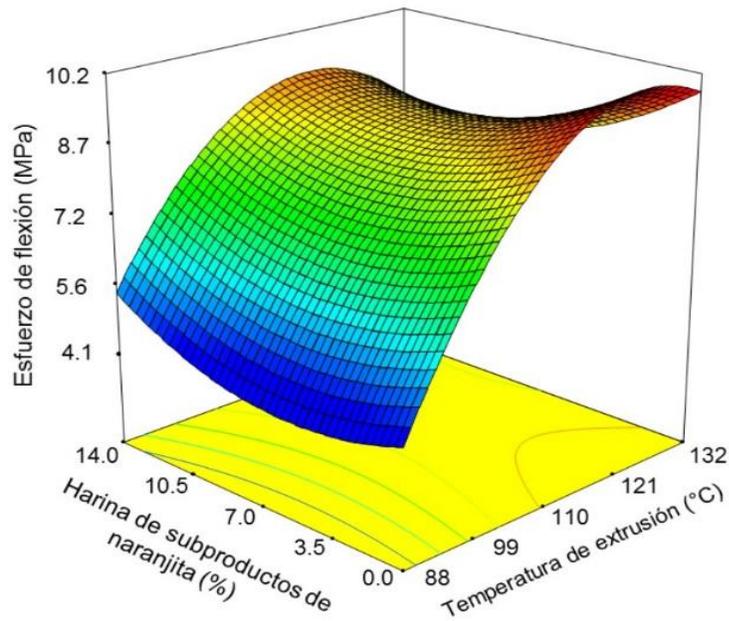
**Figura 7.** Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el índice de solubilidad en agua (ISA) de los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF). (A) Superficies; (B) Contornos.

cuales presentaron valores de ISA en un rango de 13.11 a 17.84%. Lo anterior, se considera positivo dentro de los estándares de calidad de dichos productos, ya que se desean los menores valores de ISA debido a que al consumir dichos productos tradicionalmente se hace con leche, y no se desea un producto que se convierta en harina o polvo al momento de entrar en contacto con dicha sustancia. Asimismo, el alto valor de ISA en el cereal comercial, se puede atribuir al contenido de azúcares presentes en él, ya que estos compuestos son altamente solubles en agua.

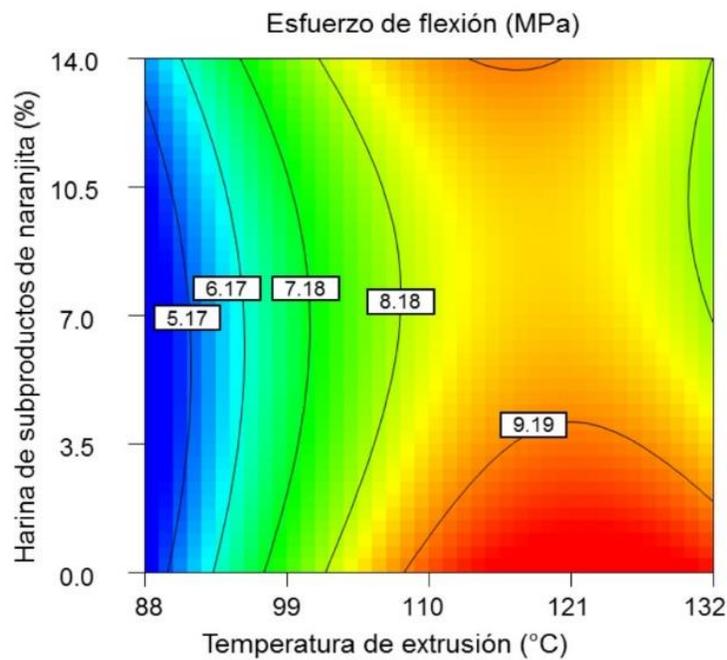
## 5. Esfuerzo de flexión

En el análisis de la variable de respuesta esfuerzo de flexión ( $\sigma$ ), se utilizó un modelo cuadrático obteniendo un valor de  $R^2_{ajustada} = 0.85$  y  $CV = 7.09\%$ , sin presentar falta de ajuste ( $p = 0.160$ ) (**Cuadro 10**). De acuerdo con el análisis estadístico (**Cuadro 11**), se encontró que el factor de temperatura de extrusión (TE) presentó efecto significativo ( $p < 0.001$ ) en su término lineal ( $b_1$ ) y cuadrático ( $b_1^2$   $p = 0.002$ ). Asimismo, tanto el factor contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN), como las interacciones del modelo, no presentaron efecto significativo en ninguno de sus términos. El modelo cuadrático empleado para el análisis de esta respuesta, puede ser utilizado para navegar en la superficie del diseño experimental.

En la **Figura 8** se muestra el efecto de la TE y HSN sobre el  $\sigma$  de los cereales para desayuno altos en fibra. Se puede observar que los menores valores de  $\sigma$  ( $< 5$  MPa) se presentaron a bajas TE ( $< 91$  °C) en todo el rango de HSN. Esto pudo deberse a que en estas condiciones se presentaron los mayores valores de índice de expansión (IE), y menores valores de densidad aparente (DA), por lo cual el producto resultante fue más poroso, presentando mayor facilidad para romperse.



A



B

**Figura 8.** Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el esfuerzo de flexión ( $\sigma$ ) de los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF). (A) Superficies; (B) Contornos.

Hsieh y col (1990) reportaron una importante correlación entre el IE y el esfuerzo de flexión en productos extrudidos, y señalaron que los productos que presentaron mayores IE fueron los que presentaron los menores valores de esfuerzo de flexión. Las fibras generalmente reducen la expansión del producto debido a la ruptura de las paredes celulares antes de que las burbujas de aire de expandan a su tamaño máximo, formándose productos crujientes, duros, compactos, y no con la textura sensorial deseable.

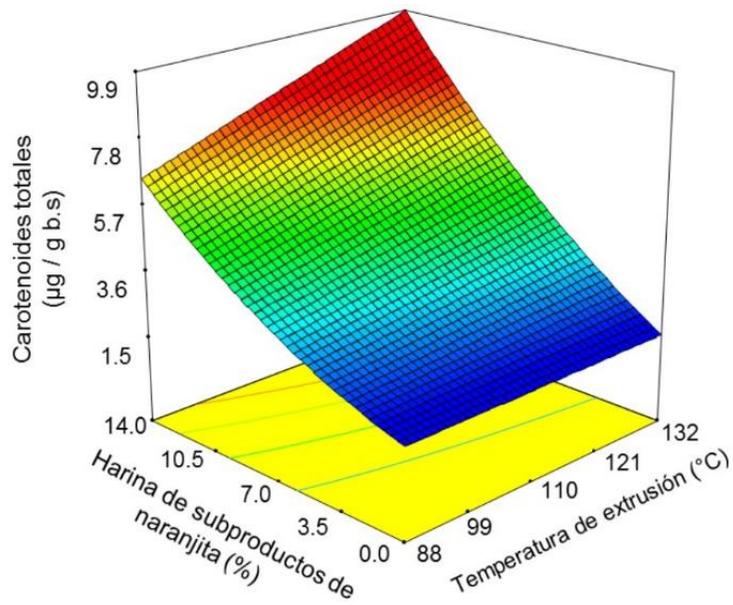
Arce-Félix (2012) evaluó un producto directamente expandido alto en fibra, en el cual encontró un comportamiento similar al del presente trabajo, reportando que a altos contenido de humedad, y al incrementar la TE, el esfuerzo de flexión se incrementó.

## 6. Carotenoides totales

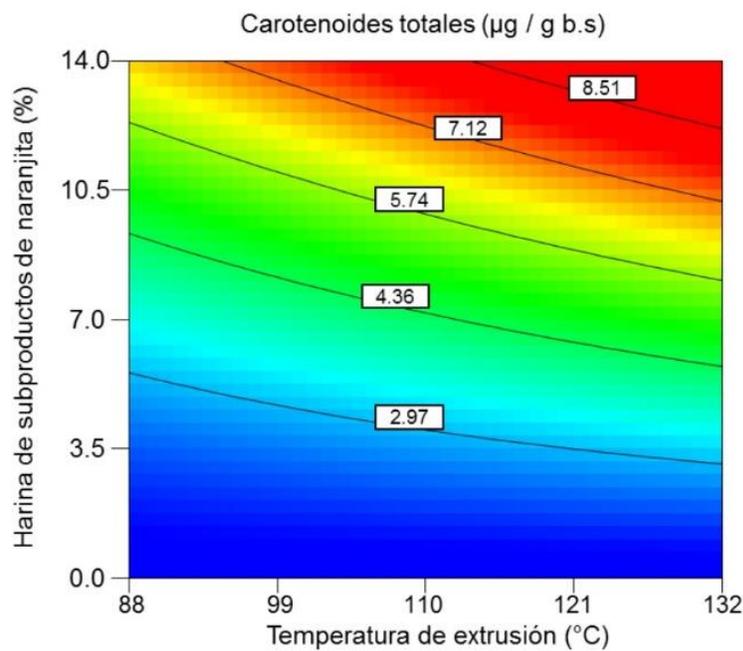
Se utilizó para el análisis del contenido de carotenoides totales (CT) un modelo cuadrático, obteniendo un valor de  $R^2_{ajustada} = 0.99$  y  $CV = 4.95\%$ , sin presentar falta de ajuste ( $p = 0.240$ ) (**Cuadro 10**). De acuerdo con el análisis estadístico (**Cuadro 11**), se encontró que el factor de temperatura de extrusión (TE), presentó efecto significativo ( $p < 0.001$ ) en su término lineal ( $b_1$ ). Asimismo, el factor contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN), presentó efecto significativo tanto en su término lineal ( $b_2$   $p < 0.001$ ), como en su término cuadrático ( $b_2^2$   $p = 0.012$ ). En el análisis de las interacciones, se encontró que sólo la interacción ( $b_1b_2$   $p = 0.009$ ) presentó efecto significativo. El modelo cuadrático empleado para el análisis de esta variable de respuesta, puede ser utilizado para navegar en la superficie del diseño experimental.

En la **Figura 9** se muestra el efecto de la TE y HSN sobre el contenido de CT de los cereales para desayuno altos en fibra. Se puede observar que los mayores valores de CT ( $> 7.5 \mu\text{g/g}$ ) se encontraron a altos niveles de HSN ( $> 12\%$ ) y TE ( $> 121^\circ\text{C}$ ). Esto puede deberse al alto contenido de CT presentado por la materia prima HSN, la cual presentó un contenido de CT =  $335.6 \mu\text{g/g}$  (Ruiz-Armenta 2015). Asimismo, a altas TE, pudo haber disminuido la viscosidad en el extrusor, reduciéndose el tiempo de residencia de las muestras, lográndose una menor exposición al calentamiento, y una mayor retención de estos compuestos (Marty y col 1986). Por otro lado, durante el proceso de extrusión a altas TE se combinan operaciones de calentamiento y cizallamiento que pudieran haber provocado la liberación de CT que se encontraban embebidos en las paredes celulares, aumentando su cuantificación (Jacobo-Valenzuela 2011)

Ruiz-Armenta (2015) elaboró un producto extrudido 3G, adicionado con HSN y maíz amarillo, encontrando un comportamiento similar al reportado en el presente trabajo, reportando que a altas TE y HSN, se encontraron los mayores valores de CT. Por otra parte, Delgado-Nieblas y col (2012) reportaron un comportamiento similar en alimentos botana adicionados con harina de calabaza, en donde al combinar altos contenidos de harina de calabaza y a altas TE, se encontraron los mayores valores de CT.



A



B

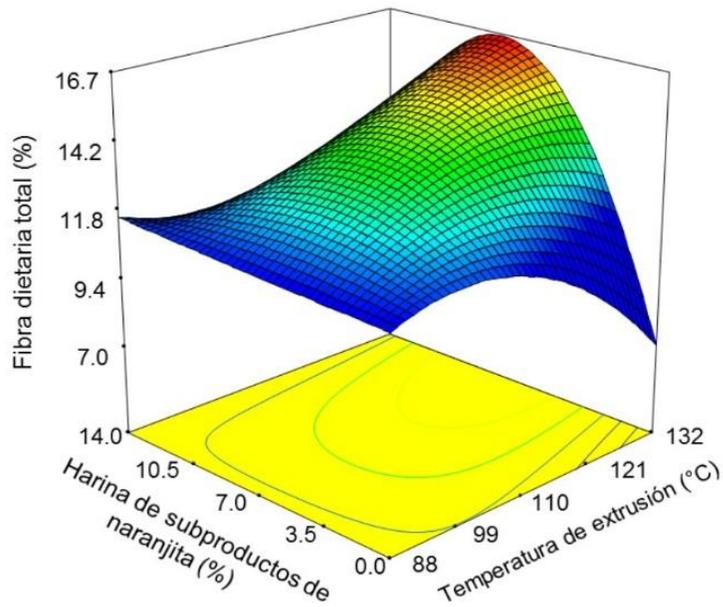
**Figura 9.** Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el contenido de carotenoides totales (CT) de los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF). (A) Superficies; (B) Contornos.

## 7. Fibra dietaria total

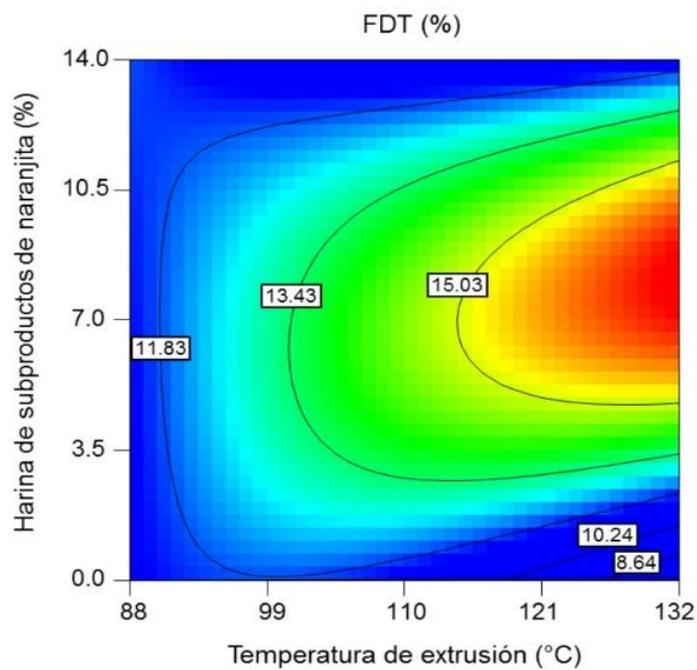
La fibra dietaria son los constituyentes de los alimentos que no se encuentran disponibles para la digestión en el intestino delgado, los cuales llegan al colon, en donde sirven como sustrato para la microflora (Saura-Calixto y Goñi 2004; Juarez-Garcia y col 2006).

Para el análisis de esta variable de respuesta se utilizó un modelo cuadrático, obteniendo un valor de  $R^2_{ajustada} = 0.98$  y  $CV = 1.74\%$ , sin presentar falta de ajuste ( $p = 0.572$ ) (**Cuadro 10**). De acuerdo con el análisis estadístico (**Cuadro 11**), se encontró que el factor de temperatura de extrusión (TE), presentó efecto significativo ( $p < 0.001$ ) en su término lineal ( $b_1$ ) y cuadrático ( $b_1^2$   $p = 0.019$ ). Asimismo, el factor contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN), no presentó efecto significativo en su término lineal, pero sí presentó efecto significativo en su término cuadrático ( $b_2^2$   $p < 0.001$ ). En el análisis de las interacciones, se encontró que las interacciones  $b_1b_2$  ( $p = 0.011$ ),  $b_1^2b_2$  ( $p = 0.036$ ) y  $b_1b_2^2$  ( $p = 0.001$ ) presentaron efecto significativo. El modelo cuadrático empleado para el análisis de esta respuesta puede ser utilizado para navegar en la superficie del diseño experimental.

En la **Figura 10** se muestra el efecto de la TE y HSN sobre el contenido de FDT de los cereales para desayuno altos en fibra. Se puede observar que los mayores valores de FDT ( $> 16\%$ ) se presentaron a altas TE ( $> 125\text{ }^\circ\text{C}$ ) y contenidos de HSN de 6-9%. Esto se pudo deber a que en estas condiciones se presentó un incremento tanto en la fibra dietaria insoluble como de la fibra dietaria soluble de los productos. El incremento de la fibra dietaria insoluble pudo haberse debido a la formación de almidón resistente en las muestras. Por otro lado, la fibra dietaria soluble pudo haberse



A



B

**Figura 10.** Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre el contenido de fibra dietaria total (FDT) de los cereales para desayuno altos en fibra. (A) Superficies; (B) Contornos.

incrementado debido a la solubilidad de una parte de la fibra dietaria insoluble, debido al rompimiento por efecto del proceso de extrusión de moléculas de mayor peso molecular, formándose productos de menor tamaño, con mayor solubilidad (Camire y col 1990). Asimismo, a altas TE, puede observarse un incremento en el contenido de FDT, al incrementarse el contenido de HSN de 0 a 9%, lo cual pudo deberse al importante contenido de fibra dietaria total (44.45%) presentado por HSN.

Oliveira y col. (2015) evaluaron el efecto de la adición de harina de trigo integral y el proceso de extrusión en cereales para desayuno, en el cual encontraron que al incrementar el contenido de harina de trigo integral aumentaba el contenido de FDT.

Sin embargo, a altas TE, al utilizar niveles de HSN superiores a 9%, se observa un decremento en el contenido de FDT lo cual pudiera deberse a que a elevadas SE TE presentí una importante disminución de la FDI, que representa un importante porcentaje del contenido de FDT de HSN. Este decremento en los valores de FDI pudiera deberse a la conversión de FDI en FDS como efecto del proceso de extrusión.

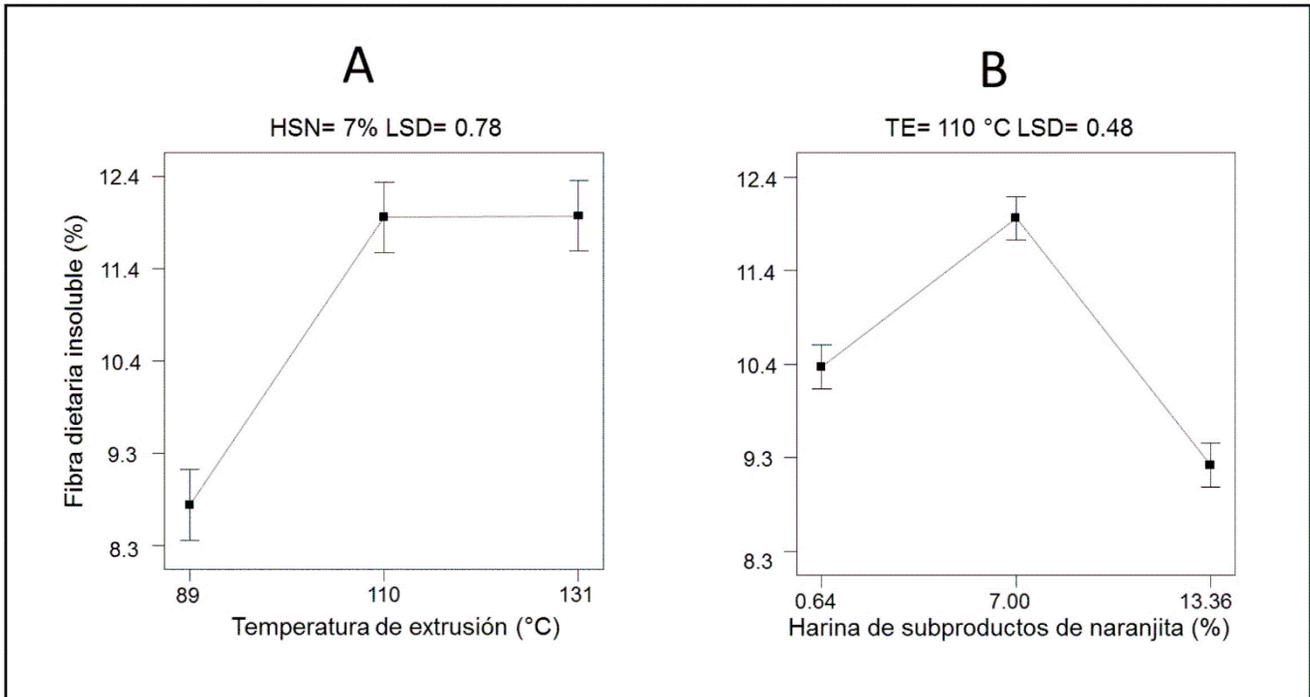
## **8. Fibra dietaria insoluble**

Como resultado del análisis de fibra dietaria insoluble (FDI) en las materias primas utilizadas para la elaboración de cereales para desayuno, se encontró que la harina de subproductos de naranjita (HSN) mostró un contenido de  $33.01 \pm 1.21\%$ . En la **Figura 11 A** se muestra el efecto de la TE (HSN= 7%) sobre el contenido de FDI en los cereales para desayuno obtenidos en los tratamientos axiales ( $\pm\alpha$ ) y centrales del diseño experimental. Se puede observar que los mayores valores de FDI se presentaron a niveles intermedios y altos de TE. Este comportamiento pudiera deberse a que la TE pudo haber causado una redistribución de parte de la fibra insoluble, lo

cual pudiera haber liberado hemicelulosa durante el procesamiento de las muestras extrudidas, aumentando la FDI (Camire y col 1990). Asimismo, el incremento en el contenido de FDI al aumentar la TE pudiera deberse a la formación de almidón resistente.

En la **Figura 11 B** se puede observar el efecto del contenido de HSN (TE= 110 °C) sobre el contenido de FDI de los cereales para desayuno altos en fibra. Puede observarse que al incrementar HSN en niveles de 0.64 a 7%, el contenido de FDI tiende a aumentar, sin embargo, a niveles superiores a 7%, el contenido de FDI disminuye drásticamente. Esto pudiera deberse a que al incrementar la HSN las gomas y pectinas presentes en la muestra en conjunto con la humedad, hacen fluir más rápido la muestra por lo que la severidad del proceso disminuye.

Méndez-García y col (2011) estudiaron el efecto del proceso de extrusión sobre el contenido de fibra dietaria en subproductos de limón, encontrando que a niveles fijos de CH y velocidad de tornillo, conforme se incrementó la TE, el contenido de FDI disminuyó.

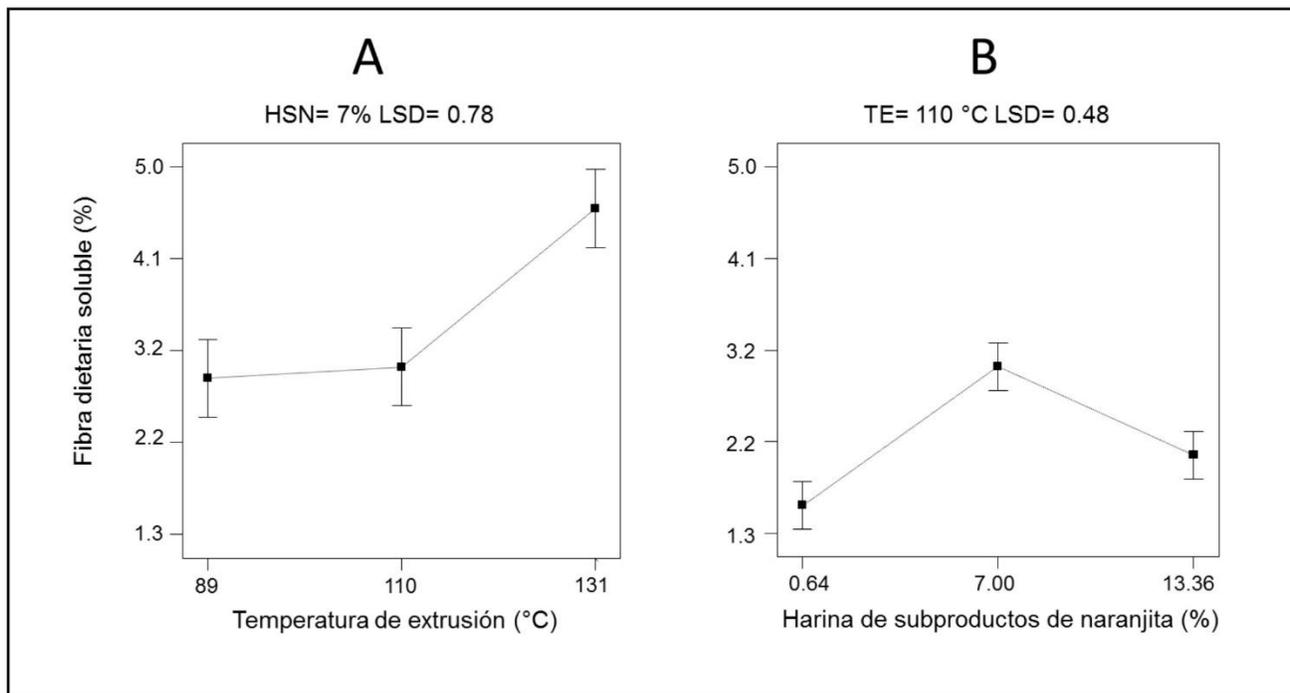


**Figura 11.** Efecto de la temperatura de extrusión (Figura A, HSN= 7%), y contenido de harina de subproductos de naranjita (Figura B, TE= 110°C) sobre el contenido de fibra dietaria insoluble en cereales para desayuno altos en fibra (LSD,  $\alpha= 0.05$ ).

## 9. Fibra dietaria soluble

Como resultado del análisis de fibra dietaria soluble (FDS) en las materias primas utilizadas para la elaboración de cereales para desayuno, se encontró que la harina de subproductos de naranjita (HSN) mostró un contenido de  $11.64 \pm 0.52\%$ . En la **Figura 12 A** se muestra el efecto de la TE (HSN= 7%) sobre el contenido de FDS en los cereales para desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión en los tratamientos axiales ( $\pm\alpha$ ) y centrales del diseño experimental. Se puede observar que los mayores valores de FDS se presentaron al incrementar la TE. Este comportamiento pudiera deberse a que la TE pudo haber solubilizado parte de la fibra dietaria insoluble, aumentando así el contenido de FDS. Asimismo, la TE podría haber inducido la rotura de los enlaces moleculares, liberando fibra soluble que puede estar enlazada de forma natural al almidón u otros componentes (Camire y col 1990).

Vasantha y col (2002) estudiaron el efecto del proceso de extrusión sobre el contenido de fibra dietaria de dos variedades de avena, encontrando que los mayores valores de FDT y FDS fueron a altas TE ( $140^{\circ}\text{C}$ ) y altos CH (50%), lo cual es similar a lo encontrado en el presente trabajo. Asimismo, en la **Figura 12 B** se puede observar el efecto del contenido de HSN (TE=  $110^{\circ}\text{C}$ ) sobre el contenido de FDS de los cereales para desayuno, puede apreciarse que al incrementar HSN de de 0.64 a 7%, el contenido de FDS aumentó, sin embargo, al incrementar el contenido de HSN (< 7%) el contenido de FDS disminuye. Esta disminución podría deberse a que al incrementar la HSN, se incrementó la fluidez del material en el extrusor, debido a una mayor interacción entre el material soluble presente en las muestras (gomas, pectinas), y la humedad de las mezclas. Lo anterior, pudo haber causado una menor severidad del



**Figura 12.** Efecto de la temperatura de extrusión (**Figura A**, HSN= 7%), y contenido de harina de subproductos de naranjita (**Figura B**, TE= 110°C) sobre el contenido de fibra dietaria soluble en cereales para desayuno altos en fibra (LSD,  $\alpha= 0.05$ ).

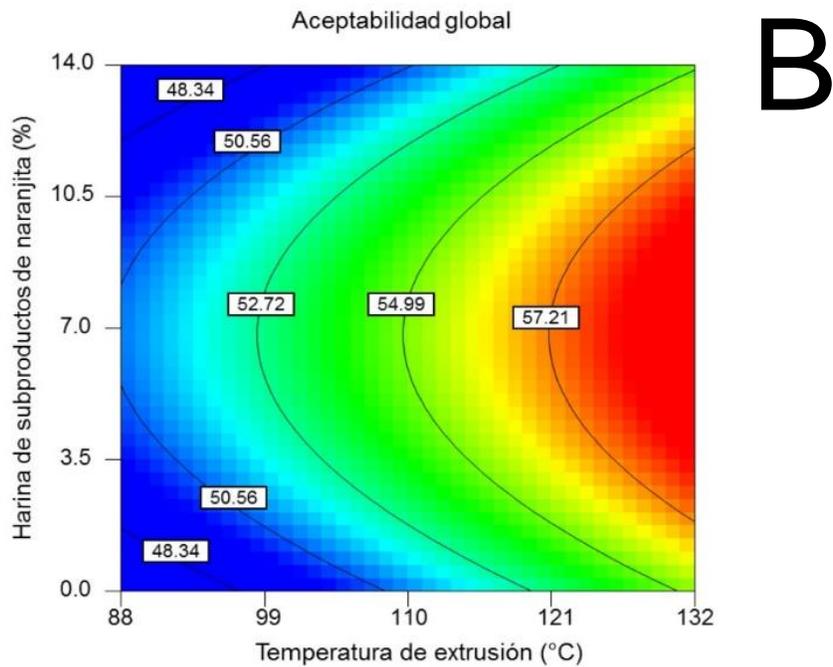
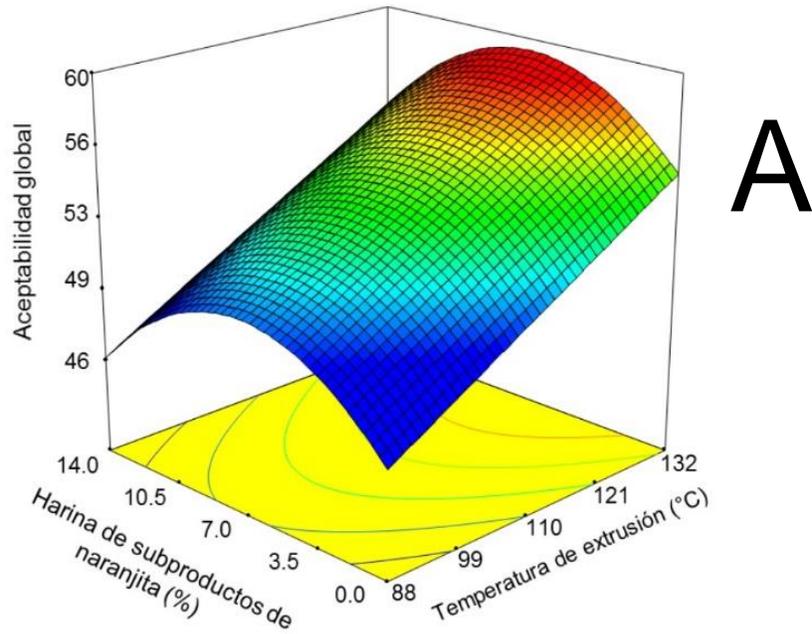
proceso, permitiendo menor liberación de FDS, y una disminución del contenido de FDS (Camire y col 1990). Asimismo, la fluidez del material en el extrusor podría haberse incrementado debido al importante contenido de aceites esenciales en HSN (Ladaniya 2008), los cuales pudieron presentar un efecto lubricante.

## 10. Análisis sensorial

Se realizó un análisis sensorial para determinar el grado de aceptabilidad de los cereales para el desayuno altos en fibra por parte de los consumidores.

Para el análisis de la variable de respuesta aceptabilidad sensorial global (AG) se utilizó un modelo cuadrático, obteniendo un valor de  $R^2_{ajustada} = 0.75$  y  $CV = 2.91\%$ , sin presentar falta de ajuste ( $p = 0.891$ ) (**Cuadro 10**). De acuerdo con el análisis estadístico (**Cuadro 11**), se encontró que el factor de temperatura de extrusión (TE) presentó efecto significativo ( $p < 0.001$ ) en su término lineal ( $b_1$ ). Asimismo, el factor contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN), no presentó un efecto significativo en su término lineal, pero sí presentó efecto significativo en su término cuadrático ( $b_2^2$   $p = 0.014$ ). En el análisis de las interacciones, se obtuvo que ninguna de las interacciones presentó efecto significativo. El modelo cuadrático empleado para el análisis de esta respuesta, puede ser utilizado para navegar en la superficie del diseño experimental.

En la **Figura 13** se muestra el efecto de la TE y HSN sobre la aceptabilidad sensorial global (AG) de los cereales para desayuno altos en fibra. Se puede observar que los mayores valores de aceptabilidad ( $AG > 58$  “me gusta moderadamente”, escala LAM), se obtuvieron a TE ( $> 126$  °C) y HSN (3.5-10.5%). Esto podría deberse que en esas condiciones los cereales para desayuno presentaron propiedades de expansión



**Figura 13.** Efecto de la temperatura de extrusión (TE) y contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) sobre la aceptabilidad global (AG) de los cereales para desayuno altos en fibra (CPDAF). (A) Superficies; (B) Contornos.

y textura aceptables, además que niveles de HSN en este rango podrían haberle dado a estos productos un sabor cítrico, el cual fue agradable para los panelistas. Sin embargo, puede observarse que al utilizar la misma temperatura ( $TE > 126^{\circ}\text{C}$ ), al incrementar los niveles de HSN por encima de 10.5%, los valores de AG disminuyeron. Esto podría deberse al importante contenido de compuestos fenólicos que presentan los subproductos de naranjita, los cuales pudieron haber aumentado la astringencia y el sabor amargo en los cereales para desayuno, lo cual resultó desagradable para los evaluadores.

#### **D. OPTIMIZACIÓN**

Se llevó a cabo la optimización del proceso de extrusión, utilizando el método numérico para determinar las mejores condiciones de procesamiento en donde se obtuvieran los cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harina de subproductos de naranjita, con mejores propiedades físicas, fitoquímicas, y sensoriales. Para llevar a cabo este procedimiento, se eligieron las variables de respuesta esfuerzo de flexión ( $\sigma$ ), contenido de fibra dietaria total (FDT), contenido de carotenoides totales (CT), así como aceptabilidad sensorial global (AG). Se establecieron diferentes criterios para cada una de las variables de respuesta (**Cuadro 12**), con el objetivo de obtener los mayores valores para todas las variables de respuesta. Se eligió la variable de respuesta  $\sigma$  debido a que dicha variable representa la textura de los cereales para desayuno, el cual es uno de los parámetros de calidad más importantes en este tipo de alimentos. Asimismo, se utilizaron como respuestas para la optimización el contenido de CT y FDT, debido a que las materias primas empleadas para la elaboración de los cereales para desayuno, como son la HSN, y los

**Cuadro 12.** Criterios y límites para la optimización del proceso de extrusión.

<b>Factores de estudio y variables de respuesta</b>	<b>Objetivo</b>	<b>límite inferior</b>	<b>Límite superior</b>	<b>Importancia</b>	<b>Peso</b>
<b>TE (°C)</b>	Rango	95	125	3	1
<b>HSN (%)</b>	Rango	2.5	11.5	3	1
<b><math>\sigma</math> (MPa)</b>	Máximo	4.6	8	3	1
<b>FDT (%)</b>	Máximo	1.8	7.9	3	1
<b>CT (<math>\mu\text{g/g}</math>)</b>	Máximo	11.3	16.5	3	1
<b>AG</b>	Máximo	49.6	58.4	3	1

TE= Temperatura de extrusión

HSN= Contenido de harina de subproductos de naranjita

$\sigma$ = Esfuerzo de flexión

FDT= Fibra dietaria total

CT= Carotenoides totales

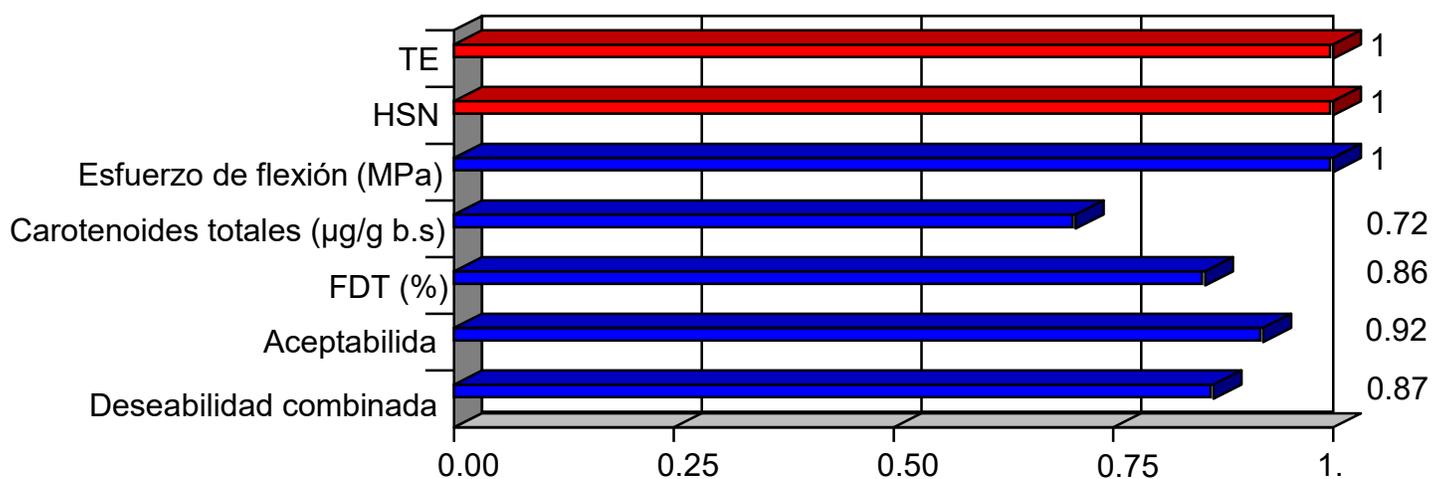
AG= Aceptabilidad global

grits de maíz amarillo (GMA), son una importante fuente de CT, mientras que, el salvado de trigo, salvado de avena, y la HSN son fuentes ricas en fibra dietaria. De igual manera, se decidió optimizar utilizando estas variables de respuesta, debido a que los carotenoides y fibra dietaria, son compuestos bioactivos cuyo consumo, se encuentra relacionado con potenciales beneficios a la salud, previniendo diferentes enfermedades. Por otro lado, se eligió como variable en la optimización a la AG del cereal para desayuno, ya que es una variable de gran importancia, que da una idea del grado de aceptabilidad que presentan los cereales por parte de los consumidores.

En la **Figura 14** se muestran las gráficas de barras de deseabilidad individual de cada una de las variables de respuesta utilizadas en la optimización, y la deseabilidad combinada del proceso. En este tipo de optimización la deseabilidad máxima que se puede obtener es de 1.0, mientras que la deseabilidad mínima es de 0. Se puede observar que la deseabilidad individual de los factores de estudio, temperatura de extrusión y contenido de harina de subproductos de naranjita fue de 1.0, debido a que en los criterios establecidos para dichos factores, se fijó como objetivo rango, lo cual indica que siempre darán una deseabilidad de 1.0.

La variable de respuesta esfuerzo de flexión ( $\sigma$ ) mostró una deseabilidad de 1.0, lo que indica que alcanzó aproximadamente el 100% de la diferencia del límite superior menos el límite inferior de esfuerzo de flexión. Asimismo, la variable de respuesta contenido de CT mostró una deseabilidad de 0.72, lo cual quiere decir que alcanzó aproximadamente el 72% de la diferencia del límite superior menos el límite inferior del contenido de CT. El contenido de FDT presentó una deseabilidad de 0.86, indicando que alcanzó aproximadamente el 86% de la diferencia entre el límite superior

### Deseabilidad



**Figura 14.** Deseabilidad individual de los factores de estudio y variables de respuestas analizadas durante el proceso de optimización, así como deseabilidad combinada.

menos el límite inferior del contenido de FDT. En el caso de la AG, mostró una deseabilidad de 0.92, lo que indica que alcanzó aproximadamente el 92% de la diferencia del límite superior menos el límite inferior de AG. La deseabilidad combinada (DC) está presentada por la siguiente fórmula:  $DC = (d_1 d_2 \dots d_m)^{1/m}$ . Dónde:  $d_1$  representa el valor de deseabilidad de las respuestas independientes y  $m$  es el número de respuestas.  $DC = (1.0 * 0.72 * 0.86 * 0.92)^{1/4}$ ,  $DC = 0.87$ .

Como resultado del estudio de optimización se obtuvo que las mejores condiciones de procesamiento fueron:  $TE = 125$  °C y contenido de HSN= 9.21%, obteniéndose los siguientes valores predichos (**Cuadro 13**) por cada uno de los modelos matemáticos correspondientes:  $\sigma = 8.55$  MPa,  $CT = 6.16$  µg/g,  $FDT = 15.8\%$  y  $AG = 57.7$ . Para llevar a cabo la validación de los modelos matemáticos se elaboró el cereal para desayuno alto en fibra con las materias primas (salvado de trigo, salvado de avena, grits de maíz amarillo y harina de subproductos de naranjita) utilizando las condiciones obtenidas mediante la optimización, mencionadas anteriormente. Se realizaron los análisis de  $\sigma$ , CT y FDT así como la evaluación sensorial para determinar la AG en el cereal para desayuno obtenido en la región óptima de procesamiento, obteniéndose los valores experimentales promedio y sus desviaciones estándar que son mostrados en el **Cuadro 13**.

Al comparar los valores experimentales obtenidos con los valores predichos por los modelos, no se encontró diferencia estadística significativa para las respuestas de  $\sigma$ , CT y AG, con excepción del contenido de FDT, sin embargo, la diferencia fue menor al 10%. Por lo anterior, el modelo empleado demostró tener un buen ajuste experimental, para encontrar las mejores condiciones del proceso de extrusión en

**Cuadro 13.** Valores predichos por el modelo y experimentales de las variables de respuesta utilizadas en la optimización de cereales para desayuno adicionados con HSN.

<b>Variables</b>	<b>Valores predichos</b>	<b>Valores experimentales</b>
<b><math>\sigma</math> (MPa)</b>	8.55	8.36±1.15
<b>FDT (%)</b>	15.81	12.54±1.13
<b>CT (<math>\mu\text{g/g}</math>)</b>	6.17	5.54±0.82
<b>AG</b>	57.71	60.86±12.68

$\sigma$  = Esfuerzo de flexión

FDT= Fibra dietaria total

CT= Carotenoides totales

AG= Aceptabilidad sensorial global

donde se obtengan los cereales para desayuno altos en fibra con aceptables características de textura, fitoquímicas, y sensoriales.

En el **Cuadro 14** se reporta el análisis proximal del cereal para desayuno alto en fibra adicionado con HSN obtenido en las condiciones óptimas de procesamiento (TE= 125 °C y HSN= 9.21%), en el cual se encontró un valor de humedad de  $4.34 \pm 0.06$ , proteínas  $18 \pm 1.23$ , extracto etéreo  $2.35 \pm 0.13$ , cenizas  $5.46 \pm 0.04$ , y carbohidratos 69.85.

En el **Cuadro 15** se reportan los valores para diferentes propiedades físicas, fisicoquímicas, fitoquímicas, antioxidantes y sensoriales del cereal para desayuno alto en fibra obtenido en la región óptima de procesamiento (TE= 125 °C y HSN= 9.21%). En el análisis de parámetros físicos y fisicoquímicos se obtuvieron valores de densidad aparente de  $835.98 \pm 30.38 \text{ kg/m}^3$ , índice de expansión  $1.04 \pm 0.01$ , índice de solubilidad en agua  $16.27 \pm 0.13\%$ , índice de absorción de agua  $5.75 \pm 0.29 \text{ g.a./g.s.s}$ , y esfuerzo de flexión  $8.36 \pm 1.15 \text{ MPa}$ . Por otro lado, se llevó a cabo la determinación del contenido de compuestos fitoquímicos en el cereal para desayuno obtenido en la región óptima del procesamiento, así como en un control, el cual no contenía HSN.

El contenido de fibra dietaria total (FDT) en el cereal para desayuno control fue de  $10.95 \pm 0.31\%$ , de la cual  $5.66 \pm 0.31\%$  correspondió a fibra dietaria insoluble (FDI), y 5.25% a fibra dietaria soluble (FDS), mientras que en el cereal para desayuno con HSN, se encontró un valor para FDT de  $12.54 \pm 1.13\%$  de la cual  $8.07 \pm 0.42\%$  correspondió a FDI y 4.47% a FDS. Se pudo observar como el contenido de FDT se incrementó al aumentar el contenido de HSN, lo cual pudo deberse al incremento del contenido de FDI, lo cual pudiera asociarse principalmente al proceso de gelatinización

**Cuadro 14.** Análisis proximal del cereal para desayuno alto en fibra adicionado con HSN.

<b>Prueba</b>	<b>CDAFHSN</b>
<b>Humedad (%)</b>	4.34±0.06
<b>Proteína (%)</b>	18.0±1.23
<b>E.E (%)</b>	2.35±0.13
<b>Cenizas (%)</b>	5.46±0.04
<b>Carbohidratos*</b>	74.19

CDAFHSN = Cereal para desayuno alto en fibra adicionado con harina de subproductos de naranjita

E.E= Extracto etéreo

\*= por diferencia

±= Desviación estándar

**Cuadro 15.** Valores experimentales de diferentes propiedades químicas, físicas, fisicoquímicas y contenido de compuestos bioactivos del cereal para desayuno alto en fibra adicionado con HSN.

<b>Prueba</b>	<b>Unidades</b>	<b>Resultados</b>
<b>DA</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	835.98±30.38
<b>IE</b>		1.05±0.01
<b>ISA</b>	(%)	16.27±0.13
<b>IAA</b>	(g.a.a/g.s.s)	5.75±0.29
<b>σ</b>	MPa	8.36±1.15
<b>FDT</b>	%	12.54±1.13
<b>FDI</b>	%	8.07±0.42
<b>FDS</b>	%	4.47
<b>β-glucanos</b>	g /100 g b.s	1.42±0.05
<b>CT</b>	μg/g	5.54±0.82
<b>DPPH<sup>1</sup></b>	μmol ET/100 g	3.57±0.02
<b>CFT</b>	mg EAG/g	2.18±0.11
<b>DPPH<sup>2</sup></b>	μmol ET/100 g	13.58±0.15
<b>FT</b>	mg EQ/g	4.81±1.36
<b>AG</b>	%	60.86±12.68

---

Media±desviación estándar

<sup>1</sup>= extracto lipófilico

<sup>2</sup>= extracto hidrófilico

y retrogradación del almidón durante el cocimiento por extrusión, el cual pudo haber generado almidón resistente.

Stojceska y col. (2010) reportaron que la gelatinización del almidón que ocurre durante el proceso de extrusión y su retrogradación después del enfriamiento, probablemente contribuyen a la formación de almidón resistente, el cual se debe en parte a la formación de FDI. Estos autores mencionan que la solubilidad y formación del almidón resistente del almidón depende de la relación amilosa/amilopectina y de las condiciones tecnológicas durante el proceso, incluyendo el enfriamiento.

Esposito y col. (2005) analizaron el contenido de FDI y FDS en salvado de trigo sin extrudir y con proceso de extrusión, encontrando que no hubo diferencia significativa para el contenido de FDS.

Se realizó el análisis de  $\beta$ -glucanos (fibra dietaria soluble) en los cereales para desayuno, ya que es el tipo de fibra más abundante en el salvado de avena. Esta prueba se determinó en la mezcla de harinas sin extrudir, y el cereal para desayuno adicionado con HSN obtenido en las condiciones óptimas de procesamiento (TE= 125 °C y HSN= 9.21%). Se encontró en la mezcla sin extrudir un contenido de  $\beta$ -glucanos de  $2.46 \pm 0.10$  g/100g, mientras que en el cereal para desayuno se obtuvo un valor de  $1.42 \pm 0.05$  g/100g, por lo cual el contenido de  $\beta$ -glucanos disminuyó con el procesamiento térmico de extrusión. Esto concuerda con los valores obtenidos para FDS la cual disminuyó por el efecto del procesamiento que se puede atribuir a la formación de almidón resistente por las interacciones formadas por amilosa-amilopectina.

Por otro lado, el contenido de CT en el cereal para desayuno sin HSN presentó un contenido de  $4.64 \pm 0.00 \mu\text{g/g}$ , mientras que en el cereal para desayuno con HSN se encontró un contenido de CT de  $5.54 \pm 0.08 \mu\text{g/g}$ . El aumento en CT puede deberse a que HSN es una importante fuente de CT ( $335.6 \mu\text{g/g}$ ) (Ruiz-Armenta 2015), por lo cual al adicionarse este material, produce un aumento en el contenido de estos pigmentos. Cabe destacar que este tipo de cereales para desayuno que se venden comercialmente, se caracterizan por presentar en su composición cantidades muy bajas de CT. Sin embargo, en el presente trabajo, el contenido de carotenoides totales se vio incrementado por la adición en la mezcla base de grits de maíz amarillo, que es una fuente importante de CT, adicionalmente al contenido de CT aportado por HSN.

Asimismo, se llevó a cabo la medición de la capacidad antioxidante por el método del radical DPPH para extractos lipofílicos, obteniéndose valores de  $3.57 \pm 0.02 \mu\text{mol ET/100g (b.h)}$  en el cereal para desayuno adicionado con HSN, los cuales son ligeramente mayores a los valores obtenidos en el cereal para desayuno sin HSN, el cual presentó un valor de  $3.13 \pm 0.01 \mu\text{mol ET/100g (b.h)}$ .

Por otro lado, se realizó la determinación del contenido de compuestos fenólicos totales (CFT), en el cereal para desayuno control, y en el cereal para desayuno adicionado con HSN, encontrándose en este último un contenido de CFT de  $2.18 \pm 0.11 \text{ mg EAG/g (b.h)}$ , mientras que en el cereal para desayuno sin HSN se encontró un valor de  $1.05 \pm 0.01 \text{ mg EAG/g (b.h)}$ . El incremento en el contenido de CFT en el cereal para desayuno adicionado de HSN pudo deberse al importante contenido de CFT presentes en el subproducto (Ruiz-Armenta 2015).

Por otro lado, se determinó el contenido de flavonoides totales (FT) ya que los frutos cítricos son fuente importante de flavanonas, flavonas y flavonoles, entre los que destacan hesperidina, narirutina, naringina, eriocitrina, entre otros (Ebrahimzaded y col 2004), encontrándose un contenido de FT en el cereal para desayuno alto en fibra adicionado con HSN de  $4.81 \pm 1.36$  mg EQ/g (b.h).

Igualmente, se determinó la capacidad antioxidante por el método del radical DPPH para extractos hidrófilicos, en el cereal para desayuno adicionado con HSN el cual presentó valores de  $13.58 \pm 0.15$   $\mu$ mol ET/100g (b.h).

## VIII. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos de los análisis de composición proximal y contenido de compuestos bioactivos en las materias primas (salvado de trigo, salvado de avena, grits de maíz amarillo y harina de subproductos de naranjita), presentaron características apropiadas para ser utilizadas en el presente estudio.
2. De acuerdo al análisis estadísticos, la TE fue el factor de estudio que presentó mayor efecto ( $p < 0.05$ ) sobre las características físicas (Índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), esfuerzo de flexión ( $\sigma$ )), contenido de FDT, y AG, de los cereales para desayuno altos en fibra.
3. El factor independiente contenido de harina de subproductos de naranjita (HSN) fue el que presentó mayor efecto ( $p < 0.05$ ) sobre el contenido de carotenoides totales (CT), índice de solubilidad en agua (ISA), e índice de absorción de agua (IAA).
4. Los modelos matemáticos utilizados para las diferentes variables de respuesta fueron adecuados, arrojando valores de  $R^2_{ajustada} \geq 0.75$ , sin presentar falta de ajuste ( $p > 0.05$ ).
5. Mediante el método numérico se obtuvieron las condiciones óptimas de procesamiento (TE= 125 °C y HSN= 9.21 %), los valores experimentales obtenidos en la validación fueron similares a los valores predichos por el modelo, con excepción del contenido de FDT.
6. Es posible obtener mediante la tecnología de extrusión cereales para desayuno altos en fibra adicionados con harinas de subproductos de naranjita, con

aceptables características fisicoquímicas, de textura y compuestos bioactivos, además de presentar buena aceptabilidad sensorial.

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- AACC 2010. Approved Methods of Analysis of the American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota.
- AAFC 2012a. Packaged food sales in Mexico. Agriculture and Agri-Food Canada. Ottawa, ON.
- AAFC 2012b. Fortified/Functional foods and Beverages in Mexico. Agriculture and Agri-Food Canada. Ottawa, ON.
- AEFC 2011. “Cereales de desayuno, nutrición y gastronomía” Asociación Española de Fabricantes de Cereales. Madrid. [www.asociacioncereales.es](http://www.asociacioncereales.es)
- Ahumada-Aguilar JA. 2014. Impacto del proceso de secado convectivo sobre características fisicoquímicas y nutraceuticas de subproductos del fruto de naranjita (*Citrus mitis*) [Tesis de Licenciatura]. Culiacán, Sinaloa. Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. 89 p.
- Aguilar–Palazuelos E. 2007. Obtención y caracterización de materiales biodegradables utilizando las tecnologías de extrusion termoplástica y modelo por inyección. [Tesis doctoral]. Santiago de Queretaro, Queretaro. 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, Pérez M. 2004. El Maíz amarillo para la molienda húmeda. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. CENIAP HOY. 6.
- 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 1992. Official methods of analysis. 17<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC 1990. Official methods of analysis. 15<sup>a</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists Inc. Arlington, Virginia, USA.
- AOAC 1997. Official methods of analysis international, 16<sup>th</sup> ed. Volume II, section 45.4.07
- 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
- Arce-Félix. 2012. Elaboración y caracterización de pastas alimenticias adicionadas con harina de calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata* D). [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa, México. 196 p. Disponible en: Universidad Autónoma de

Sinaloa, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Biblioteca de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Ascheri JL, Ciacco CF, Riaz MN, Lusas EW. 1995. Efecto de la formulación sobre la expansión y viscosidad de "snacks" (pellets) producidos por extrusión termoplástica. *Alimentos (Madrid)* 33(286):111-117

Batterman Azcona S.J y Hamaker B.R. 1998. "Changes occurring in protein body structure and zein during corn flake processing". *Cereal Chemistry*. 75:217-221.

Box GEP, Behrken DW. 1960. Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics* 2(4):455-475.

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 J Animal Science*, 33 (2), 117-126.

Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 28(1): 25-30

Calderón-Arredondo S. 2012. Caracterización física, nutrimental, fotoquímica y de capacidad antioxidante de la naranjita (*Citrus mitis*) [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. 186 p.

Callejo MJ. 2002. Industria de cereales y derivados. Editorial AMV Ediciones y Mundi-Prensa. 1ª. Edición, Cap. 14 pp. 313-325.

- Cardello AV y Schutz HG. 2004. Research note numerical scale-point locations for constructing the LAM (labeled affective magnitude) scale. *Journal of Sensory Studies* 19(4): 341-346.
- Carrillo-Pimienta, DL. 2010. "Estudio de optimización de botanas de tercera generación enriquecidas con harinas de calabaza Cehualca elaboradas por extrusión" [Tesis de Maestría]. Culiacán, de Rosales, Sinaloa. Disponible en: Universidad Autónoma de Sinaloa. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas.
- Carvalho, A.N., Mattietto, R.A., Basinello, P.Z., Koakuzu, S.N., Rios, A.O., Maciel, R.A., Carvalho, R.N., 2012. Processing and characterization of extruded breakfast meal formulated with broken rice and bean flour. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 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.
- Cornell HJ, Hoveling AW. 1998. *Wheat chemimstry and utilization*. Technomic Publishing Co. Lancaster, PA. 426p.
- 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, 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.
- Desrumaux A, Bouvier JM, Burri J. 1998. Corn Grits Particle Size and Distribution Effects on the Characteristics of Expanded Extrudates. *Journal of Food Science* 63(5):857-863.
- Ding Q, Ainsworth P, Tucker G, Marson H. 2006. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering* 66:283–289.
- Ebrahimzadeh, M.A.; Hosseinimehr, M.A. and Gaykhloo, M.R. 2004. Measuring and comparison of vitamin C content in citrus fruits: introduction of native variety. *Chemistry: An Indian Journal* 1: 7-14.
- FAO 2015. 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](http://www.fao.org). Consultado el 15 de Marzo del 2015.
- Fast R.B. 1991. "Manufacturing Technology of Ready-to-Eat Cereals". En: *Breakfast Cereal and How They Are Made*. Fast, R.B. and Caldwell, E.F. editors. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.15-42.
- Fernández IV, Aguilar C, Mateos V, Martínez P. 2008. Relación entre la calidad del desayuno y el rendimiento académico en adolescentes de Guadalajara (Castilla-LaMancha). *Nutr. Hosp.* 23.4:383-87
- 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.
- García FO. 2003. Balance y manejo de nutrientes en rotaciones agrícolas. En *Trigo- Actualización 2003*.
- 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 p.
- González RJ, Torres RL, De Greef DM. 2002. "Extrusión-Cocción de Cereales". *Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.
- Gujaska E, Khan K. 1990. Effect of temperatura on properties of extrudades from high starch fractions of navy, pinto and garbanzo beans. *Journal of Food Science* 55:566-469
- Guy R. 2002. *Extrusión de los alimentos tecnología y aplicaciones*. 1er Ed. España: Acribia, 1-10.
- Harper JM. 1981. *Extusion Food*. CRC. Press. Boca Ratón, Florida. pp: 127-163.
- Ho C, Izzo M. 1992. Lipid-protein and lipid-carbobydrate interactions during extrusion. *Food Extrusion Science Technology*. 415-417 p.
- Holguín-Acuña AL, Carvajal-Millán E, Santana-Rodríguez V, Rascón-Chu A, Márquez-Escalante JA, Ponce de León-Renova NE, Gastelum-Franco G. 2008. Maize

bran/oat flour extruded breakfast cereal: A novel source of complex polysaccharides and an antioxidant. *Food Chemistry*. 111:654-657

Jacobo-Valenzuela N. 2011. Caracterización química, funcional y nutrimental de harinas de calabaza Cehualca (*Cucúrbita 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.

Juárez - Jarcia E, Agama-Acevedo E, Sagayó-Ayerdi SG, Rodríguez ASL, Bello-Pérez LA. 2006. Composition, digestibility and application in breadmaking of banana flour. *Plant Food Human Nutrition* 61: 131-137.

Kim DO, Lee KW, Lee JH. y Lee CY. 2002. Vitamin C Equivalent Antioxidant Capacity (VCEAC) of Phenolic Phytochemicals. *Journal Agriculture and Food Chemistry* 50(13): 3713-3717.

Kokini JL, Lai LS, Chedid LL. 1992. Effect of Starch Structure on Starch rheological properties. *Journal of Food Technology* 46: 124-139.

Kokini JL.; Chang CN.; Lai L.S. 1992a. "The role of rheological properties on extrudate expansion". En: *Food Extrusion Science and Technology*. Ed Kokini.J, Ho Ch.T. Karwe. M: Marcel Dekker; NY. p: 631-652.

Ladaniya MS. 2008. Citrus fruit biology, technology and evaluation. 1ª ed. San Diego: Elsevier. 593 p.

- Larrea MA, Chang YK, Martínez-Bustos F. 2005. Some functional properties of extruded orange pulp and its effect on the quality of cookies. *Swiss Society of Food Science and Technology*. 38:213-220
- Lezcano E. 2010. Análisis de producto-Cereales para el desayuno. *Alimentos Argentinos, Una elección Natural*. Argentina
- Mahajan A, Dua S, Bhardwaj S. 2002. Simple physical treatment as an effective tool to improve the functional properties of rapeseed (*Brassica campestris* var. toria) and sesame seed (*Sesamum indicum*) meals. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 53: 455-463.
- Marty C, Berset C. 1986. Degradation of trans- $\beta$ -carotene during heating in sealed glass tubes and extrusion cooking. *Journal of food science*; 51:698-702.
- Mason WR, Hoseney RC. 1986. Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch. *Cereal Chemistry* 63: 436–444.
- Matz S. 1999. *Bakery Technology and Engineering*. 3a Ed. Springer, New York, USA. 853p.
- Miller P. 1998. *Food Extrusion Technology*. Consulting Engineer 413.
- Moraru CI, Kokini JL. 2003. Nucleation and Expansion During Extrusion and Microwave Heating of Cereal Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 2(4):147–165.
- Morton J. 1987. Calamondin. En: Morton J. *Fruits of warm climates*. Florida flairbooks, Miami, FL, USA. 176-178 p.

Norma Oficial Mexicana, NOM-086-SSA1-1994

Norma Oficial Mexicana, NOM-247-SSA1-2008

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, 1504-1514.

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 14 de marzo 2014

Pérez A, Drago S, Carrara C, De Greef D, Torres R, González R. 2008. Extrusion cooking of a maize/soybean mixture: Factors affecting expanded product characteristics and flour dispersion viscosity. *Journal Food Engineer*. 87: 333–340

Pérez-Murillo JG. 2015. Propiedades fisicoquímicas, mecánicas, de cocción y fitoquímicos de pastas alimenticias extrudidas adiconas de harina de cascara de calabaza (*Cucurbita moschata* D.) y maíz amarillo integral. [Tesis de maestría]. Culiacán, Sinaloa. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad autónoma de Sinaloa. 174 p.

Pérez-Silva AV. 2009. Determinación de las condiciones técnicas para la elaboración de un snack de maíz enriquecido con soya a escala industrial [Tesis de licenciatura]. Facultad de ingeniería química y agroindustria. Escuela politécnica nacional. Quito, Ecuador.

- Prieto J, Méndez MA, Román A, Prieto F. 2005. Estudio comparativo de características fisicoquímicas de cereales Kellogg's. Revista chilena de nutrición. Vol. 32, N° 1.
- Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, Devries JW, 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.
- Reyes-Castañeda P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT editor, S.A. México.
- Ritchie S, Swanson SJ, 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.
- 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. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. Universidad autónoma de Sinaloa. 132 p.
- Sánchez MT. 2003. Procesos de elaboración de alimentos y bebidas. Edith. Mundi-Prensa. Madrid, España
- Saura-Calixto F, Goñi I. 2006. Antioxidant capacity of the Spanish Mediterranean diet. Food Chemistry 94:442-447.
- Serna O. 2009. Química Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT Editor, S.A.

- SIAP. 2015. 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 2015.
- SIAP- SAGARPA 2012a. 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.
- Singh S, Gamlath S, Wakeling L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review School of Science Australia. International Journal of Food Science and Technology 42: 916-929.
- 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>
- Soto-Ibarra GP. 2012. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos en Cáscara, Pulpa y Semilla de Naranja (*Citrus mitis*). [Tesis de Maestría]. Culiacán, Sinaloa. Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. 115 p.
- Stojceska V, Ainsworth P, Plunkett A, Ibanoglu E, and Ibanoglu S. 2008. Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. Journal of Food Engineering. 87:554-563

- Unlu E, Faller J. 1998. Formation of resistant starch by a twin-screw extruder. *Cereal Chemistry* 75: 346-350.
- USDA-United States Department of Agriculture 2014. Composition of food. Breakfast cereals. National Nutrient Database for Standard Reference. Release 26.
- Urías-Ruelas JY. 2011. Caracterización funcional y aceptación de alimentos botana, directamente expandidos enriquecidos con harina de Calabaza Cehualca (*Cucurbita moschata* D.) elaborados por extrusión. Facultad de ciencias químico biológicas. Universidad autónoma de Sinaloa. Tesis de licenciatura. Culiacán, Sinaloa.
- Valls P. 1993. El proceso de extrusión en cereales y habas de soja. I. 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. Vol. 19 No. La Habana, Cuba.
- Vernaza MG, Kil-Chang Y. 2009. Efeito do teor de farelo de maracujá e da umidade e temperatura de extrusão no desenvolvimento de cereal matinal funcional orgânico. *Brazilian Journal of Food Technology*. 12:2:145-154
- 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, 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
- Wolfe, K.E. and Liu, R.H. 2003. Apple peels as value-added food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51: 1676-1683.
- Zielinski H, Kozłowska H, Lewczuk B. 2001. Bioactive compounds in the cereal grains before and after hydrothermal processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 2(3):159–169.
- Zudaire M y Yoldi G. 2004 “Cereales de desayuno” *Consumer*, La revista del consumidor de hoy. [[www.revista.consumer.es](http://www.revista.consumer.es)]

## X. ABREVIATURAS

<b>AACC</b>	Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists
<b>AOAC</b>	Association of official Analytical Chemists
<b>b.s</b>	Base seca
<b>b.h</b>	Base húmeda
<b>CAO</b>	Capacidad antioxidante
<b>CAET</b>	Capacidad antioxidante equivalente a trolox
<b>CT</b>	Carotenoides totales
<b>C.V.</b>	Coefficiente de variación
<b>col</b>	Colaboradores
<b>CF</b>	Compuestos fenólicos
<b>CPDAF</b>	Cereales para desayuno altos en fibra
<b>DPPH</b>	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
<b><math>\sigma</math></b>	Esfuerzo de flexión
<b>EAG</b>	Equivalentes de ácido gálico
<b>EHF</b>	Extracto hidrofílico
<b>ELF</b>	Extracto lipofílico
<b>FDT</b>	Fibra dietaria total
<b>FDI</b>	Fibra dietaria insoluble
<b>FDS</b>	Fibra dietaria soluble
<b>HCl</b>	Ácido clorhídrico
<b>HSN</b>	Harina de subproductos de naranjita
<b>HEAT</b>	Hexano-etano-acetona y tolueno

<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>KOH</b>	Hidróxido de potasio
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
<b>IAA</b>	Índice de absorción en agua
<b>ISA</b>	Índice de solubilidad en agua
<b>IPN</b>	Instituto Politécnico Nacional
<b>MCTA</b>	Maestría en ciencia y tecnología de alimentos
<b>MSR</b>	Metodología de Superficie de Respuesta.
<b>N</b>	Normal
<b>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Sulfato de sodio
<b>FAO</b>	Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas.
<b>OMS</b>	Organización mundial de la salud
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>pH</b>	Potencial de hidrogeno
<b>p</b>	Probabilidad
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>SAGARPA</b>	Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
<b>SIAP</b>	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
<b>Trolox</b>	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico
<b>Vt</b>	Velocidad de tornillo
<b>USA</b>	United States of America
<b>UV</b>	Ultravioleta

<b>α</b>	Alfa
<b>#</b>	Número
<b>%</b>	Por ciento

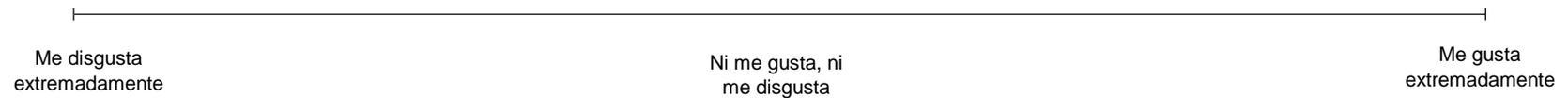
## XI. ANEXOS

### Anexo 1. Evaluación sensorial en escala LAM (Labeled Affective Magnitude)

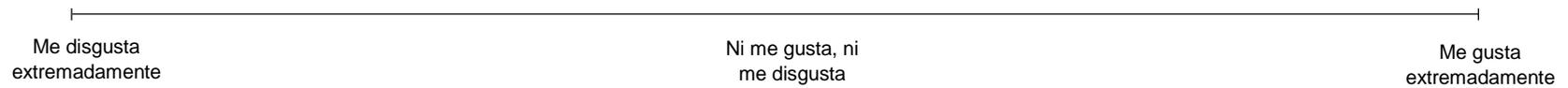
Muestra: \_\_\_\_\_

Instrucciones: Pruebe el cereal y de acuerdo a lo que se pide evaluar, coloque una "X" en algún punto de la línea (cualquier punto).

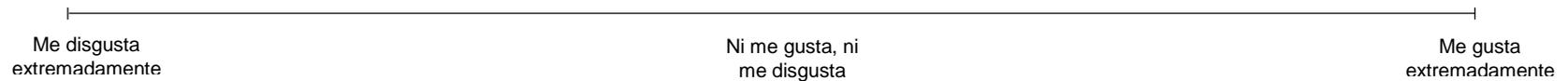
1. Sabor



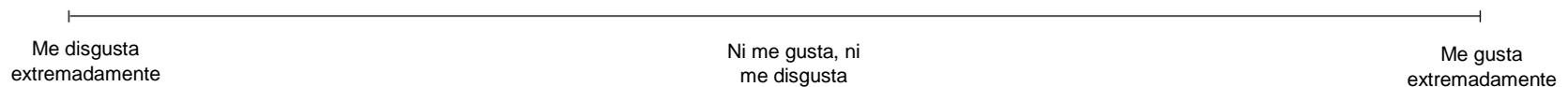
2. Color



3. Textura



4. Aceptación global



Comentarios: \_\_\_\_\_

¡Muchas gracias!