

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA**



**INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

**Establecimiento del proceso para la obtención y  
caracterización de un cereal de desayuno extrudido y  
fortificado con harina de hojas de *Moringa oleifera***

**Tesis para obtener el título de:  
Ingeniera en Alimentos**

**Presenta:  
Viviana Atenas Gómez Lara**

**Directora de tesis:  
Dra. Mirna Patricia Santiago Gómez**

**Huajuapán de León, Oaxaca, México, agosto de 2022**

Las actividades del presente proyecto se realizaron en el Laboratorio de Ciencia y Tecnología de Alimentos y en el Laboratorio de Biotecnología ubicados en el Edificio de Productos Naturales y Alimentos; en el Taller de Procesamiento de Alimentos y en el Laboratorio de Hidrología de la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

El trabajo de investigación fue financiado por medio del proyecto CONACYT: PN-2016/2012 “Desarrollo de un cereal enriquecido con *Moringa oleifera* para combatir la desnutrición en niños” y se recibió una beca con referencia PDCPN 2016/2012 y número de registro 28082.

## ACTIVIDAD ACADÉMICA

Participación en el Congreso Internacional CUCCAL 12 “Sobre Inocuidad, Calidad y Funcionalidad de los Alimentos en la Industria y Servicios de Alimentación” con el trabajo “Enriquecimiento de harinas base para la producción de cereales de desayuno, utilizando harina de hojas de *Moringa oleifera*”. Llevado a cabo el 27 y 28 de septiembre del 2019 en la Ciudad de México.

Con el trabajo anterior, se obtuvo el primer lugar en el Concurso de Trabajos de Investigación Modalidad Cartel a Nivel Licenciatura en la categoría Procesamiento e Innovación.

## AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis, la Dra. Mirna Patricia Santiago Gómez, por haberme dado la oportunidad de participar en un proyecto tan importante, por la enseñanza y el aprendizaje brindados durante estos años de trabajo; y sobre todo por el apoyo, la comprensión y la oportunidad de permitirme culminar este proceso.

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca, por el conocimiento, las enseñanzas, por el acceso a sus instalaciones y las experiencias vividas para formarme como profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca otorgada.

A las integrantes del comité revisor de este trabajo de tesis: Q.F.B. Juana Ramírez Andrade, M. en C. Alma Yadira Salazar Govea y Dra. Daniela Barrera García (Universidad del Claustro de Sor Juana) por sus observaciones, comentarios y revisiones que contribuyeron a la mejora de este proyecto. En especial, agradezco a la M. en C. Alma por su apoyo y tutorado durante mi estancia en la Universidad, así como sus palabras de aliento y consejos.

A la Dra. Alma Vázquez Luna (Universidad Veracruzana), por la enseñanza y guía para el mejoramiento del análisis estadístico de las condiciones de extrusión de este trabajo de tesis, además de las oportunidades brindadas para complementar mi preparación profesional.

A la Dra. Edith González Mondragón, responsable del Laboratorio de Biotecnología ubicado en el Edificio de Productos Naturales y Alimentos, por sus aportaciones al presente proyecto y su apoyo para la utilización del equipo de laboratorio de sus instalaciones.

Al cuerpo académico UTMIX-CA-29 por sus observaciones, comentarios y sugerencias realizadas durante la preparación del protocolo de investigación de la presente tesis.

Al Ing. Tenoch Santiago Castro, a la P.I.A. Luvia Estefanía García Santiago y a la Ing. Marlitt Sánchez Cruz por su asistencia técnica, apoyo y consejos brindados durante la realización de este proyecto.

A la M. en C. Yazmín Hernández García y el Ing. Gerzahín Torres, por su apoyo y colaboración en las actividades preliminares a la realización del presente proyecto. En especial a Yaz, por su ejemplo y motivación.

A los alumnos de la carrera de Ing. en Alimentos por su participación en el entrenamiento de un panel de evaluación sensorial. En especial a Nallely Pérez Pérez por su apoyo para la realización de estas actividades.

## DEDICATORIAS

A mis padres, Sonia Lara Galicia y Noé Gómez Ríos, por el amor, los cuidados, el apoyo incondicional y la paciencia que me han brindado en cada una de las etapas de mi vida. Agradezco infinitamente el esfuerzo y trabajo que han dedicado para que yo pueda estar aquí el día de hoy, este logro también es de ustedes. Gracias por la educación y lo que me han inculcado, siempre los llevaré en mi corazón y serán una de mis más grandes motivaciones para superarme y seguir adelante. Los amo con todo mi corazón.

Para mi hermana Diana Laura, por su invaluable presencia y compañía, por las risas y cientos de experiencias compartidas. Porque he aprendido cosas muy valiosas contigo y de ti. Tú y mis papás siempre serán lo más importante en mi vida, soy muy afortunada de que sean mi familia. Siempre contarás con mi apoyo, te amo mucho Morris.

A mi tía Luci y a mi tía Paty. Les agradezco el haberme brindado un espacio en su hogar durante mi infancia y especialmente durante mi paso por la Universidad. En especial le agradezco tía Luci, por su apoyo, cuidados y atenciones; sin duda ha sido una parte esencial en mi desarrollo.

También dedico este trabajo a Raziel, mi primo y segundo hermano. Soy muy afortunada por contar con tu compañía, mi infancia y la vida siempre han tenido un toque especial por las experiencias compartidas. Te quiero mucho Richie y siempre tendrás mi apoyo.

A mi familia Gómez Ríos: a Israel Gómez (†) y Biviana Ríos (†), mis abuelos; a Juan e Isabel, mis tíos; a Carolina y Ximena, mis primas. A mi familia Lara Galicia: a Félix Lara (†) y Jovita Galicia, mis abuelos; a Esmeraldo, Patricia, Lucía, Félix, Luciano, Getulio y Arturo, mis tíos; a todas mis primas y primos. Cada uno tiene un lugar muy importante en mi corazón y en mi vida pues me han acompañado, cuidado y apoyado durante distintos momentos de mi crecimiento. Definitivamente he aprendido valiosas lecciones de todos ustedes y han sido inspiración para seguir adelante. Doy gracias a Dios por contar y compartir la vida con todos ustedes, a donde vaya siempre me acompañarán.

A mis mejores amigas y amigos: Miry, Frida, Lupe, Ashley, Leo, Gabi, Aarón y Germán; por su valiosa amistad, compañía y apoyo durante los momentos difíciles, pero sobre todo porque han compartido conmigo muchos momentos enriquecedores y que llenan de alegría la vida.

A Leo, por su amistad, cariño, apoyo y motivación. Gracias porque has sido un gran apoyo en tiempos difíciles y una gran compañía en experiencias que me han llenado de felicidad y me han hecho crecer

Al resto de mis familiares, a mis compañeros de licenciatura, a mis profesores y a todas aquellas personas que han formado parte de mi vida, por las alegrías, experiencias y aprendizajes. Siempre les agradeceré y llevaré conmigo.

## RESUMEN

El 14% de la población infantil mexicana sufre problemas de desnutrición, principalmente por un acceso inadecuado a alimentos con buena calidad nutritiva. Para aportar en la solución de esta problemática surge la necesidad de desarrollar alimentos fortificados, inocuos y con una alta calidad nutrimental. Uno de los alimentos con gran facilidad para su fortificación son los cereales de desayuno debido a que las tecnologías desarrolladas para su procesamiento permiten utilizar ingredientes como la *Moringa oleifera* para aumentar su contenido de proteínas, fibra y algunos otros nutrientes. En el presente proyecto se obtuvo y caracterizó una harina de hojas de *Moringa oleifera* (HHM), la cual tuvo un 27.51% de proteínas, 12.41% de cenizas y 5.44% de fibra cruda. Por otra parte, la adición de 10% de HHM tuvo un impacto importante en la fortificación de mezclas de harinas (MH) para la producción de cereales de desayuno, ya que hubo un incremento del 20.3% en el contenido de proteína y 307.41% en el contenido de fibra de la MH fortificada con respecto a la MH sin moringa. Aunado a ello se realizó la extrusión de cereales de desayuno y un análisis de la influencia de la velocidad de tornillo y temperaturas sobre el porcentaje de humedad, índice de expansión (IE), índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad de agua (ISA); con lo que se encontró que la velocidad de tornillo fue el factor con mayor efecto en las características físicas de los cereales de desayuno y que una velocidad de 90 rpm brindó a los cereales de desayuno mejores IE, principalmente a 120, 150 y 180 °C. Finalmente, se estableció el programa de entrenamiento de un panel de evaluación sensorial de textura para cereales de desayuno, el cual permitió preparar a 15 jueces que obtuvieron 70% de repetibilidad promedio.

**Palabras clave:** *Moringa oleifera*, cereales de desayuno, extrusión.

# ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
LISTA DE ABREVIATURAS .....	xi
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Cereales de desayuno .....	6
2.1.1 Materias primas utilizadas en la elaboración de cereales de desayuno .....	7
2.1.2 Procesos de producción de cereales de desayuno listos para comer .....	7
2.1.3 Clasificación de cereales de desayuno listos para comer .....	9
2.1.4 Tipo y composición de los principales granos utilizados en la producción cereales de desayuno.....	10
2.1.5 Propiedades fisicoquímicas del almidón .....	15
2.2 Tecnología de extrusión .....	16
2.2.1 Funcionamiento y componentes de un extrusor .....	18
2.2.2 Factores que influyen en las características del producto extrudido .....	19
2.3 <i>Moringa oleifera</i> .....	21
2.4 Entrenamiento de un panel de evaluación sensorial.....	23
2.4.1 Etapas de entrenamiento de un panel de evaluación sensorial .....	25
3. ANTECEDENTES.....	31
3.1 Fortificación y enriquecimiento de cereales de desayuno .....	32
3.2 Evaluación nutricional de cereales de desayuno listos para comer del mercado mexicano ....	33
3.3 Aporte nutrimental de la <i>Moringa oleifera</i> .....	36
3.4 Fortificación de alimentos con <i>Moringa oleifera</i> .....	40
3.5 Entrenamiento de paneles de evaluación sensorial .....	41
4. JUSTIFICACIÓN .....	44
5. OBJETIVOS .....	46
5.1 Objetivo general .....	47
5.2 Objetivos específicos.....	47
6. METODOLOGÍA .....	48

6.1 Obtención de materia prima .....	49
6.2 Obtención de harina de hojas de <i>Moringa oleifera</i> .....	49
6.3. Caracterización fisicoquímica de la harina de hojas de <i>Moringa oleifera</i> .....	50
6.3.1 Determinación de humedad.....	50
6.3.2 Determinación de cenizas.....	50
6.3.3 Determinación de proteína .....	51
6.3.4 Determinación de extracto etéreo.....	52
6.3.5 Determinación de fibra cruda.....	53
6.4 Fortificación de mezclas de harinas para la producción de cereales de desayuno .....	54
6.4.1 Determinación de la composición proximal de las mezclas para la producción de cereales de desayuno.....	55
6.4.2 Análisis estadístico.....	55
6.5 Determinación de las condiciones de extrusión .....	55
6.5.1 Diseño experimental.....	55
6.5.2 Obtención del cereal de desayuno .....	57
6.5.3 Determinación de humedad.....	57
6.5.4 Determinación del índice de expansión.....	57
6.5.5 Determinación del índice de absorción e índice de solubilidad de agua .....	58
6.5.6 Análisis estadístico.....	58
6.6 Entrenamiento de un panel de evaluación sensorial de textura para cereales de desayuno ....	58
6.6.1 Reclutamiento.....	58
6.6.2 Selección de jueces.....	59
6.6.3 Entrenamiento .....	62
6.6.4 Validación del panel.....	66
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
PARTE 1. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE HARINA DE HOJAS DE <i>Moringa oleifera</i> .....	69
Obtención de la harina de hojas de <i>Moringa oleifera</i> .....	69
Caracterización fisicoquímica de la harina de hojas de <i>Moringa oleifera</i> .....	69
PARTE 2. FORTIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HARINAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES DE DESAYUNO .....	72
PARTE 3. DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EXTRUSIÓN .....	76



PARTE 4. ENTRENAMIENTO DE UN PANEL DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE TEXTURA PARA CEREALES DE DESAYUNO .....	85
Selección de jueces.....	85
Entrenamiento .....	89
Validación del panel.....	98
8. CONCLUSIONES .....	101
9. PERSPECTIVAS .....	104
10. BIBLIOGRAFÍA.....	106
11. APÉNDICES.....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura y composición de un grano de trigo integral .....	11
Figura 2. Representación esquemática de un extrusor monotornillo. ....	19
Figura 3. Árbol de moringa y partes que lo componen. ....	23
Figura 4. <i>Moringa oleifera</i> : hojas y harina de hojas. ....	69
Figura 5. Comparación del contenido de humedad, proteína, extracto etéreo y cenizas de harina de hojas de <i>Moringa oleifera</i> cultivada en distintas zonas geográficas .....	70
Figura 6. Diagramas de Pareto de efectos estandarizados para las variables de respuesta .....	77
Figura 7. Gráficas de efectos principales para las variables de respuesta .....	79
Figura 8. Gráficas de interacción para las variables de respuesta .....	80
Figura 9. Gráfica de porcentaje de aciertos de la prueba de selección de productos crujientes. ....	86
Figura 10. Gráfica de porcentaje de aciertos en la prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia. ....	87
Figura 11. Gráfica de porcentaje de aciertos en la prueba de comparación triangular.....	88
Figura 12. Puntuaciones de intensidad de crujencia otorgadas por cada evaluador.....	91
Figura 13. Orden de crujencia de cereales otorgados por cada evaluador. ....	92
Figura 14. Gráfica de puntuaciones de nivel de agrado de crujencia. ....	94
Figura 15. Porcentaje de aciertos de prueba de comparación por pares.....	95
Figura 16. Porcentaje de aciertos de prueba comparativa triangular.....	96
Figura 17. Porcentaje de aciertos de prueba dúo-trío. ....	97
Figura 18. Gráfica de porcentaje de aciertos de la prueba de comparaciones múltiples. ....	99
Figura 19. Gráfica de porcentaje de repetibilidad de la prueba de comparaciones múltiples. ....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición general de los principales cereales utilizados en la elaboración de cereales de desayuno.....	12
Tabla 2. Información nutrimental de cereales de desayuno comercializados en México .....	35
Tabla 3. Comparación de resultados promedio del análisis proximal de hojas frescas, vainas y semillas de <i>Moringa oleifera</i> .....	37
Tabla 4. Comparación de nutrientes presentes en la <i>Moringa oleifera</i> y otros alimentos. ....	37
Tabla 5. Comparación del contenido nutrimental de hojas frescas y harina de hojas de <i>Moringa oleifera</i> .....	38
Tabla 6. Composición de aminoácidos de hojas secas de <i>Moringa oleifera</i> .....	39
Tabla 7. Aumento de nutrientes en productos fortificados con harina de hojas de <i>Moringa oleifera</i> . .....	41
Tabla 8. Formulación de mezcla de cereales.....	54
Tabla 9. Formulación de mezclas de harinas para la producción de cereales de desayuno .....	55
Tabla 10. Descripción de factores y niveles del diseño experimental para la determinación de las condiciones de extrusión .....	56
Tabla 11. Relación de experimentos para el procesamiento del cereal de desayuno .....	56
Tabla 12. Muestras utilizadas en la prueba de clasificación de productos crujientes y no crujientes	60
Tabla 13. Muestras utilizadas en la prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia .....	61
Tabla 14. Muestras utilizadas y diferencias aplicadas en el test de comparación triangular .....	62
Tabla 15. Muestras de cereales comerciales .....	63
Tabla 16. Muestras utilizadas en la prueba de comparación por pares de decisión no forzada y prueba comparativa triangular.....	64
Tabla 17. Series de muestras utilizadas en la prueba de comparación por pares de decisión no forzada.....	64
Tabla 18. Orden de muestras utilizadas en la prueba comparativa triangular de crujencia .....	65
Tabla 19. Muestras utilizadas en la prueba comparativa dúo-trío.....	65
Tabla 20. Muestras utilizadas en la prueba de comparaciones múltiples.....	66
Tabla 21. Composición proximal de productos alimenticios enriquecidos con harina de hojas de moringa en diferentes concentraciones .....	73
Tabla 22. Resultados del análisis de varianza del diseño factorial $(3 \times 3)^2$ .....	76
Tabla 23. Valores promedio de las variables de respuesta para los niveles de cada factor.....	78
Tabla 24. Porcentajes de aciertos obtenidos por evaluadores en las pruebas de pre-selección.....	89
Tabla 25. Puntuaciones promedio de la intensidad de crujencia de cereales de desayuno comerciales .....	90
Tabla 26. Suma de rangos obtenidos en la prueba de ordenamiento de la crujencia de cereales de desayuno comerciales.....	92
Tabla 27. Nivel de agrado de la crujencia de cereales de desayuno comerciales.....	93
Tabla 28. Porcentajes de aciertos obtenidos por cada evaluador en las pruebas de entrenamiento ..	98

## LISTA DE ABREVIATURAS

IAA	Índice de absorción de agua
IE	Índice de expansión
IAA	Índice de solubilidad de agua
HHM	Harina de hojas de moringa
MH	Mezclas de harinas
msnm	Metros sobre el nivel del mar
rpm	Revoluciones por minuto
RTE	<i>Ready to eat</i>

# **1. INTRODUCCIÓN**

De acuerdo a lo abordado en la Cumbre Mundial Sobre la Alimentación llevada a cabo en 1996, la seguridad alimentaria implica que “todas las personas tengan en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos, que satisfagan sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana” (FAO, 2018). Cuando lo anterior no se cumple se dice que existe un estado de inseguridad alimentaria, el cual tiene como principal consecuencia un incremento en el número de personas con desnutrición.

La desnutrición es provocada por un déficit en la ingesta de nutrientes y tiene efectos negativos en el desarrollo cognitivo y motriz, afecta el sistema inmunológico e influye en el desarrollo de enfermedades crónico degenerativas (Shamah-Levy et al., 2015). En México, al menos 14% de la población infantil tiene este padecimiento y una de las causas principales es el deficiente acceso a alimentos de alta calidad nutrimental debido a los índices de pobreza; siendo Chiapas, Guerrero y Oaxaca, los estados con mayor porcentaje (CONEVAL, 2020; INSP, 2016; Urquía-Fernández, 2014).

En un estudio desarrollado por Menal-Puey et al. (2011) se encontró que uno de los alimentos más consumidos por los niños son los cereales de desayuno. Los cereales de desayuno pueden elaborarse a partir de cereales como el maíz, trigo, avena, entre otros; y pueden obtenerse mediante el proceso de extrusión. Se caracterizan por tener una textura crujiente y una de las ventajas que ofrecen al consumidor es la facilidad de consumo, pues muchos de ellos no requieren una preparación previa.

La textura de los cereales de desayuno es una de sus características más importantes ya que está intrínsecamente relacionada con su aceptación en el mercado. Esta puede ser evaluada mediante el uso de texturómetros; sin embargo, se ha visto que los análisis sensoriales son de suma importancia, pues con ellos puede evaluarse el efecto que tiene la masticación sobre la textura del producto.

La tecnología de extrusión permite obtener cereales de desayuno con una amplia gama de tamaños, formas y texturas a partir de mezclas de harinas y otros ingredientes, lo que facilita el uso de diversos alimentos para su fortificación. Sin embargo, es importante realizar un análisis de las condiciones de procesamiento, ya que estas tendrán una influencia importante en las características del producto terminado (Atwell & Finnie, 2016; Caldwell et al., 2016).

Generalmente, los cereales de desayuno se enriquecen con vitaminas y minerales para compensar la pérdida de nutrientes que ocurre durante su procesamiento; sin embargo, en los últimos años ha aumentado el interés por desarrollar cereales con un menor contenido de azúcares y fortificarlos con ingredientes ricos en proteína y fibra (Wiemer, 2018).

La *Moringa oleifera* ha tenido un gran impacto en el desarrollo de productos fortificados debido a que es una planta que brinda un alto aporte de proteínas y fibra; además de que presenta cantidades significativas de vitaminas A y C, calcio, hierro y potasio. En el caso de la harina de hojas de moringa se ha encontrado que su contenido de

proteína puede alcanzar entre 28.65 y 30.29%, mientras que su contenido de hierro ronda entre 49.00 y 103.12 mg/100 g de harina (Alfaro, 2008).

Debido a lo descrito anteriormente, en el presente proyecto se obtuvo y caracterizó harina de hojas de *Moringa oleífera*, además de analizar su impacto en la fortificación de una mezcla de harinas que puede ser utilizada para la obtención de cereales de desayuno. Por otra parte, se realizó un análisis de las condiciones de extrusión para evaluar el efecto de la temperatura de extrusión y velocidad de tornillo en las características de humedad y expansión de cereales de desayuno, lo cual permitió seleccionar los parámetros para obtener un producto con una textura adecuada. Finalmente, se estructuró y puso en marcha un programa para el entrenamiento de un panel de evaluación sensorial enfocado a evaluar la crujencia de cereales de desayuno, el cual puede implementarse en futuros proyectos relacionados al desarrollo de cereales de desayuno.



## **2. MARCO TEÓRICO**

## **2.1 Cereales de desayuno**

Los cereales de desayuno son productos alimenticios en hojuelas, copos, granulados, expandidos o desmenuzados, elaborados a base de materias primas de buena calidad sanitaria (Caldwell et al., 2016; SPFI, 1980). El origen de los cereales de desayuno se remonta al siglo XIX en Estados Unidos, cuando John Harvey y Will Keith Kellogg comenzaron a experimentar en la producción de alimentos elaborados a base de cereales. Su principal innovación fueron los copos de maíz tostado, que se convirtieron en el producto principal de la empresa Battle Creek Toasted Corn Flake Company, fundada en 1906 y conocida actualmente como Kellogg's® (AEFC, 2010; Valenzuela & Valenzuela, 2015).

Los cereales de desayuno se clasifican en dos grandes grupos de acuerdo a su proceso de producción, como cereales calientes (cereales arrollados, copos precocidos, y sémolas con un procesamiento mínimo) y cereales de desayuno listos para comer (RTE, por sus siglas en inglés), siendo estos últimos los de mayor importancia comercial debido a que representan el 86% de los cereales del mercado (Atwell & Finnie, 2016; Caldwell et al., 2016).

La facilidad de preparación y consumo, así como la accesibilidad en materia de costos han posicionado a los cereales de desayuno como una opción de desayuno atractiva en comparación con otros alimentos. A pesar de ello, su consumo se ha estigmatizado durante los últimos años debido a que algunos de estos productos, principalmente aquellos dirigidos al mercado infantil, contienen cantidades elevadas de azúcares añadidos y se

recomienda consumirlos moderadamente a fin de evitar problemas de obesidad (Caldwell et al., 2016; PROFECO, 2011).

#### 2.1.1 Materias primas utilizadas en la elaboración de cereales de desayuno

Los cereales como el maíz amarillo, trigo, avena y arroz, son la principal materia prima utilizada para la producción de los cereales de desayuno RTE; los cuales pueden procesarse enteros, troceados o molidos. En conjunto con los cereales puede utilizarse azúcar, sal, cacao, frutos secos, endulzantes (miel, jarabe de maíz, jarabe de malta y maltodextrinas), saborizantes (esencias de frutas, extractos vegetales y cocoa) y en ocasiones, algunos emulsificantes, estabilizantes y agentes leudantes (como bicarbonato de sodio) (AEFC, 2010; Atwell & Finnie, 2016; Caldwell et al., 2016).

#### 2.1.2 Procesos de producción de cereales de desayuno listos para comer

Los cereales de desayuno RTE tienen su origen en el siglo XIX y desde entonces sus procesos de elaboración han tenido constantes cambios e incluso se han adoptado técnicas que permiten la obtención de una mayor variedad de productos. En cada proceso los cereales se someten a operaciones que favorecen cambios estructurales, provocando que estallen, se expandan, se hinchen o se aplasten, dependiendo de las características que se busquen para el producto final.

Los primeros productos en ser desarrollados en la industria de cereales de desayuno RTE fueron los cereales en copos y en la actualidad algunas empresas siguen empleando el método tradicional para su producción. Las operaciones que se llevan a cabo en el método

tradicional son: recepción de materia prima, mezclado, cocción, secado, reposo, laminado, tostado, enfriado y empaquetado (Dendy & Dobraszcyk, 2003).

Otro de los procesos principales para la obtención de cereales de desayuno es el inflado en cañones de soplado, los cuales son recipientes de acero equipados con quemadores, capaces de contener vapor a muy alta temperatura y presión. En este procedimiento se colocan los granos enteros o aglomerados de mezclas de harinas con un porcentaje de agua determinado dentro del cañón, el cual se sella para elevar la temperatura hasta 200-260 °C y alcanzar una presión aproximada de 1380 kPa (200 psi). Posteriormente se activa un sistema de apertura rápida que genera una caída repentina de la presión y provoca que la humedad de los granos se evapore, expandiendo el producto hasta 16 veces su tamaño original. Por último, los granos inflados se someten a un calentamiento final en donde se reduce su humedad hasta 1-3% y en donde pueden aplicarse recubrimientos con azúcar o enriquecimiento (Caldwell et al., 2016).

Finalmente se encuentra la tecnología de extrusión, la cual permite obtener cereales en copos, inflados, triturados y expandidos, a partir de harinas de granos o mezclas de harinas. El proceso de extrusión permite tener etapas de mezclado, amasado, cocción, formado y texturizado continuo dentro de un mismo equipo; por lo que es ideal para procesar grandes cantidades de materia prima (Robin & Palzer, 2015).

### 2.1.3 Clasificación de cereales de desayuno listos para comer

Los cereales de desayuno RTE pueden clasificarse de acuerdo a los ingredientes con los que se elaboran o a la tecnología de fabricación a la que son sometidas sus materias primas.

Una de las principales regulaciones mexicanas para los cereales de desayuno es la NMX-F-350-S-1980 “Cereales precocidos para infantes y niños de corta edad, hojuelas y/o granulados de harina de maíz con chocolate”, que clasifica a los cereales en 3 tipos: simples, mixtos y combinados. Así mismo, la Asociación Española de Fabricantes de Cereal (AEFC, 2011) y Cadwell et al. (2016) comentan que los cereales de desayuno RTE pueden clasificarse en cereales integrales, copos procesados, cereales inflados y cereales extrudidos.

***Cereales simples.*** Se consideran como cereales simples aquellos elaborados únicamente con harina de maíz. Estos pueden contener cocoa y ser enriquecidos, o no, con nutrientes.

***Cereales mixtos.*** Se clasifican como cereales mixtos aquellos elaborados con un mínimo de 50% de harina de maíz, además pueden incluir harinas de otros cereales. Estos pueden contener cocoa y ser enriquecidos, o no, con nutrientes.

***Cereales combinados.*** Se consideran como cereales combinados aquellos elaborados con un mínimo de 50% de harina de maíz, además de incluir otros ingredientes. Pueden contener cocoa y ser enriquecidos o no.

***Cereales en copos.*** Son aquellos en los se procesan los granos enteros, partes de granos o materias finamente molidas que primero se cuecen en tambores (Corn Flakes, Kellogg's®) o pasan por un proceso de extrusión (Corn Flakes, Nestlé®) para formar gránulos y posteriormente se laminan para la obtención de copos. Suelen estar mezclados con endulzantes, saborizantes y colorantes.

***Cereales inflados.*** Son cereales elaborados mediante la insuflación de aire a presión en granos (Choco krispis, Kellogg's®) o aglomerados de masa elaborada con harinas de uno o más granos.

***Cereales extrudidos.*** La aplicación de la extrusión permite obtener cereales expandidos con distintas formas a partir de harinas de granos o mezclas de harinas y otros ingredientes mediante la formulación, preacondicionamiento, cocción por extrusión y conformado; por ejemplo, Nesquick® y Cheerios de Nestlé®.

#### 2.1.4 Tipo y composición de los principales granos utilizados en la producción cereales de desayuno

Además del sabor y la apariencia, la textura es una característica de suma importancia en los cereales de desayuno, debido a que influye en las preferencias de los consumidores.

Los cereales de desayuno se caracterizan por tener una textura crujiente, la cual se basa en las propiedades mecánicas y acústicas al momento del consumo. Dichos parámetros están determinados por las características micro y macroestructurales del producto, las

cuales dependen principalmente de la composición y propiedades de los cereales, así como de las materias primas utilizadas durante el procesamiento (Robin & Palzer, 2015).

Los granos de trigo se componen de tres partes principales: el endospermo, salvado y germen (Figura 1). El endospermo es la fracción más grande de los granos y se compone principalmente de almidón (65-70%) y proteínas de gluten; la fracción de salvado es aproximadamente 12 a 15% del grano y está compuesta por 45-50% de fibra dietética; mientras que el germen, rico en vitaminas, proteínas y lípidos, representa alrededor del 5% del peso del grano (Atwell & Finnie, 2016; Robin & Palzer, 2015).

Con una estructura similar al trigo, el maíz se compone de tres fracciones: el endospermo, que representa aproximadamente el 82% del grano; el germen, que representa del 10 a 12% del grano; y el pericarpio, que representa aproximadamente 8% del peso.

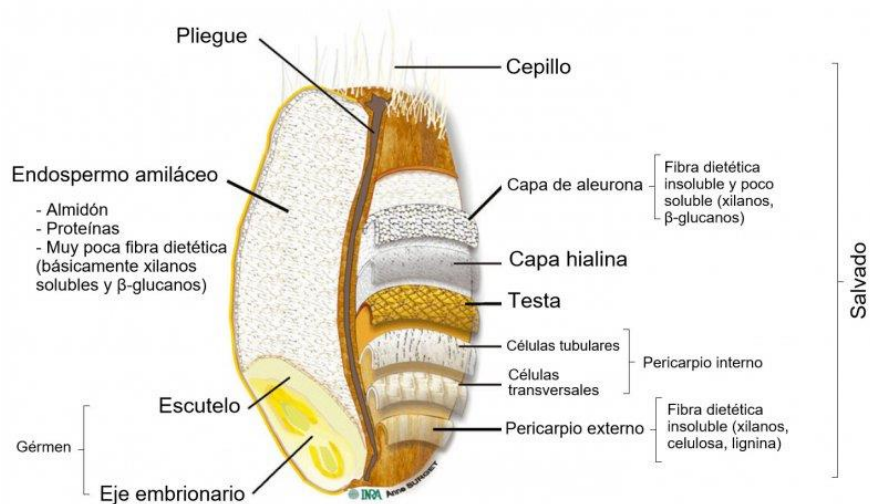


Figura 1. Estructura y composición de un grano de trigo integral. Recuperado de: Ficha técnica: Xilanasas (Solá-Oriol, 2019).

En la Tabla 1 se muestra la composición nutrimental de los principales cereales utilizados en la producción de cereales de desayuno. Se observa que, con excepción de la avena, los granos tienen un contenido similar en el porcentaje de carbohidratos, componente principal de los cereales; sin embargo, existe una diferencia en el contenido de proteína y fibra. Es por ello que comúnmente se utilizan mezclas de cereales; por ejemplo, el maíz que suele combinarse con el trigo para la obtención de cereales extrudidos debido a que mejoran su tamaño y textura crujiente.

Al someter los granos al proceso de obtención de harinas y refinado, se eliminan las fracciones de salvado y germen, por lo que las harinas se componen principalmente de almidón y son ricas en calorías.

*Tabla 1.* Composición general de los principales cereales utilizados en la elaboración de cereales de desayuno

<i>Cereal</i>	<i>Humedad (%)</i>	<i>Carbohidratos (%)</i>	<i>Proteína (%)</i>	<i>Lípidos (%)</i>	<i>Fibra (%)</i>
Maíz (entero)	10.9	76.9	6.9	3.9	7.3
Trigo (entero)	10.7	72.0	13.2	2.5	10.7
Avena (entera)	9.5	48.0	11.5	5.5	32.0
Arroz	12.0	76.5	7.2	2.8	4.6

Fuentes: Texture of breakfast cereals and extruded products (Robin & Palzer, 2015);

Industrias de cereales y derivados (Callejo-González, 2002).



### ***Maíz***

El maíz (*Zea mays*) de variedad amarilla es el principal cereal utilizado para la producción de cereales de desayuno RTE a nivel mundial (AEFC, 2010). El grano de maíz se compone de 76.9% de carbohidratos, 6.9% de proteínas y 3.9% de lípidos, además presenta un contenido de fibra de 7.3%. Este cereal contiene principalmente vitaminas del grupo B y vitamina E. También destaca su contenido de potasio, fósforo, magnesio y calcio, por lo que es una materia prima con un importante valor nutricional para la producción de cereales de desayuno (AEFC, 2010).

Durante el año 2020, el maíz amarillo alcanzó una producción total de 15 millones de toneladas en nuestro país, destacando el estado de Sinaloa como principal productor (SADER, 2020b).

### ***Trigo***

Después del maíz, el trigo es el cereal de mayor consumo en México y es utilizado principalmente para la producción de harinas que sirven como materia prima para productos de panificación, repostería, tortillas, entre otros; además de ser utilizado en la producción de cereales de desayuno RTE. Del total de nutrientes que aporta el trigo en la dieta, el 72% corresponde a carbohidratos, 13% a proteínas, 10.7% a fibra y 2.5% a los lípidos. El trigo es una fuente importante de minerales como el fósforo, potasio, magnesio y calcio.

Actualmente este es el principal cereal cultivado a nivel mundial, pues su producción ha alcanzado hasta 760 millones de toneladas anuales, las cuales representan el

28.5% de la producción total de cereales (Dendy & Dobraszczyk, 2003; FAO, 2018). El estado de Sonora es el principal productor de trigo en México y durante el ciclo otoño-invierno de 2020, la producción nacional de este grano alcanzó las 119 mil 394 toneladas (SADER, 2020a).

### *Avena*

Este cereal se caracteriza por tener un gran valor nutrimental pues una porción de 100 g de este grano contiene 48% de carbohidratos (almidón y azúcares totales), 32% de fibra, 11.5% de proteína bruta, 5.5% de grasas y 3% de cenizas. La fibra de la avena destaca por la presencia de  $\beta$ -glucano en su fracción insoluble, el cual es un compuesto capaz de reducir el colesterol presente en la sangre. Comparada con otros cereales, la proteína de la avena tiene un mayor valor biológico debido a que su contenido de aminoácidos esenciales es mayor y no hay una deficiencia remarcable de lisina o triptófano como ocurre en otras especies de cereal. La avena es rica en ácidos grasos insaturados, de los que destacan el ácido linoleico y oleico; además, la concentración de lípidos de este cereal es mayor comparada con otros granos. Es una buena fuente de vitaminas (vitaminas del complejo B y vitamina E), minerales (potasio, calcio, fósforo y magnesio) y antioxidantes (tocoferoles, tocotrienoles, esteroides, ácido fítico y derivados del ácido caféico y ácido ferúlico), (Callejo-González, 2002; Dendy & Dobraszczyk, 2003).

Este alimento ocupa el cuarto lugar de producción de cereales en México y en el año 2019 el estado de Durango fue el principal productor, pues generó un 27.6% del total nacional (SIAP, 2020).

### 2.1.5 Propiedades fisicoquímicas del almidón

El almidón es el principal componente de los cereales y está dispuesto como gránulos semicristalinos con una estructura muy ordenada que se compone de dos polímeros, amilosa y amilopectina. La amilosa es un polisacárido compuesto de moléculas de D-glucopiranosas unidas mediante un enlace  $\alpha(1-4)$ , las cuales forman cadenas que pueden adquirir una conformación tridimensional helicoidal. Por otra parte, la amilopectina cuenta con ramificaciones que están unidas a un arco central (similar a la amilosa) mediante enlaces  $\alpha(1-6)$  dispuestas cada 15 a 25 unidades de glucosa.

Generalmente los almidones se componen aproximadamente de 17 a 20% de amilosa, mientras que el resto es amilopectina; sin embargo, existen algunas variedades denominadas “céreas” que se componen casi por completo de amilopectina. La composición de amilosa y amilopectina de un cereal puede influir en sus propiedades sensoriales y reológicas debido a su capacidad de hidratación y gelatinización.

Los gránulos de almidón son birrefringentes, ya que tienen dos índices de refracción y forman la denominada “cruz de malta” al ser irradiados con luz polarizada. Esta propiedad se debe a que los gránulos se componen de zonas cristalinas causadas por las moléculas de amilosa ordenadas paralelamente mediante puentes de hidrógeno, y de zonas amorfas causadas principalmente por la amilopectina (Badui-Dergal, 2006).

### 2.1.6 Gelatinización y retrogradación del almidón

Los gránulos de almidón suelen ser insolubles en agua debido a que tienen una alta estabilidad, producto de la estructura organizada que les confiere las interacciones que

existen entre los polisacáridos que los conforman; sin embargo, al calentarse comienza un proceso lento de absorción de agua en las zonas amorfas y conforme se incrementa la temperatura se retiene más agua, de manera que el gránulo comienza a hincharse y aumentar de volumen sin que exista un aumento considerable de viscosidad. Durante el proceso de hinchamiento granular los enlaces de hidrógeno entre las cadenas de almidón se eliminan y se reemplazan por enlaces de hidrógeno entre el almidón y las moléculas de agua. Ya que la zona amorfa se ha hidratado completamente, la zona cristalina comienza un proceso similar que requiere mayor energía. Si se administra más calor el gránulo hinchado se rompe parcialmente, y la amilosa y amilopectina fuertemente hidratadas, quedan dispersadas en una disolución. Este proceso de transición del estado ordenado de los gránulos insolubles de almidón a un estado desordenado de la disolución de las moléculas de forma individual, se denomina gelatinización. La temperatura y humedad son los principales factores de los cuales depende la gelatinización del almidón. Se denomina temperatura de gelatinización a la temperatura en la que el gránulo de almidón alcanza su volumen máximo de hidratación y pierde su estructura ordenada, su patrón de difracción de rayos X y su propiedad de birrefringencia (Badui-Dergal, 2006; Robin & Palzer, 2015).

Posteriormente, conforme la pasta caliente comienza a enfriarse, las moléculas de amilosa se precipitan produciendo un aumento en su viscosidad. Dicho proceso se conoce como retrogradación.

## **2.2 Tecnología de extrusión**

El proceso de extrusión puede definirse como “el moldeado o conformación de una sustancia blanda o plástica mediante tratamiento por calor y fuerzas de corte y fricción

mecánicas, hasta hacerla pasar por un orificio con forma especial para conseguir una estructura y características determinadas” (Dendy & Dobraszczyk, 2003).

La extrusión en el área de alimentos tiene su origen alrededor de 1797, cuando se utilizaba un dispositivo de un eje para el procesamiento de embutidos. Posteriormente, a mediados de la década de 1930, comenzó a utilizarse para la producción de pastas italianas y a finales de esa década se obtuvieron los primeros cereales de desayuno a partir de mezclas precocidas. En la década de 1950 comenzaron a incorporarse sistemas de calentamiento en el interior de las carcasas (cocción por extrusión con expansión directa), con lo cual inició la producción de botanas y permitió innovar en la producción de cereales de desayuno RTE. En la actualidad la extrusión es empleada para la producción de diversos alimentos de consumo humano como papillas infantiles, botanas y cereales de desayuno; además es utilizada para la obtención de piensos y alimentos para animales; así como en la producción de ingredientes para la industria alimentaria (proteínas texturizadas, harinas pregelatinizadas, ingredientes de bebidas instantáneas, almidones modificados, entre otros) (Martínez-Ascencio, 2011).

Dentro de los procesos de extrusión, el proceso de cocción por extrusión con expansión directa es el más utilizado para la producción de cereales de desayuno RTE. Se considera una operación unitaria continua en la que se realizan las funciones de mezclado, amasado, cizallamiento, calentamiento, conformación, texturizado y deshidratación de materiales alimenticios (Ramírez-Ruíz et al., 2013). Las materias primas son sometidas a temperaturas altas por tiempos muy cortos, por lo que la cocción del producto se realiza rápidamente, aumentando el ahorro de energía durante el proceso y con una mínima

degradación de nutrientes (Moreno-Reyes et al., 2002). Por otra parte, las materias primas sufren cambios en su composición química, como la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas, los cuales promueven mejoras en la digestibilidad y la modificación de su estructura física, generando productos con una estructura expandida y alta estabilidad (Dos-Santos-Fernandes et al., 2002; Lezcano & Cuggino, 2019).

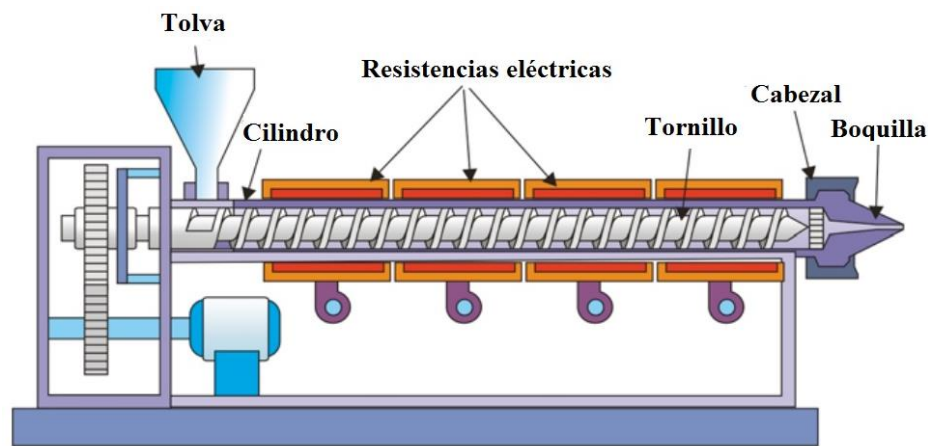
Debido a que es un proceso automatizado se tiene una gran capacidad de producción, la cual va desde 315 kg/h para snacks, hasta 1200 k/h para algunos cereales de baja densidad. Otra de las ventajas de este proceso es que la producción de una gran cantidad de producto en poco tiempo tiene como resultado un menor coste del proceso (Dendy & Dobraszczyk, 2003; Llopart, 2011).

### 2.2.1 Funcionamiento y componentes de un extrusor

Los principales equipos utilizados en la industria alimentaria son los extrusores de tornillo sin fin (Figura 2). Estos equipos deben disponer de un sistema de alimentación compuesto por una tolva de alimentación; un sistema de fusión y plastificación compuesto por las resistencias que permiten el calentamiento; un sistema de bombeo y presurización en el que se ubica el tornillo sin fin dispuesto al interior de un cilindro; y, por último, un sistema de conformado compuesto por un cabezal unido a la boquilla que puede disponer también de una cuchilla de corte transversal.

La materia prima se introduce en la tolva de alimentación con una humedad de 10 a 20% y es arrastrada por el tornillo sin fin a través del cuerpo del extrusor, el cual se calienta mediante resistencias eléctricas. La fricción entre la materia prima y el tornillo, así como el

calentamiento del cilindro, provocan que la materia prima con una estructura granular se transforme en una masa semisólida plástica. En la zona final, el extrusor cuenta con un dado de menor diámetro que provoca el aumento de presión y permite formar el producto dentro de la boquilla del extrusor. La presión ejercida sobre la materia prima provoca que al salir el producto, el agua se evapore rápidamente y este se expanda (Beltrán & Marcilla, 2012; Dendy & Dobraszcyk, 2003; González et al., 2002).



*Figura 2.* Representación esquemática de un extrusor monotornillo. Recuperado de: Extrusión (Beltrán & Marcilla, 2012).

### 2.2.2 Factores que influyen en las características del producto extrudido

Los principales parámetros que influyen en las características del producto extrudido son las condiciones de extrusión y las características de la materia prima.

Las condiciones de extrusión engloban las temperaturas de extrusión, velocidad de tornillo, tipo de tornillo (relación de compresión) y diámetro de boquilla. Por otra parte, las características de la materia prima que deben ser tomadas en cuenta para la selección de los

parámetros de extrusión son el porcentaje de humedad (10-20% para la cocción por extrusión con expansión directa), estado físico de los componentes y composición química (contenido de almidón, fibra, proteínas y grasa) (Caldwell et al., 2016; Dendy & Dobraszczyk, 2003; Manrique-Quevedo et al., 2007).

El grado de cocción es una de las características que dependen de las condiciones del proceso y de la materia prima. Este suele aumentar a medida que se incrementa la temperatura del extrusor y la relación de compresión del tornillo; así como con la disminución de la humedad de la muestra y el diámetro de la boquilla, debido a que se provoca un aumento de la presión que es ejercida sobre el material. Otro parámetro que tiene influencia en el grado de cocción es la velocidad de tornillo ya que, si esta aumenta, la materia prima tiene un menor tiempo de residencia en el barril del extrusor. Lo anterior puede provocar mayores esfuerzos de corte, por lo que es importante evaluar cuál es el efecto de mayor magnitud (González et al., 2002; Manrique-Quevedo et al., 2007).

Cabe mencionar que el grado de cocción está relacionado con otras propiedades como el índice de expansión (IE), volumen específico, textura del producto, así como el índice de absorción (IAA) e índice de solubilidad de agua (ISA).

La expansión se puede medir como el crecimiento longitudinal y radial del producto. Al relacionar el crecimiento radial del extrudido y el diámetro de la boquilla se obtiene el IE; mientras que, al relacionar el diámetro y la longitud del extrudido con el peso de los productos de extrusión se obtiene el volumen específico.



El IAA e ISA son propiedades funcionales de los almidones extrudidos que permiten evaluar el efecto de las condiciones de extrusión y de la materia prima sobre las propiedades del producto. Estos parámetros son evaluados al dispersar en agua los almidones extrudidos. En diversos estudios se ha encontrado que el IAA aumenta cuando hay una mayor cantidad de almidón dañado, lo cual es provocado por un aumento en la velocidad de tonillo y temperaturas de extrusión, así como una disminución en la humedad de la muestra (Manrique-Quevedo et al., 2007; Moreno-Reyes et al., 2002).

Otra característica de suma importancia en los cereales de desayuno es la textura, la cual puede evaluarse mediante análisis instrumentales y análisis sensoriales de crujencia y dureza del producto (Llopart, 2011; Wójtowicz et al., 2015).

### **2.3 *Moringa oleifera***

La *Moringa oleifera* es una planta perteneciente al género moringa y es originaria de África oriental, así como del noreste de la India y Bangladesh en el continente asiático. Se tienen indicios de que su introducción al continente americano tuvo lugar en el año 1920 (Alfaro-Villatoro & Martínez, 2008). Se cree que la planta de moringa fue traída a México por marineros filipinos, quienes la utilizaban como alimento en la ruta comercial Manila-Acapulco; sin embargo, con el paso de los años fue utilizada principalmente como una planta de ornato en nuestro país (Gómez & Angulo, 2014; Olson & Alvarado-Cárdenas, 2016).

En el continente asiático ha sido utilizada como alimento desde miles de años atrás, sin embargo, fue hasta la década de los noventa cuando el consumo de esta planta aumentó

en México, ya que se dieron a conocer estudios en los que se mencionan las propiedades benéficas que la ingesta de moringa puede tener para la salud. Entre los principales beneficios que tiene el consumo de moringa destaca su actividad quimioprotectora, propiedades antiinflamatorias, actividad antimicrobiana, efectos como agente hipocolesterolémico y su elevado aporte de proteínas (Alfaro-Villatoro & Martínez, 2008; Olson & Alvarado-Cárdenas, 2016; Pandey et al., 2014).

Los árboles de moringa suelen tener una altura menor a 10 m y se encuentran compuestos por hojas de color verde claro, delgadas, oblongas u ovaladas con un tamaño de 1 a 2 cm; flores con pétalos blancos y estambres amarillos; así como frutos que se encuentran dispuestos en vainas (Figura 3). Las vainas contienen de 12 a 25 semillas de color castaño cubiertas de alas blanquecinas (Perez et al., 2010).

La planta de moringa se puede encontrar principalmente en riberas de ríos localizados en tierras bajas, cuyo clima es cálido, sin embargo, su crecimiento puede darse en zonas áridas y en áreas desde 0 hasta 1800 msnm. A pesar de que la moringa es resistente a sequías, el mantenimiento de un estado de estrés hídrico de los cultivos podría afectar su producción, por lo cual es importante mantener los plantíos de moringa en condiciones de riego controladas (Alfaro, 2008).



*Figura 3.* Árbol de moringa y partes que lo componen.

Actualmente, los estados con mayor producción de moringa en México son Guerrero, Michoacán y Oaxaca. En Oaxaca la mayor parte de los plantíos de moringa se ubican en municipios con clima cálido-húmedo de la costa e istmo, entre los que destacan San Pedro Pochutla, Santo Domingo Tehuantepec, Santo Domingo Petapa, Santa María Huatulco, Magdalena Tequisitlán y San Pedro Mixtepec (Olson & Alvarado-Cárdenas, 2016).

#### **2.4 Entrenamiento de un panel de evaluación sensorial**

Mediante la evaluación sensorial se realiza la medición y cuantificación de las características de un producto que son percibidas por los sentidos humanos. Estas características comprenden la apariencia (color, tamaño, forma, uniformidad, etc.), olor (compuestos que contribuyen al aroma), gusto (dulce, amargo, salado y ácido), textura

(dureza, crujencia, viscosidad, gomosidad, etc.) y sonido (sonidos relacionados con la textura, como crujido, efervescencia, entre otros) (Pedrero & Pangborn, 1989).

La implementación de pruebas sensoriales permite establecer y medir atributos relacionados con la calidad de los alimentos, de forma que se implican los sentidos para su cuantificación. Estas pruebas pueden estar sujetas a error debido a la variabilidad del juicio humano; sin embargo, se han establecido métodos estadísticos que le dan mayor validez y confiabilidad a las respuestas sensoriales y su relación con medidas fisiológicas, físicas y químicas.

Los principales instrumentos de medición que se emplean en las evaluaciones sensoriales son los órganos sensores que funcionan a través de la capacidad integradora de los jueces. Dependiendo del objetivo de la prueba puede requerirse la participación de jueces analíticos (jueces entrenados y semi-entrenados) o jueces consumidores. Los jueces analíticos son personas con habilidad para la detección de alguna propiedad sensorial y que han recibido un entrenamiento en el cual se les brindó enseñanza teórica y práctica sobre los métodos a efectuar para la evaluación de algún producto. Además, se les ha informado sobre las características del producto a evaluar, por lo que son capaces de participar en distintas pruebas discriminativas y descriptivas dependiendo del entrenamiento que hayan recibido (Anzaldúa-Morales, 2005; Pedrero & Pangborn, 1989).

#### 2.4.1 Etapas de entrenamiento de un panel de evaluación sensorial

De acuerdo con Flores-Vera (2015), Anzaldúa-Morales (2005), y Pedrero y Pangborn (1989), el proceso de entrenamiento de jueces consta de cuatro etapas principales: reclutamiento, selección de jueces, entrenamiento y validación del panel.

##### ***Reclutamiento***

En el reclutamiento se captan candidatos y se seleccionan los más aptos mediante la aplicación de una encuesta en la que se recaban datos generales (nombre, edad, género, estado de salud, disponibilidad de tiempo) y datos específicos orientados al objetivo de la investigación (daltonismo, condiciones de su dentadura, alergias, malestares o intolerancias a ciertos alimentos). Cabe mencionar que para poner en marcha un programa de entrenamiento se sugiere contar con al menos 10 jueces, por lo que es importante reclutar al menos dos o tres veces la cantidad de personas que hagan falta para formar el panel (Flores-Vera, 2015).

##### ***Selección de jueces***

Una vez aplicado el cuestionario se seleccionan los participantes que no tengan algún impedimento físico para realizar las pruebas, que tengan interés o afinidad por los productos a evaluar y que cuenten con disponibilidad para participar. Posteriormente se realiza una sesión de información en la que se les brinda una explicación sobre los objetivos que perseguirán en las pruebas a realizar, así como información sobre la dinámica de las pruebas, hojas de respuestas y características de las muestras a evaluar (Anzaldúa-Morales, 2005; Pedrero & Pangborn, 1989).

Finalmente se aplican pruebas de evaluación sensorial en función de las aplicaciones y propiedades que se vayan a evaluar en el programa. Estas tienen como objetivo detectar incapacidad en los evaluadores, determinar la agudeza sensorial, así como evaluar el potencial de los candidatos para describir y comunicar las percepciones sensoriales. Algunas de las pruebas aplicadas en esta etapa son las pruebas de reconocimiento de estímulos y pruebas de discriminación de estímulos, por ejemplo, las pruebas de ordenamiento (González-Casado et al., 2019; Pedrero & Pangborn, 1989), además en algunos casos se aplican pruebas triangulares como evaluación final de esta etapa (Flores-Vera, 2015).

### ***Entrenamiento***

El entrenamiento tiene como objetivo proporcionar a los jueces los principios de las técnicas adoptadas durante la evaluación sensorial, además de desarrollar su aptitud para detectar y reconocer los estímulos sensoriales.

Algunas pruebas utilizadas durante el entrenamiento de paneles de evaluación sensorial abarcan pruebas discriminativas tales como la prueba triangular, prueba dúo-trío, prueba de comparaciones múltiples, entre otras, así como pruebas descriptivas para la evaluación de distintos atributos de los productos analizados (Flores-Vera, 2015; González-Casado et al., 2019).

***Pruebas discriminativas.*** En las pruebas discriminativas se requiere conocer si hay diferencia entre dos o más muestras y en ocasiones, conocer la magnitud de dicha diferencia. Una de sus aplicaciones importantes es conocer el efecto de modificaciones en

las condiciones del proceso sobre las características sensoriales de un producto, así como las alteraciones producidas por cambios en una formulación. Algunas pruebas discriminativas empleadas regularmente son: prueba triangular, prueba de comparación por pares, prueba dúo-trío, prueba de ordenamiento y prueba de comparaciones múltiples. Cuando las pruebas son sencillas (prueba triangular, prueba dúo-trío, prueba de comparación por pares) suelen emplearse jueces semientrenados, pero para pruebas más complejas (como la prueba de comparaciones múltiples) es preferible que participen jueces entrenados a fin de considerar diferencias entre atributos y evaluar la magnitud de esa diferencia (Anzaldúa-Morales, 2005; Pedrero & Pangborn, 1989).

#### *Prueba triangular*

En la prueba triangular se evalúan tres muestras, dos que son iguales y una que es diferente, con el objetivo de que el juez identifique la muestra que es diferente. El análisis de datos se realiza mediante la lectura de tablas en las que se indica el número mínimo de respuestas para establecer una diferencia significativa de acuerdo al número de jueces participantes (Anzaldúa-Morales, 2005; Meilgaard et al., 2007).

#### *Prueba de comparación por pares de decisión no forzada*

En esta prueba pueden evaluarse múltiples pares de muestras que pueden ser iguales o diferentes. El objetivo es que el juez determine si las muestras de dichos pares son iguales tienen diferencias (Pedrero & Pangborn, 1989).

### *Prueba dúo-trío*

En la prueba dúo-trío se presentan al juez tres muestras, de las cuales una es identificada como referencia (R) mientras que las otras dos están codificadas. El objetivo de la prueba es que el evaluador indique cuál de las muestras codificadas es diferente a la referencia. Los resultados se interpretan por medio de una prueba de una cola, buscando en tablas el número de aciertos de acuerdo al número de jueces para establecer si existe diferencia significativa (Anzaldúa-Morales, 2005; Pedrero & Pangborn, 1989).

### *Prueba de ordenamiento*

La prueba de ordenamiento permite evaluar un número de muestras mayor que la prueba triangular o dúo-trío. Consiste principalmente en proporcionar a los jueces tres o más muestras diferentes en alguna propiedad y solicitar que las coloquen en orden creciente o decreciente. El análisis de los datos puede realizarse mediante tablas de “totales de rangos” o mediante un análisis de varianza de datos transformados utilizando las tablas de Fisher. Es una prueba comúnmente utilizada en la industria alimentaria debido a su sencillez, facilidad y rapidez (Meilgaard et al., 2007; Pedrero & Pangborn, 1989).

### *Prueba de comparaciones múltiples*

Esta prueba es de gran utilidad para evaluar el efecto de variaciones de formulación o condiciones de proceso, principalmente cuando hay un gran número de muestras por evaluar. Además, permite evaluar el desempeño de un determinado grupo de jueces. Mediante su implementación se pueden evaluar múltiples muestras y compararlas con una referencia.



En el Apéndice XI se observa una hoja de respuestas típica para esta prueba. En la primera parte de la hoja de respuestas se solicita al juez que indique si hay diferencia entre la muestra evaluada y el estándar, por ejemplo, “la muestra es más crujiente que R”, “la muestra es igual de crujiente que R” o “la muestra es menos crujiente que R”. Si el evaluador indica que no hubo diferencia, se le asigna una puntuación de 6 a dicha muestra; si indica que es menos crujiente, se le asigna una puntuación entre 1 y 5 de acuerdo al nivel de diferencia que haya indicado el juez en la segunda parte de la prueba (5 si la diferencia es muy baja y 1 si la diferencia es muy alta); y si indica que la muestra es más crujiente, se le asigna una puntuación entre 7 y 11 de acuerdo al nivel de diferencia que el juez haya indicado (7 si la diferencia es muy baja y 11 si la diferencia es muy alta). Los datos se someten a un análisis de varianza para determinar la significancia de la fuente de variación (Anzaldúa-Morales, 2005).

***Pruebas descriptivas.*** Las pruebas descriptivas tienen como principal objetivo conocer cuál es la magnitud o intensidad de los atributos de un alimento. Debido a que mediante ellas se busca obtener más información sobre las características del producto, se requiere la participación de jueces entrenados. Algunos ejemplos de pruebas descriptivas son: calificación con escalas no-estructuradas, calificación con escalas de intervalo, calificación con escalas estándar, calificación proporcional, determinación de perfiles sensoriales, entre otros (Meilgaard et al., 2007).

### *Calificación por medio de escalas de intervalo*

En este tipo de pruebas se emplean escalas en las que no solo se indican los puntos extremos, sino que se incluyen puntos intermedios. Generalmente cuentan de 3, 4, 5 o más puntos (Apéndice V) en los que se da una descripción de cada uno de ellos dependiendo del atributo a evaluar. Las escalas de intervalos no brindan valores absolutos sobre los atributos de un producto, sino que únicamente intervalos o grados asignados con cierto valor (Anzaldúa-Morales, 2005).

### *Validación del panel*

Al entrenar a un panel de evaluación sensorial es importante controlar la eficacia y comportamiento de los jueces para comprobar si estos pueden obtener resultados reproducibles.

Dependiendo del objetivo del panel sensorial, las pruebas utilizadas para realizar la validación pueden orientarse a analizar productos y atributos similares a otros paneles evaluadores para medir su similitud o a la realización de pruebas que permitan observar si los jueces tienen la capacidad de repetir sus propios resultados (Flores-Vera, 2015; Gutiérrez, G. & Barrera, B., 2015; Tabary et al., 2020; Teo et al., 2018).

# **3. ANTECEDENTES**

### **3.1 Fortificación y enriquecimiento de cereales de desayuno**

Los cereales son sometidos a temperaturas por encima de los 100 °C durante su procesamiento, lo que provoca una pérdida de las vitaminas que se encuentran de forma natural en los granos. Por otra parte, el proceso de molienda que se le da a las materias primas como harinas y sémolas provocan la eliminación de la cascarilla y germen de los cereales, con lo cual suelen eliminarse algunos nutrientes (Ortega-Nava, 2012). Es por ello que en esta industria se implementa el enriquecimiento de los productos con vitaminas y minerales.

Los principales nutrientes con los que se enriquecen los cereales son vitaminas del complejo B, vitamina A, vitamina D, hierro, calcio y zinc. Usualmente se prepara una solución de los compuestos a añadir y se rocían sobre el producto enfriado (Honesey & González, 1991). Dentro de las sustancias utilizadas para realizar el enriquecimiento de los cereales destacan el ortofosfato férrico, óxido de zinc, carbonato de calcio, palmitato (vitamina A), colecalciferol (Vitamina D), mononitrato de tiamina (Vitamina B1), clorhidrato de piridoxina (vitamina B6), ácido pantoténico (vitamina B5), riboflavina (vitamina B12) y ácido fólico (vitamina B9).

En los últimos años el interés por mejorar el contenido nutricional de los cereales de desayuno ha ido en aumento y con ello se han comenzado a realizar estudios en donde se implementa la incorporación de ingredientes que proveen de nutrientes adicionales al producto, es decir, se fortifica este alimento.

En el año 2011, Falcón-Villa y Heredia-Sandoval fortificaron un cereal de trigo integral con harina de mezquite. Para la elaboración del producto extrudido se empleó un extrusor con 4 zonas de calentamiento en donde se utilizaron temperaturas de 61, 62, 65 y 140 °C para cada zona, así como una velocidad de tornillo de 100 rpm. Se utilizaron formulaciones para obtener un cereal fortificado con 10, 30 y 50% de harina de mezquite y se realizaron análisis proximales de las harinas, así como del producto extrudido. Se observó que no hubo pérdida en el contenido de proteínas de los productos extrudidos comparado con el contenido proteico de las harinas; sin embargo, el contenido de fibra de los extrudidos tuvo una relación inversamente proporcional al aumento del contenido de harina de mezquite y disminuyó hasta un 10%. A pesar de que hubo una disminución en el contenido de fibra de los productos extrudidos, se observó que al fortificar el cereal de trigo integral con harina de mezquite se obtiene un aumento en el contenido de fibra con respecto a una muestra extrudida sin harina de mezquite. Con ello se observa que la fortificación de cereales de desayuno elaborados mediante el proceso de extrusión es viable para obtener un producto con mayor contenido de proteínas y fibra.

### **3.2 Evaluación nutricional de cereales de desayuno listos para comer del mercado mexicano**

En México se oferta una gran variedad de cereales de desayuno RTE, siendo las empresas Kellogg's® y Nestlé® las que destacan por su mayor presencia en el mercado. Por otra parte, una de las principales marcas de origen mexicano que comercializa estos productos es Maizoro®.

La selección de productos incluye cereales infantiles y cereales dirigidos al público adulto. Algunos de los principales cereales de desayuno para el público infantil son las hojuelas de maíz (Corn Flakes<sup>®</sup>), hojuelas de maíz azucaradas (Zucaritas<sup>®</sup> y Azucaradas<sup>®</sup>), cereales en forma de galleta (Choco Krispis Cookies<sup>®</sup> y Cookie Crisp<sup>®</sup>), cereales con sabor a chocolate (Nesquik<sup>®</sup>, Cheerios Chocolate<sup>®</sup> y Choco Krispis<sup>®</sup>), así como cereales con sabor a frutas (Froot Loops<sup>®</sup> y Trix<sup>®</sup>). Por otra parte, para el mercado adulto existe un gran número de cereales fortificados en algún nutriente específico, por ejemplo, cereales con proteínas, calcio, antioxidantes o fibra, siendo las marcas Fitness<sup>®</sup> (Nestlé<sup>®</sup>), Special K<sup>®</sup> y All Bran<sup>®</sup> (Kellogg's<sup>®</sup>), así como Stila<sup>®</sup> (Quaker<sup>®</sup>), aquellas que ofertan la mayoría de los productos para este público.

Durante el año 2019, la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO) publicó un estudio de cereales en donde se muestran los resultados de un análisis nutrimental de los cereales de desayuno del mercado mexicano. Se observó que más del 50% de los productos analizados tienen un alto contenido de azúcares. En la Tabla 2 se muestra un resumen del contenido nutrimental de algunos cereales de desayuno ofertados en México y se observa que los cereales de desayuno para niños (Zucaritas<sup>®</sup>, Corn Pops<sup>®</sup>, Trix<sup>®</sup>, etc.) tienen un contenido de proteínas y fibra menor que el contenido de estos nutrientes en los cereales dirigidos al público adulto (All bran<sup>®</sup> y Fitness<sup>®</sup>).

Si bien el consumo de cereales de desayuno RTE en el país es notable, existe un potencial crecimiento en el campo de los productos fortificados debido a que estos pueden proveer un mejor balance de nutrientes, disminuyendo el contenido de azúcares y ofreciendo productos con un mayor contenido de proteínas y fibra al público infantil.

Tabla 2. Información nutrimental (composición media (g)/ porción de 30 g) de cereales de desayuno comercializados en México

<i>Cereal</i>	<i>CE<sup>1</sup></i>	<i>Proteína</i>	<i>Lípidos</i>	<i>GS<sup>2</sup></i>	<i>GT<sup>3</sup></i>	<i>GM<sup>4</sup></i>	<i>GP<sup>5</sup></i>	<i>Colesterol</i>	<i>CHO's<sup>6</sup></i>	<i>Azúcares</i>	<i>Fibra dietética</i>	<i>Sodio</i>
Corn Flakes – Kellogg's®	108	2.00	0	0	0	0	0	0	25.00	3.00	1.00	150.00
Extracto de Té Matcha – Special K – Kellogg's®	118	2.00	1.50	1.30	0	0.10	0.10	0	24.00	8.00	1.00	105.00
Fitness frutas con Avena integral - Nestlé®	101.25	2.22	0.96	0.54	0	0	0	0	21.00	7.20	2.64	93.00
All bran – Kellogg's®	82.5	4.50	1.125	0.225	0	0.225	0.675	0	13.50	5.25	8.25	86.25
Cheerios 4 granos - Nestlé®	112	2.10	0.99	0.30	0	0	0	0	23.76	6.00	1.41	123.60
Cheerios chocolate – Nestlé®	112	1.98	0.96	0.30	0	0	0	0	23.82	8.64	1.41	197.51
Zucaritas – Kellogg's®	112	1.00	0	0	0	0	0	0	27.00	12.00	0.50	115.00
Corn pops – Kellogg's®	112	1.00	0	0	0	0	0	0	27.00	13.00	0.50	150.00
Trix - Nestlé	116	1.00	1.65	0.63	0	0	0	0	24.30	8.70	1.60	100.00
Foot loops – Kellogg's®	117	2.00	1.00	0.50	0	0.20	0.30	0	25.00	12.00	0.50	160.00
Nesquik – Nestlé®	115	1.47	1.50	0.54	0	0	0	0	23.88	8.91	1.41	99.60
Choco Krispis - Kelloggs®	113	2.00	0.50	0.30	0	0.10	0.10	0	25.00	9.00	0.50	115.00

<sup>1</sup>Contenido energético, <sup>2</sup>Grasas saturadas, <sup>3</sup>Grasa total, <sup>4</sup>Grasa monoinsaturada, <sup>5</sup>Grasa poliinsaturada, <sup>6</sup>Carbohidratos totales. Elaboración propia.

### **3.3 Aporte nutrimental de la *Moringa oleifera***

La moringa ha tenido gran reconocimiento en el rubro alimenticio debido a que cada una de sus partes tiene un gran aporte de macro y micronutrientes, en los que destaca su alto contenido proteico, además del aporte de vitamina A ( $\beta$ -carotenos), vitamina C, calcio, hierro, potasio y fibra (Tabla 3), (Alfaro, 2008).

Existen alimentos que se caracterizan por tener grandes cantidades de algún nutriente en específico, por ejemplo, la leche de vaca que tiene una gran cantidad de proteínas y calcio, las zanahorias que se caracterizan por su contenido de vitamina A, las naranjas por su contenido de vitamina C y los plátanos por su contenido de potasio. En un estudio realizado por Gopalan et al. (2012) se analizó la composición química de moringa, leche, zanahorias, naranjas, plátanos, entre otros y se encontró que la moringa tiene un mayor contenido de los nutrientes característicos de cada alimento (Tabla 4).

Cada parte que compone a la moringa tiene un contenido importante de nutrientes, sin embargo, destaca el uso de las hojas del árbol como ingrediente en la preparación de alimentos, las cuales son procesadas para obtener harina y emplearla en la fortificación de alimentos. Con la deshidratación de las hojas los nutrientes se concentran debido a la eliminación de agua y la harina puede conservarse estable por mayor tiempo gracias a su bajo contenido de humedad (Gutiérrez-Robles, 2015).



Tabla 3. Comparación de resultados promedio del análisis proximal de hojas frescas, vainas y semillas de *Moringa oleifera*

<i>Análisis determinado</i>	<i>Hojas frescas</i>	<i>Vainas</i>	<i>Semillas</i>
Humedad (g/100 g)	79.72	75.8	47.2
Proteínas (g/100 g)	5.52	7.1	17.5
Grasas (g/100 g)	1.46	1.8	15.1
Cenizas (g/100 g)	2.12	1.1	2.1
Carbohidratos (%)	11.14	14.3	18.1
Energía (kcal/100 g)	207.42	226	439
Calcio (mg/100 g)	22.32	2.1	3.4
Potasio (mg/100 g)	11.84	12.8	18.3
Hierro (mg/100 g)	24.26	12.8	7.1
Carotenos ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$ como $\beta$ -caroteno)	3,911.52	3,327.7	114.4
Vitamina C (mg/100 g)	109.3	0.1	0.1

Fuente: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) (2006).

Tabla 4. Comparación de nutrientes presentes en la *Moringa oleifera* y otros alimentos

<i>Nutriente (mg/100 g)</i>	<i>Moringa</i>	<i>Otros alimentos</i>
Vitamina "A"	1,130	Zanahorias: 315
Vitamina "C"	220	Naranjas: 30
Calcio	440	Leche de vaca: 120
Potasio	259	Plátanos. 88
Proteína	6,700	Leche de vaca: 3,200

Fuente: Nutritive Value of Indian Foods (Gopalan et al., 2012).

En la Tabla 5 se muestra una comparación del contenido nutricional de hojas frescas de moringa y dos harinas de hojas de moringa. Se puede observar que la composición de cada harina es diferente, lo cual se atribuye a las condiciones de siembra y a las condiciones climáticas del lugar de origen de la moringa (Busani et al., 2011; Teixeira et al., 2014). Por dicha razón es importante analizar el contenido nutrimental de esta materia prima al utilizarla como ingrediente de fortificación.

*Tabla 5. Comparación del contenido nutrimental de hojas frescas y harina de hojas de Moringa oleifera*

<i>Análisis determinado</i>	<i>Hojas frescas</i> (INCAP, 2006)	<i>Harina de hojas de moringa cultivada en Sudáfrica</i> (Busani et al., 2011)	<i>Harina de hojas de moringa cultivada en Brasil</i> (Teixeira et al., 2014)
Humedad (g/100 g)	79.72	9.53	9.00
Proteínas (g/100 g)	5.52	30.29	28.65
Grasas (g/100 g)	1.46	6.50	7.09
Cenizas (g/100 g)	2.12	7.64	10.09
Carbohidratos (g/100 g)	11.14	-	44.36
Calcio (mg/100 g)	22.32	3.65	2.97
Potasio (mg/100 g)	11.84	1.50	4.16
Hierro (mg/100 g)	24.26	49.00	103.12

Si bien, el contenido de proteínas no permite tener una idea objetiva del valor biológico de las proteínas con las que cuenta un alimento, el contenido de aminoácidos sí. En la Tabla 6 se puede observar que las hojas de moringa contienen 19 aminoácidos y

cuenta con los 10 aminoácidos esenciales, por lo cual la harina de moringa podría ser una buena fuente de proteínas.

*Tabla 6.* Composición de aminoácidos de hojas secas de *Moringa oleifera*

<i>Aminoácido</i>	<i>Contenido promedio (%)</i>	<i>Error estándar</i>
Arginina*	1.780	0.010
Serina	1.087	0.035
Ácido aspártico	1.430	0.045
Ácido glutámico	2.530	0.062
Glicina	1.533	0.060
Treonina*	1.357	0.124
Alanina	3.003	0.006
Tirosina	2.660	0.015
Prolina	1.203	0.006
HO-Prolina	0.093	0.006
Metionina*	0.297	0.006
Valina*	1.413	0.021
Fenilalanina*	1.640	0.006
Isoleucina*	1.177	0.006
Leucina*	1.960	0.010
Histidina*	0.716	0.006
Lisina*	1.637	0.006
Cisteína	0.010	0.000
Triptófano*	0.486	0.001

\* Aminoácidos esenciales. Fuente: Nutritional characterization of moringa (*Moringa oleifera Lam*) leaves (Busani et al., 2011).

### **3.4 Fortificación de alimentos con *Moringa oleifera***

Los problemas de desnutrición alrededor del mundo han estimulado el interés de desarrollar productos que aporten un mayor número de nutrientes al consumidor. Por ello se ha recurrido al uso de ingredientes tales como hojas y plantas ricas en proteínas, vitaminas y minerales, para fortificar productos alimenticios de consumo diario. Debido a su alta calidad nutrimental la *Moringa oleifera* es un alimento que puede ayudar a mejorar el aporte de nutrientes en algunos alimentos.

Una de las principales formas de utilizar la moringa como ingrediente de alimentos es empleando sus hojas frescas en la preparación de sopas (Oyeyinka & Oyeyinka, 2018). En el caso de alimentos procesados, estos suelen ser fortificados con harina de hojas de moringa, debido a que este ingrediente es más estable para ser sometido a diversos procesos.

Dentro de los alimentos en los que se ha adicionado harina de hojas de moringa destacan productos de panificación, galletas, botanas y tortillas. Se ha analizado la incorporación de 1 hasta 25% de harina de hojas moringa; sin embargo, en algunos casos la adición de menos de 5% no tiene efectos significativos en el aumento de nutrientes (Chinma et al., 2014; Páramo-Calderón et al., 2018; Sengeev et al., 2013).

En la Tabla 7 se puede observar que los alimentos fortificados con moringa tienen un aumento significativo de proteína, fibra, calcio y hierro. Por otra parte, se observa que aquellos alimentos adicionados con el mismo porcentaje de moringa presentan diferencias en el aumento de sus nutrientes, lo cual está relacionado a las características de sus materias

primas y al proceso al cual fueron sometidos para su preparación (Oyeyinka & Oyeyinka, 2018).

*Tabla 7. Aumento de nutrientes en productos fortificados con harina de hojas de Moringa oleifera*

<i>Producto</i>	<i>Porcentaje de harina de hojas de moringa adicionado</i>	<i>Aumento de nutrientes</i>	
		Proteína cruda: 55%	
Pan	5%	Fibra cruda: 56%	Sengev, Abu, & Gernah (2013)
		Calcio: 65%	
		β-caroteno: 48%	
Ogi (mezcla de tubérculos)	10%	Proteína: 36%	Olorode, Idowu, & Ilori (2013)
		Fibra cruda: 27%	
Galletas	10%	Proteína: 31%	Dachana, Rajiv, Indrani, & Prakash (2010)
		Fibra dietética: 79%	
		Hierro: 167%	
		Calcio: 805%	
Tortilla	5%	Proteína: 25%	Páramo-Calderón et al., (2018)
		Fenoles totales: 217.2%	

### **3.5 Entrenamiento de paneles de evaluación sensorial**

En años recientes se ha incrementado la preparación de paneles de evaluación sensorial enfocados a analizar un producto o atributo en específico, en los que la selección de pruebas suele ajustarse al atributo a evaluar.

Un ejemplo de ello es el estudio realizado por Teo et al. (2018), quienes entrenaron dos paneles para evaluar la intensidad de sabores básicos y sensación grasa de alimentos.

Para la selección de los participantes se realizaron pruebas de discriminación de soluciones con sabores básicos y pruebas de ordenamiento de distintos umbrales de dichas soluciones. En la primera parte del entrenamiento se preparó a los jueces para poder diferenciar y ordenar siete disoluciones de cada sabor básico (considerando tres muestras de referencia) en múltiples ocasiones para poder medir la repetibilidad. Durante la segunda etapa el plan consistió en combinar la evaluación de sabores y texturas mediante la modificación del sabor de matrices alimentarias sencillas (puré de papas, arroz cocido, gelatina y natillas), además de evaluar su intensidad de sabor utilizando soluciones de referencia; por otra parte, se comenzó a evaluar la sensación grasa de dichas matrices considerando como referencia tostadas y mantequilla sin sal. Finalmente, se realizó un consenso para la selección de productos de referencia más complejos para las escalas gustativas y se clasificó su intensidad de sabor con ayuda de las soluciones de referencia. El objetivo principal esta etapa fue crear perfiles de referencia para la evaluación del sabor de más productos. Se observó que después de seis meses de entrenamiento los dos grupos de jueces (un panel ubicado en Malasia y un panel ubicado en Alemania) fueron capaces de discriminar diferencias entre la intensidad de sabores utilizando como referencia las soluciones y algunos de los productos complejos seleccionados.

Por otra parte, Callejo et al. (2015) realizaron un estudio que se enfocó en el entrenamiento de un panel de jueces para evaluar la influencia de tres cultivares del trigo empleado en la elaboración de panes. Previo a la realización de pruebas discriminativas, el entrenamiento se enfocó en perfilar las características de textura de los panes mediante pruebas de umbral y pruebas descriptivas en donde se analizaron como principales atributos la firmeza de miga, elasticidad de miga, humedad del pan, homogeneidad de la miga, entre

otros. Finalmente, mediante el uso de pruebas triangulares, los jueces lograron identificar diferencias entre los atributos de las muestras de pan analizadas.

# **4. JUSTIFICACIÓN**



A nivel mundial se vive una grave situación de inseguridad alimentaria, la cual se atribuye principalmente al acceso ineficiente a los alimentos que tienen algunos sectores poblacionales. Hasta el año 2019 la prevalencia de desnutrición en México afectaba al 7% de la población (FAO, 2019), por lo que surge la necesidad de desarrollar alimentos inocuos, con una alta calidad nutritiva y que puedan ser puestos al alcance de poblaciones vulnerables con facilidad. La *Moringa oleifera* es una planta con un gran potencial nutrimental debido a que sus hojas son ricas en proteínas, fibra, vitaminas y minerales. El procesamiento de las hojas de moringa para la obtención de harina permitirá dar un mayor uso tecnológico a esta materia prima, además de que su análisis nutrimental puede dar un parámetro de la calidad de la materia prima cosechada en la región Mixteca del estado de Oaxaca, aumentando su valor y beneficiando a las familias productoras. La facilidad de uso de la harina de hojas de moringa permite emplearla para la producción de cereales de desayuno, ya que con los métodos de extrusión es más fácil incluir harinas de diversos orígenes en la fortificación de estos alimentos. La obtención de cereales de desayuno por el método de extrusión es un proceso muy versátil, por lo cual el análisis desarrollado en el presente proyecto y la evaluación del porcentaje de humedad, índice de expansión, índice de absorción e índice de solubilidad de agua, permitirá seleccionar las condiciones de procesamiento óptimas para la obtención de productos con características deseables. Finalmente, la implementación del programa de entrenamiento de un panel de evaluación sensorial de textura para cereales de desayuno, permitirá marcar una pauta para el desarrollo de evaluaciones sensoriales discriminativas y complementar el análisis de las características físicas de cereales de desayuno en futuras investigaciones.

# **5. OBJETIVOS**

## **5.1 Objetivo general**

Establecer el proceso para la obtención y caracterización de un cereal de desayuno extrudido y enriquecido con harina de hojas de *Moringa oleifera*

## **5.2 Objetivos específicos**

1. Determinar la composición proximal de la harina de hojas de moringa cultivada en Mariscala de Juárez, Oaxaca.
2. Determinar la composición proximal de mezclas de harinas fortificadas con 5, 10 y 15% de harina de hojas de moringa.
3. Determinar las condiciones de extrusión (temperatura y velocidad de tornillo) que permitan la obtención de un cereal de desayuno a base de maíz, avena y trigo, que cuente con características físicas típicas de este tipo de producto.
4. Establecer un programa de entrenamiento de un panel de evaluación sensorial de textura para cereales de desayuno.

# **6. METODOLOGÍA**

## **6.1 Obtención de materia prima**

La planta de moringa se adquirió con la empresa AMOOR S.P.R. de R.L., ubicada en la comunidad de Mariscal de Juárez, Oaxaca.

## **6.2 Obtención de harina de hojas de *Moringa oleifera***

Se recibieron las ramas frescas de la planta de moringa y se realizó un deshojado manual. Las hojas de moringa obtenidas se lavaron con agua corriente para eliminar contaminantes físicos como cascarillas y tierra; posteriormente se realizó una desinfección, para lo cual las hojas se sumergieron en una solución clorada de 125 ppm por 15 min (Suslow, 2000) a fin de eliminar contaminantes microbiológicos. Las hojas se enjuagaron con agua potable para eliminar residuos del desinfectante y posteriormente se eliminó el exceso de agua con un escurridor de centrifugado Tupperware.

Las hojas desinfectadas y escurridas fueron sometidas a una deshidratación por convección de calor en un horno desecador Felisa a 60 °C por 8 horas (Hernández-Torres et al., 2017). La muestra deshidratada se trituró manualmente y posteriormente se molió en un molino Krups GX4100 hasta que se obtuvo un polvo fino. El polvo se tamizó en un ROTAP RX-29 con un tamiz de malla No. 80, con lo que se obtuvo la harina de hojas de moringa (HHM) con un tamaño de partícula de 177  $\mu\text{m}$  (Dachana et al., 2010). Finalmente, la harina se empacó al vacío en bolsas de polipropileno utilizando una empacadora Torrey EVD-4. Las bolsas se almacenaron a temperatura ambiente y protegidas de la luz hasta su uso.

### 6.3. Caracterización fisicoquímica de la harina de hojas de *Moringa oleifera*

#### 6.3.1 Determinación de humedad

La humedad de la muestra se determinó por triplicado empleando el método de secado en estufa (Método 925.09, AOAC, 1997). Se colocaron 2 g de muestra en una cápsula de porcelana llevada a peso constante y posteriormente se secó en un horno desecador Felisa a 100 °C. Se registró la pérdida de peso hasta que se obtuvo un peso constante. El cálculo del porcentaje de humedad se realizó mediante la ecuación 1.

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{W_1}{W_2} \times 100 \quad (1)$$

Donde  $W_1$  es la pérdida de masa (g) y  $W_2$  la masa de la muestra (g).

#### 6.3.2 Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se realizó por triplicado empleando el método de incineración en mufla (Método 923.03, AOAC, 1997). Se pesaron 3 g de muestra en un crisol llevado previamente a peso constante. Posteriormente la muestra se quemó lentamente sobre una parrilla eléctrica cuidando que el material no saliera del crisol. Una vez que la muestra dejó de desprender humos se detuvo ese proceso y se llevó a calcinación en una mufla Felisa FE-360 a 550 °C hasta que las cenizas adquirieron un color gris claro. Finalmente, se retiró el crisol de la mufla y se colocó en un desecador hermético para atemperarlo y pesarlo. El cálculo del porcentaje de cenizas se realizó mediante la ecuación 2.

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{(P - p)}{M} \times 100 \quad (2)$$

Donde  $P$  es la masa del crisol con las cenizas (g),  $p$  la masa del crisol vacío (g) y  $M$  es la masa de la muestra (g).

### 6.3.3 Determinación de proteína

El contenido de proteínas se determinó por triplicado empleando el método de micro-Kjeldahl (2011.11, AOAC, 1997). Se pesó 0.1 g de la muestra en un matraz de micro-Kjeldahl y se añadieron 40 mg de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , 1.3 g de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  y 2.5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . La muestra se llevó a digestión en un microdigestor Kjeldahl hasta que tomó un color azul-verde claro. Una vez terminada la digestión, se añadieron 2 mL de agua y se realizó la destilación.

Se colocó la muestra enfriada en la cámara de ebullición del destilador y posteriormente se añadieron 10 mL de una solución de NaOH al 50% para que fuera digerida hasta obtener un color azul-grisáceo o café oscuro. La muestra destilada se recibió en un matraz Erlenmeyer con 5 mL de  $\text{H}_3\text{BO}_3$  al 4% y 2 gotas de verde de bromocresol como indicador. Se tituló el destilado y un blanco con una solución de HCl 0.1 N. Los cálculos para la obtención del porcentaje de nitrógeno total y proteína bruta se realizaron mediante la ecuación 3 y 4, respectivamente.

$$\text{Nitrógeno total (\%)} = \frac{(V_2 - V_1) \times N}{W} \times 1.4 \quad (3)$$

Donde  $V_2$  es el volumen de solución de HCl requerido para la muestra problema (mL),  $V_1$  el volumen de solución de HCl requerido para la prueba en blanco (mL),  $W$  es el peso de la muestra problema (g) y  $N$  la normalidad del HCl.

$$\text{Proteína bruta (\%)} = \text{Nitrógeno total (\%)} \times \text{Factor de conversión para N(6.25)} \quad (4)$$

#### 6.3.4 Determinación de extracto etéreo

El contenido de extracto etéreo se determinó por triplicado mediante el método de extracción con éter de petróleo (920.39, AOAC, 1997). Se pesaron aproximadamente 2 g de la muestra previamente deshidratada de acuerdo al método 925.09 de la AOAC y se colocaron en un cartucho de celulosa. El cartucho se colocó en un equipo Soxhlet en el que se realizó la extracción con 100 mL de éter de petróleo durante 3 horas.

Una vez terminada la extracción, se evaporó a sequedad el éter de petróleo y se añadieron 2 mL de acetona al extracto. Finalmente, se secó el residuo de grasa en un horno desecador Felisa a 60 °C durante 30 minutos. Los cálculos para la determinación del porcentaje de lípidos se realizaron utilizando la ecuación 5.

$$\text{Grasa extraíble (\%)} = [(W_3 - W_2)/W_1] \times 100 \quad (5)$$

Donde  $W_1$  es la masa de la muestra antes de la desecación,  $W_2$  la masa del matraz sin grasa y  $W_3$  la masa del matraz con grasa.



### 6.3.5 Determinación de fibra cruda

Se determinó el contenido de fibra cruda por triplicado mediante un tratamiento ácido-alcalino (Método 950.37, AOAC, 1997). La muestra a utilizar fue desecada y posteriormente desengrasada mediante extracción con éter de petróleo.

Se pesaron 2 g de muestra y se colocaron en un matraz bola de 500 mL, el cual se montó en un sistema con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 1.25% y se llevó a ebullición durante 30 minutos. Se filtró el contenido del matraz a través de un embudo Büchner preparado con papel filtro mojado. La muestra filtrada se arrastró hacia el matraz original utilizando 200 mL de NaOH al 1.25% y se hirvió durante 30 minutos. Posteriormente el contenido del matraz se filtró a través de un embudo Buchner preparado con papel filtro llevado a peso constante y se empleó agua hirviendo para arrastrar completamente el material insoluble.

El filtrado se lavó con agua hirviendo intercalada con HCl al 1% hasta que quedó exento de ácido (pH 7). Se lavó el papel filtro dos veces con alcohol, tres veces con acetona y posteriormente se colocó en un crisol de porcelana previamente tarado. El crisol se desecó a 100 °C en un horno Felisa durante 1 hora. Se dejó enfriar en un desecador para registrar su peso y posteriormente se incineró en una mufla Felisa FE-360 a 500°C hasta obtener cenizas de color gris claro. Finalmente, se enfrió en un desecador y se registró el peso de las cenizas. El cálculo para la determinación del porcentaje de fibra cruda se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$FC (\%) = [(W_2 - W_3)/W_1] \times 100 \quad (6)$$

Donde  $W_1$  es la masa de la muestra antes de la digestión,  $W_2$  la masa de la materia insoluble y  $W_3$  la masa de las cenizas.

#### **6.4 Fortificación de mezclas de harinas para la producción de cereales de desayuno**

En las Tablas 8 y 9 se muestran las formulaciones de la mezcla de harinas (MH) para la producción de cereales de desayuno, control y fortificadas con 5, 10 y 15% de HHM (MH0, MH5, MH10, M15), las cuales se establecieron con base en una revisión bibliográfica y a un estudio previo realizado por Hernández-García et al. (2018), quienes evaluaron la aceptación sensorial de panes enriquecidos con 5, 10 y 15% de HHM. La formulación consistió en una mezcla de cereales (maíz, avena y trigo), azúcar, aceite y sal.

Los ingredientes se pesaron y se mezclaron en una batidora Kitchen-Aid durante 6 minutos. Para hidratar las mezclas se utilizó 8% de agua con respecto al peso de los ingredientes secos. Las MH se almacenaron en recipientes de plástico sellados, se mantuvieron en refrigeración y se protegieron de la luz hasta su posterior análisis.

*Tabla 8.* Formulación de mezcla de cereales

<i>Harina</i>	<i>Porcentaje % (p/p)</i>
Harina de maíz	70
Harina de avena	15
Harina de trigo	15

Tabla 9. Formulación de mezclas de harinas para la producción de cereales de desayuno

<i>Ingrediente</i>	<i>Porcentaje % (p/p)</i>			
	<i>MH0</i>	<i>MH5</i>	<i>MH10</i>	<i>MH15</i>
Mezcla de cereales	91	86	81	76
Moringa	0	5	10	15
Azúcar	6	6	6	6
Aceite	2	2	2	2
Sal	1	1	1	1

#### 6.4.1 Determinación de la composición proximal de las mezclas para la producción de cereales de desayuno

Se determinó por triplicado el contenido de humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo y fibra cruda de las MH mediante los métodos de la AOAC (1997) descritos en el punto 6.3.

#### 6.4.2 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) y posteriormente se realizó una prueba de comparación de medias por el método Tukey, con un nivel de significancia del 95% utilizando el software Minitab 18 (Montgomery, 2006).

### 6.5 Determinación de las condiciones de extrusión

#### 6.5.1 Diseño experimental

Se estableció un diseño factorial general  $(3 \times 3)^2$  (Montgomery, 2006), con el cual se buscó determinar las condiciones de extrusión que permitieran obtener extrudidos con características de textura deseables para un cereal de desayuno. Se definió como Factor A al conjunto de temperaturas de barril en las zonas de calentamiento 1, 2 y 3 del extrusor, y

como Factor B la velocidad de tornillo. Cada factor fue analizado en 3 niveles, los cuales se muestran en la Tabla 10.

*Tabla 10.* Descripción de factores y niveles del diseño experimental para la determinación de condiciones de extrusión

<i>Nivel</i>	<i>Temperatura (A)</i>	<i>Velocidad de tornillo (B)</i>
1	120, 150, 180 °C	50
2	130, 160, 190 °C	70
3	140, 170, 200 °C	90

La obtención de los cereales de desayuno se realizó de acuerdo a las condiciones descritas en la Tabla 11 y se analizaron como variables de respuesta el porcentaje de humedad, índice de expansión (IE), índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad de agua (ISA) de las muestras obtenidas en extrusión.

*Tabla 11.* Relación de experimentos para el procesamiento del cereal de desayuno

<i>No. de experimento</i>	<i>Temperaturas (°C)</i>	<i>Velocidad de tornillo (rpm)</i>
1	120, 150, 180	50
2	120, 150, 180	70
3	120, 150, 180	90
4	130, 160, 190	50
5	130, 160, 190	70
6	130, 160, 190	90
7	140, 170, 200	50
8	140, 170, 200	70
9	140, 170, 200	90

### 6.5.2 Obtención del cereal de desayuno

Se utilizó la mezcla de harinas sin moringa (MH0) cuya formulación se describió en la Tabla 9. Los ingredientes se pesaron y se mezclaron en una batidora Kitchen-Aid durante 6 minutos. Para hidratar la mezcla se utilizó 12% de agua con respecto al peso de los ingredientes secos y se calculó la humedad de la mezcla acondicionada mediante el uso de una termobalanza. La MH0 acondicionada se alimentó a un extrusor con un barril de 26 mm de diámetro calentado mediante tres resistencias eléctricas, el tornillo contó con una relación L/D de 20 y se utilizó una boquilla de matriz circular con un diámetro de 8 mm.

Los cereales expandidos se cortaron con una cuchilla de acero inoxidable dispuesta en la salida de la boquilla del extrusor y se colocaron en charolas para su atemperado. Los cereales expandidos y atemperados se guardaron en bolsas de nylon y se almacenaron a temperatura ambiente en un lugar seco hasta su posterior análisis (Dendy & Dobraszczyk, 2003; Shi et al., 2017).

### 6.5.3 Determinación de humedad

Se determinó por triplicado el contenido de humedad de los cereales extrudidos aplicando los métodos de la AOAC (1997) descritos en el punto 6.3.

### 6.5.4 Determinación del índice de expansión

Se midió con un vernier el diámetro de 10 piezas de cereal expandido y se calculó el IE mediante el promedio de la relación entre el diámetro de los extrudidos y el diámetro de la boquilla de salida (Wójtowicz & Mościcki, 2015).

#### 6.5.5 Determinación del índice de absorción e índice de solubilidad de agua

El IAA e ISA de las muestras extrudidas se determinó por triplicado mediante el método gravimétrico descrito por Anderson et al. (1969).

Se pesaron 2.5 g de la muestra y se colocaron en un tubo para centrífuga de 60 mL previamente pesado. Se añadieron a la muestra 30 mL de agua a 30 °C y la mezcla se agitó en un vortex durante 2 min. Posteriormente, los tubos fueron colocados en un baño de agua a 30 °C con una agitación constante de 70 rpm.

Transcurrido ese tiempo, la muestra se centrifugó a 3000 rpm durante 30 min a 25 °C. Posteriormente se vertió el sobrenadante en un vaso de precipitados de 40 mL llevado previamente a peso constante, y fue secado en un horno Felisa a 70 °C por 12 horas.

El IAA se calculó a partir del peso del precipitado expresándolo como g de gel/ g de sólidos originales, mientras que el ISA se calculó a partir del peso de los sólidos secos, expresándolo como g de sólidos/g de sólidos originales.

#### 6.5.6 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza ( $\alpha=0.05$ ) utilizando el software Minitab 18 (Montgomery, 2006).

### **6.6 Entrenamiento de un panel de evaluación sensorial de textura para cereales de desayuno**

#### 6.6.1 Reclutamiento

Se convocó a 26 alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos y se les aplicó una encuesta (Apéndice I) para determinar incompatibilidades que interferían con su desempeño como evaluadores (Anzaldúa-Morales, 2005).

### 6.6.2 Selección de jueces

Se seleccionó a 20 alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos que no tuvieran algún tratamiento de ortodoncia, dentaduras o trastornos auditivos y que estuvieron dispuestos a asistir a las sesiones de entrenamiento (Fillion y Kilcast, 2002; Teo et al., 2018). Se realizó una sesión introductoria y 4 sesiones de prueba para evaluar si los participantes eran fisiológicamente aptos y tenían las aptitudes necesarias para la evaluación de crujencia de cereales.

#### ***Sesión introductoria***

Se realizó una sesión introductoria para dar a conocer a los participantes el objetivo del proyecto, la importancia de la evaluación sensorial, los atributos que pueden ser evaluados con ella, qué es la crujencia y cómo evaluarla sensorialmente. Además, se dio una breve explicación de los tipos de pruebas que se realizan en la evaluación sensorial, así como algunos ejemplos de las escalas y hojas de respuestas a utilizar en las sesiones de entrenamiento (Anzaldúa-Morales, 2005; Everitt, 2017; Flores-Vera, 2015).

#### ***Prueba de clasificación de productos crujientes y no crujientes***

Se realizó la evaluación de nueve alimentos (Tabla 12) en la que se solicitó a los participantes que señalaran aquellos productos que consideran crujientes. Se proporcionó a cada evaluador la hoja de respuestas mostrada en el Apéndice II.

*Tabla 12.* Muestras utilizadas en la prueba de clasificación de productos crujientes y no crujientes

<i>Alimento</i>	<i>Textura</i>
Pepino	Crujiente
Pimiento verde	Crujiente
Barra de cereal Crisp Kellogg's®	Crujiente
Galletas Crackets Gamesa®	Crujiente
Cereal de desayuno Kellogg's®	Crujiente
Papas fritas saladas Chips®	Crujiente
Mango maduro	No crujiente
Barritas Marinela®	No crujiente
Panqué mármol Bimbo®	No crujiente

Fuente: (Fillion & Kilcast, 2002; Roudaut et al., 2002).

Para realizar el análisis de los datos se consideró como respuesta correcta cada vez que el evaluador marcó con una X el código de un producto clasificado como crujiente y cada vez que haya dejado sin marcar los códigos de los productos no crujientes.

#### ***Prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia***

Se realizó la evaluación con seis alimentos (Tabla 13) en la cual se solicitó a los participantes que ordenaran las muestras de menor a mayor intensidad de crujencia, anotando los códigos respectivos en la hoja de respuestas mostrada en el Apéndice III.

Para realizar el análisis de los datos se consideró como respuesta correcta cada vez que el orden de los códigos ordenados por el evaluador coincidió con el orden de las muestras planteado en la Tabla 13. Cabe mencionar que el orden de intensidad de crujencia de las muestras fue determinado por los integrantes del laboratorio de Ciencia y Tecnología de los Alimentos al realizar esta prueba y coincidir en un 91.6% de las respuestas.



Tabla 13. Muestras utilizadas en la prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia

<i>Alimento</i>	<i>Intensidad de crujencia (1= menor, 6= mayor)</i>
Pepino	1
Pimiento verde	2
Barra de cereal Crisp Kellogg's®	3
Galletas Crackets Gamesa®	4
Cereal de desayuno Kellogg's®	5
Papas fritas saladas Chips®	6

### *Prueba triangular*

Se realizó por duplicado un test de comparación triangular en donde se evaluaron cuatro muestras a las que se les aplicó una diferencia, tal como aparece en la Tabla 14. Se formaron tríos de cada muestra considerando seis combinaciones posibles (AAB, ABA, BAA, BBA, BAB, BBA), de las cuales, dos fueron evaluados por cada participante. Se solicitó a cada evaluador que marcara con una X aquella muestra del trío que considerara diferente, tal como se describe en la hoja de respuestas mostrada en el Apéndice IV. Para realizar el análisis de resultados se consideró como respuesta correcta aquellas veces en la que los jueces lograron identificar la muestra que es diferente. Se calculó el porcentaje de aciertos de cada juez, así como el promedio de aciertos del panel.

Tabla 14. Muestras utilizadas y diferencias aplicadas en el test de comparación triangular

<i>No. de muestra</i>	<i>Producto A</i>	<i>Producto B</i>
1	Papas fritas saladas Chips <sup>®</sup>	Papas fritas saladas Chips <sup>®</sup> (Paquete abierto por 24 horas)
2	Cereal Corn Flakes Kellogg's <sup>®</sup>	Cereal Corn Flakes Kellogg's <sup>®</sup> (Paquete abierto por 24 horas)
3	Pepino	Pepino picado y refrigerado por 6 horas.
4	Galletas Crackets Gamesa <sup>®</sup>	Galletas Crackets Gamesa <sup>®</sup> (Paquete abierto por 24 horas)

### *Crterios para la pre-selección del panel de evaluación sensorial*

Se seleccionó a los jueces que tuvieron al menos un 60% de aciertos en la prueba de selección de productos crujientes, 50% en la prueba de ordenamiento y 60% en la prueba comparativa triangular así como 100% de asistencia (Everitt, 2017; Flores-Vera, 2015; Meilgaard et al., 2007; Teo et al., 2018)

#### 6.6.3 Entrenamiento

Los participantes seleccionados iniciaron la etapa de entrenamiento, en la que se realizaron test descriptivos y comparativos, en los cuales se trabajó la evaluación de la crujencia de cereales comerciales.

### *Prueba de intensidad de crujencia*

Se evaluó la intensidad de crujencia de cuatro cereales de desayuno comerciales (Tabla 15) empleando una escala verbal estructurada de 5 puntos.

*Tabla 15. Muestras de cereales comerciales*

<i>Muestra</i>	<i>Producto</i>
A	Cereal Corn Pops (Kellogg's) <sup>®</sup>
B	Cereal Nesquick (Nestlé) <sup>®</sup>
C	Cereal Choco bowl (Great Value) <sup>®</sup>
D	Cereal Frootloops (Kellogg's) <sup>®</sup>

Para esta prueba se pidió a los evaluadores que marcaran en la hoja de respuestas mostrada en el Apéndice V, la intensidad de la crujencia que ellos consideraban que tuvieran las muestras. Se realizó un análisis de varianza de dos factores con un nivel de confianza del 95% para determinar si existen diferencias significativas en la intensidad de crujencia de las muestras y determinar posibles efectos de los evaluadores. A su vez se comparó la variación de sus respuestas.

#### ***Prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia de cereales de desayuno***

Se realizó la evaluación empleando cuatro cereales de desayuno comerciales (Tabla 15), en la cual se solicitó a los participantes que ordenaran las muestras de menor a mayor intensidad de crujencia anotando los códigos respectivos en la hoja de respuestas mostrada en el Apéndice VI. Se determinó si existe diferencia significativa mediante una comparación múltiple de diferencia de rangos (Anzaldúa-Morales, 2005; Pedrero y Pangborn, 1989) y se comparó la variación de las respuestas de los evaluadores.

#### ***Prueba de nivel de agrado de crujencia***

Se realizó una prueba de nivel de agrado en la que se evaluó la crujencia de cuatro muestras de cereales de desayuno (Tabla 15) con una escala hedónica verbal de 7 puntos (Apéndice VII).

Se evaluaron los resultados y se comparó la variación de las respuestas de los jueces. Por otra parte, se eligió como cereal de referencia para la prueba de comparaciones múltiples a la muestra con mayor nivel de agrado de crujencia.

***Prueba de comparación por pares de decisión no forzada***

Se realizó una prueba de comparación por pares en la que se evaluó la crujencia de una muestra de cereal comercial. En la prueba se aplicó al producto una diferencia (Tabla 16).

*Tabla 16.* Muestras utilizadas en la prueba de comparación por pares de decisión no forzada y prueba comparativa triangular

<b><i>Muestra A</i></b>	<b><i>Muestra B</i></b>
Cereal Nesquick (Nestlé)®	Cereal Nesquick (Nestlé)® (Paquete abierto por 24 horas)

Se formaron pares con las combinaciones posibles (AA, AB, BA, BB) y se utilizaron las series que se observan en la Tabla 17. Cada juez evaluó una serie de acuerdo con la hoja de respuestas mostrada en el Apéndice VIII. Para realizar el análisis de resultados se consideró cada vez que los evaluadores marcaron con una X la respuesta correcta (son iguales o son diferentes) para cada par de muestras.

*Tabla 17.* Series de muestras utilizadas en la prueba de comparación por pares de decisión no forzada

<b><i>Serie</i></b>	<b><i>Orden de los pares</i></b>
1	AA, AB, BB, BA
2	AB, AA, BA, BB
3	BB, BA, AA, AB
4	BA, AB, BB, AA

### ***Prueba triangular***

Se realizó una prueba comparativa triangular en la que se evaluó la crujencia de una muestra de cereal de desayuno comercial. Para realizarla se aplicó al producto una diferencia (Tabla 16).

Se formaron tríos con las combinaciones posibles del producto (AAB, ABA, BAA, ABB, BAB, BBA). Cada participante evaluó 3 tríos utilizando una de las series que se muestran en la Tabla 18.

*Tabla 18.* Orden de muestras utilizadas en la prueba comparativa triangular de crujencia

<b><i>Serie</i></b>	<b><i>Orden de las muestras</i></b>
1	AAB, ABA, BAA
2	BAA, BAB, BBA

En el Apéndice IX se muestra la hoja de respuestas utilizada. Al realizar el análisis de resultados se consideró como respuesta correcta cada vez que los evaluadores marcaron con una X el código de la muestra que fuera diferente en cada trío evaluado.

### ***Prueba comparativa dúo-trío de crujencia***

Se realizó por duplicado una prueba comparativa dúo-trío en donde se evaluó la crujencia de un cereal de desayuno comercial. En la prueba se eligió una muestra de referencia y se evaluó contra dos muestras, de las cuales una era diferente (Tabla 19).

*Tabla 19.* Muestras utilizadas en la prueba comparativa dúo-trío

<b><i>Referencia</i></b>	<b><i>Muestra A</i></b>	<b><i>Muestra B</i></b>
Nesquik (Nestlé) <sup>®</sup>	Nesquik (Nestlé) <sup>®</sup>	Nesquik (Nestlé) <sup>®</sup> , paquete abierto por 24 horas

Se formaron pares con las combinaciones posibles (R-AB, R-BA). A cada juez se le presentó una bandeja con la referencia y las dos muestras (A y B) colocadas aleatoriamente. Para la evaluación se utilizó la hoja de respuestas mostrada en el Apéndice X. Al analizar los resultados se consideró como respuesta correcta cada vez que los evaluadores marcaron con una X el código de la muestra que fuera igual a la referencia.

#### 6.6.4 Validación del panel

##### ***Prueba de comparaciones múltiples***

Se realizó por duplicado una prueba de comparaciones múltiples en la cual se evaluó la crujencia de una referencia y tres muestras de cereal de desayuno comercial (Tabla 20).

*Tabla 20.* Muestras empleadas en la prueba de comparaciones múltiples

<b><i>Referencia</i></b>	<b><i>Producto</i></b>
R	Cereal Nesquick (Nestlé)®
<b><i>Muestra</i></b>	
A	Cereal Nesquick (Nestlé)®
B	Cereal Choco Bowl (Great Value)®
C	Cereal Nesquick® (Nestlé, paquete abierto por 24 h)

Se formaron series con las combinaciones posibles (R-ABC, R-ACB, R-BAC, R-BCA, R-CAB, R-CBA), de las cuales cada participante evaluó dos utilizando la hoja de respuestas mostrada en el Apéndice XI.

Se realizó un análisis de varianza con los datos ajustados a una escala estructurada de 11 puntos (Anzaldúa-Morales, 2005) para determinar diferencias entre muestras, principalmente para la muestra B debido a que no se contaba con un criterio establecido de la crujencia de esta muestra. Por otra parte, se evaluó que cada participante lograra

identificar la similitud entre R y la muestra A, así como la diferencia de crujencia entre C y R, considerando como acierto cada vez que se haya marcado a la muestra A igual que R y la muestra C menos crujiente que R. Finalmente, se determinó el porcentaje de repetibilidad de cada evaluador, al considerar como resultado repetible cada vez que el participante coincidió al evaluar las muestras en la escala de más crujiente, igual de crujiente o menos crujiente que R.

# **7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



# PARTE 1

## OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE HARINA DE HOJAS DE *Moringa oleifera*

### 7.1 Obtención de la harina de hojas de *Moringa oleifera*

Se recibieron ramas del árbol de moringa. El peso promedio de las hojas de moringa (Figura 4) obtenidas en el deshojado fue de 544 g de hojas/ kg de ramas y después del proceso de deshidratación y tamizado el peso promedio de la harina fue de 109.83 g de harina/ kg de ramas (base húmeda), lo que representa un rendimiento de 20.18%.



Figura 4. *Moringa oleifera*: A) Hojas y B) Harina de hojas.

### 7.2 Caracterización fisicoquímica de la harina de hojas de *Moringa oleifera*

Se determinó que la harina de hojas de moringa (HHM) cultivada en Mariscal de Juárez tiene  $6.22 \pm 0.04\%$  de humedad, un contenido de proteínas de  $27.51 \pm 0.52\%$ ,  $6.02 \pm 0.38\%$  de extracto etéreo,  $12.41 \pm 0.05\%$  de cenizas y un contenido de fibra cruda de  $5.43 \pm 0.23\%$  (Figura 5).

En la Figura 5 se observa que el porcentaje de humedad de la HHM cultivada en Mariscala de Juárez se encuentra dentro de intervalo de 4.05 a 9.53% reportado para las HHM cultivadas en Tuxtepec, Oax., Sudáfrica y Brasil (Páramo-Calderón et al; 2019, Busani et al, 2014; Teixeira et al, 2014).

También se observa que el porcentaje de proteínas de la HHM de este estudio se encuentra dentro del intervalo reportado, el cual va de 24.84 a 30.29%. En este caso el contenido proteico de la HHM cultivada en Mariscala de Juárez fue 10.78% mayor que el de la HHM cultivada en Tuxtepec, y 10.11 y 4.14% menor que la de HHM cultivada en Brasil y Sudáfrica, respectivamente.

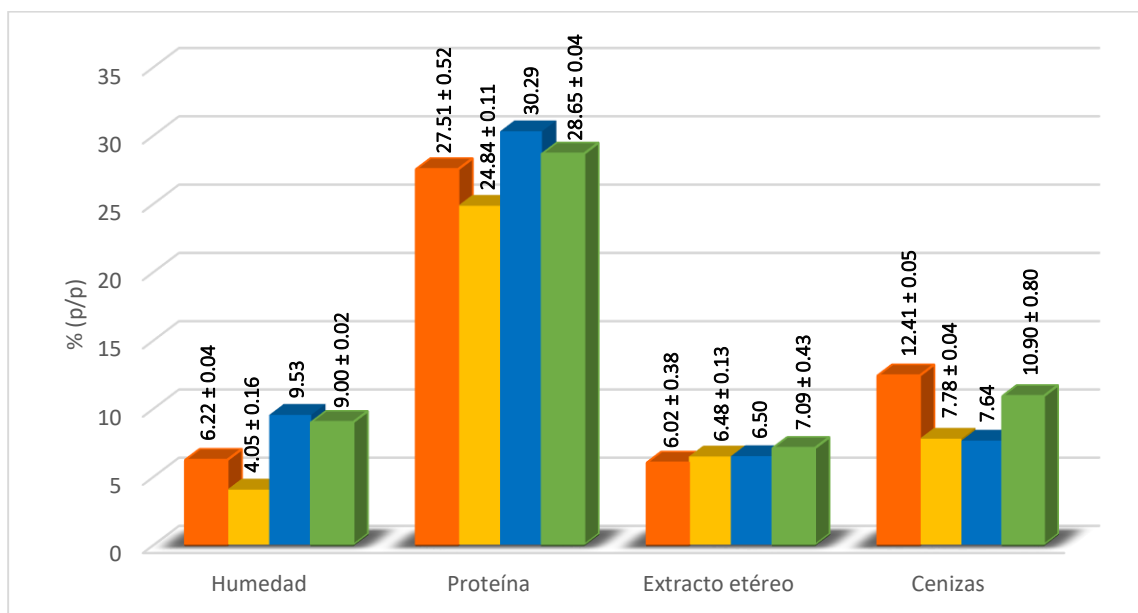


Figura 5. Comparación del contenido de humedad, proteína, extracto etéreo y cenizas de harina de hojas de *Moringa oleifera* cultivada en distintas zonas geográficas. HHM cultivada en Mariscala de Juárez (■), HHM cultivada en Tuxtepec, Oax. (Páramo-Calderón et al, 2019) (■), HHM cultivada en Sudáfrica (Busani et al, 2011) (■) y HHM cultivada en Brasil (Teixeira et al, 2014) (■).

En cuanto al contenido de extracto etéreo, el resultado obtenido en este trabajo se sitúa ligeramente por debajo del intervalo de 6.48 a 7.09%. El valor obtenido en este estudio es 7.64, 7.97 y 17.78% menor que lo reportado para las HMM de Tuxtepec, Sudáfrica y Brasil, respectivamente.

Por el contrario, el contenido de cenizas de la HMM cultivada en Mariscal de Juárez es mayor al intervalo de los datos reportados en la Figura 5 (7.64 a 10.90%). En este caso, el contenido de cenizas de la HMM de este estudio fue 59.51, 62.43 y 13.85% mayor comparado con las HMM cultivadas en Tuxtepec, Sudáfrica y Brasil, respectivamente.

Se pudo observar que existe una variación en la composición proximal de las HMM, lo cual puede atribuirse a la diferencia de las condiciones de suelo y clima de cada región de cultivo, así como al manejo de las plantas (fertilización, corte e irrigación); dado que estos parámetros tienen gran importancia en el desarrollo del árbol de moringa (Alfaro, 2008; Olson & Alvarado-Cárdenas, 2016; Pandey et al., 2014).

# PARTE 2

## FORTIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HARINAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CEREALES DE DESAYUNO

En la Tabla 21 se muestran los resultados del análisis de la composición proximal de las mezclas de harina (MH). Se observó que las muestras fortificadas con 5 y 10% de moringa (MH5 y MH10) tuvieron una humedad de  $12.96 \pm 0.09$  y  $12.95 \pm 0.31\%$ , respectivamente y no hubo diferencia significativa en relación al control. Por el contrario, la muestra fortificada con 15% de moringa (MH15) tuvo una humedad de  $11.76 \pm 0.39\%$ , la cual es significativamente menor que el control y las otras dos muestras ( $P < 0.05$ ).

En el estudio realizado por Páramo-Calderón et al. (2019) donde se enriquecieron tortillas de maíz con 1, 3 y 5% de moringa se observó un comportamiento similar, pues a medida que aumentaba la concentración de moringa disminuía el contenido de humedad de los productos. Dicho comportamiento se relaciona principalmente con el aumento de la capacidad de hidratación mediante la incorporación de HHM y la interferencia del contenido de fibra para el caso de MH15.

Tabla 21. Composición proximal de productos alimenticios fortificados con harina de hojas de moringa en diferentes concentraciones

<i>Muestra</i>	<i>Humedad (g/100 g)</i>	<i>Cenizas (g/100 g)</i>	<i>Proteína (g/100 g)</i>	<i>Extracto etéreo (g/100 g)</i>	<i>Fibra cruda (g /100 g)</i>
MH0	12.79 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.45 ± 0.13 <sup>c</sup>	7.68 ± 0.02 <sup>d</sup>	3.77 ± 0.14 <sup>c</sup>	0.27 ± 0.04 <sup>d</sup>
MH5	12.96 ± 0.09 <sup>a</sup>	2.06 ± 0.10 <sup>b</sup>	8.30 ± 0.04 <sup>c</sup>	4.26 ± 0.13 <sup>b</sup>	0.70 ± 0.17 <sup>c</sup>
MH10	12.95 ± 0.31 <sup>a</sup>	2.84 ± 0.04 <sup>a</sup>	9.24 ± 0.04 <sup>b</sup>	4.96 ± 0.14 <sup>a</sup>	1.10 ± 0.09 <sup>b</sup>
MH15	11.76 ± 0.39 <sup>b</sup>	2.98 ± 0.02 <sup>a</sup>	10.35 ± 0.08 <sup>a</sup>	5.20 ± 0.18 <sup>a</sup>	1.82 ± 0.17 <sup>a</sup>
TR0*	72.56 ± 0.13	0.99 ± 0.08	5.00 ± 0.24	0.66 ± 0.05	-
TR1*	76.78 ± 2.76	1.08 ± 0.07	4.55 ± 0.04	0.50 ± 0.13	-
TR3*	75.00 ± 2.81	1.14 ± 0.04	5.82 ± 0.06	0.93 ± 0.07	-
TR5*	73.96 ± 3.85	1.25 ± 0.04	6.25 ± 0.17	1.20 ± 0.06	-
GL0*	-	0.9 ± 0.06	8.8 ± 0.05	14.0 ± 0.28	-
GL5*	-	1.3 ± 0.03	10.0 ± 0.49	14.2 ± 0.05	-
GL10*	-	1.5 ± 0.05	11.6 ± 0.20	14.4 ± 0.05	-
GL15*	-	1.8 ± 0.12	12.8 ± 0.32	14.6 ± 0.20	-

TR0: tortilla sin moringa; TR5: tortilla con 5% de moringa (Paramo-Calderón, et al., 2019); GL0: galleta sin moringa; GL5: galleta con 5% de moringa; GL10: galleta con 10% de moringa; GL15: galleta con 15% de moringa (Dachana, et al., 2011). Los valores medios en la misma columna con la misma letra no son significativamente diferentes,  $P < 0.05$  con la prueba de Tukey.

En referencia al contenido de cenizas de las MH, las 3 muestras enriquecidas tuvieron un aumento significativo en comparación con el control. Este aumento fue de 42.07% para MH5; 95.86% para MH10 y 105.52% para MH15. Cabe mencionar que el contenido de cenizas de MH5 ( $2.06 \pm 0.10\%$ ) es significativamente menor que el de MH10 ( $2.84 \pm 0.04\%$ ) y MH15 ( $2.98 \pm 0.02\%$ ), las cuales no son significativamente diferentes.

Por otra parte, el contenido proteico de MH5 ( $8.30 \pm 0.04$ ), MH10 ( $9.24 \pm 0.04\%$ ) y MH15 ( $10.35 \pm 0.08\%$ ), también presentó un aumento significativo con respecto al de MH0 ( $7.68 \pm 0.02$ ). En este caso, al analizar la comparación de las muestras enriquecidas se observó que todas ellas tienen un porcentaje de proteínas diferente significativamente.

También se observó un aumento del porcentaje de extracto etéreo de las muestras enriquecidas con moringa comparadas con el control y de manera similar al contenido de cenizas, la MH5 tuvo un contenido de grasas significativamente menor ( $4.26 \pm 0.13\%$ ) que el de MH10 ( $4.96 \pm 0.14\%$ ) y MH15 ( $5.20 \pm 0.18\%$ ).

Finalmente, con lo que respecta al contenido de fibra cruda, en las tres muestras enriquecidas existe un aumento de dicho nutriente cuando se compara con MH0. En este caso, todas las muestras enriquecidas son diferentes con un nivel de significancia de 5% y el valor de fibra dietética más alto es de  $1.82 \pm 0.17\%$ , que corresponde a MH15 y que es hasta 6 veces mayor que el de MH0 ( $0.27 \pm 0.04$ ).

Es posible relacionar el incremento de nutrientes en las muestras enriquecidas con el alto contenido de cenizas, proteína, grasa y fibra cruda de HHM, pues este supera en gran medida la composición proximal de la harina de maíz (componente mayoritario de las mezclas evaluadas). En el trabajo realizado por Dachana et al. (2011), en el cual se realizó el enriquecimiento de galletas de trigo con 5, 10 y 15% de moringa, se puede observar que el aumento del contenido de cenizas y proteínas de las muestras enriquecidas con respecto al control tuvo un comportamiento similar a los resultados de este trabajo.

Dachana et al. (2011) reportaron que las muestras enriquecidas con 5, 10 y 15% de moringa tuvieron un aumento de 44.4, 66.67 y 100%, respectivamente, en el contenido de cenizas y de 13.64, 31.82 y 45.5% en el contenido de proteínas, esto comparado con una muestra control. Sin embargo, el aumento del contenido de grasa cruda fue de 1.4, 2.8 y 4.28%, mucho menor comparado con lo obtenido en el presente trabajo, lo cual puede estar relacionado a que la HHM cultivada en Mariscal de Juárez tiene un mayor contenido de grasa que el de la HHM utilizada para la elaboración de las galletas.

De acuerdo a lo observado por Hernández-García et al. (2018), quienes analizaron el nivel de agrado de diferentes atributos sensoriales de panes fortificados con 5, 10 y 15% de HHM, a mayor porcentaje de HHM adicionado hubo un menor nivel de agrado de características como sabor y color. Considerando lo anterior y debido a que no hubo diferencias significativas en el contenido de cenizas y extracto etéreo de MH10 y MH15, se sugiere utilizar la mezcla de harinas fortificada con 10% de HHM para el procesamiento de los cereales, a fin de reducir el posible impacto que la moringa pueda tener en las propiedades funcionales y características sensoriales de los cereales de desayuno.

# PARTE 3

## DETERMINACIÓN DE LAS CONDICIONES DE EXTRUSIÓN

Se realizó un análisis de varianza del diseño factorial general  $(3 \times 3)^2$ , en donde se analizó el efecto de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y velocidad de tornillo (rpm) a tres niveles. Como variables de respuesta se evaluaron el porcentaje de humedad, índice de expansión (IE), índice de solubilidad de agua (ISA) e índice de absorción de agua (IAA).

Tabla 22. Resultados del análisis de varianza del diseño factorial  $(3 \times 3)^2$

<i>Variable de respuesta</i>	<i>Factor</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>F<sub>0</sub></i>	<i>F<sub>0.05, v1, v2</sub></i>	<i>P</i>
% de Humedad	Temperatura	2	69.79	3.55	0.000
	Vel. de tornillo	2	102.24	3.55	0.000
	Temp. x Vel.	4	30.03	2.93	0.000
IE	Temperatura	2	2.81	3.55	0.087
	Vel. de tornillo	2	93.88	3.55	0.000
	Temp. x Vel.	4	30.63	2.93	0.000
ISA	Temperatura	2	3.26	3.55	0.062
	Vel. de tornillo	2	0.78	3.55	0.473
IAA	Temp. x Vel.	4	6.18	2.93	0.003
	Temperatura	2	4.72	3.55	0.022
	Vel. de tornillo	2	18.86	3.55	0.000
	Temp. x Vel.	4	7.90	2.93	0.001



En la Tabla 22 se muestran los resultados obtenidos en el análisis de varianza. Considerando el criterio  $F_0 > F_{0.05, v_1, v_2}$  y  $P \leq 0.05$  (Montgomery, 2006), se observa que existe un efecto significativo de la temperatura en el porcentaje de humedad y en el IAA; un efecto significativo de la velocidad de tornillo en el porcentaje de humedad, el IE y el IAA; y finalmente, se observa que la interacción de ambos factores tiene un efecto significativo en las cuatro variables de respuesta.

Así mismo, se obtuvieron los diagramas de Pareto para efectos estandarizados (Figura 6), con los cuales se puede apreciar la magnitud del efecto de cada factor en las variables de respuesta.

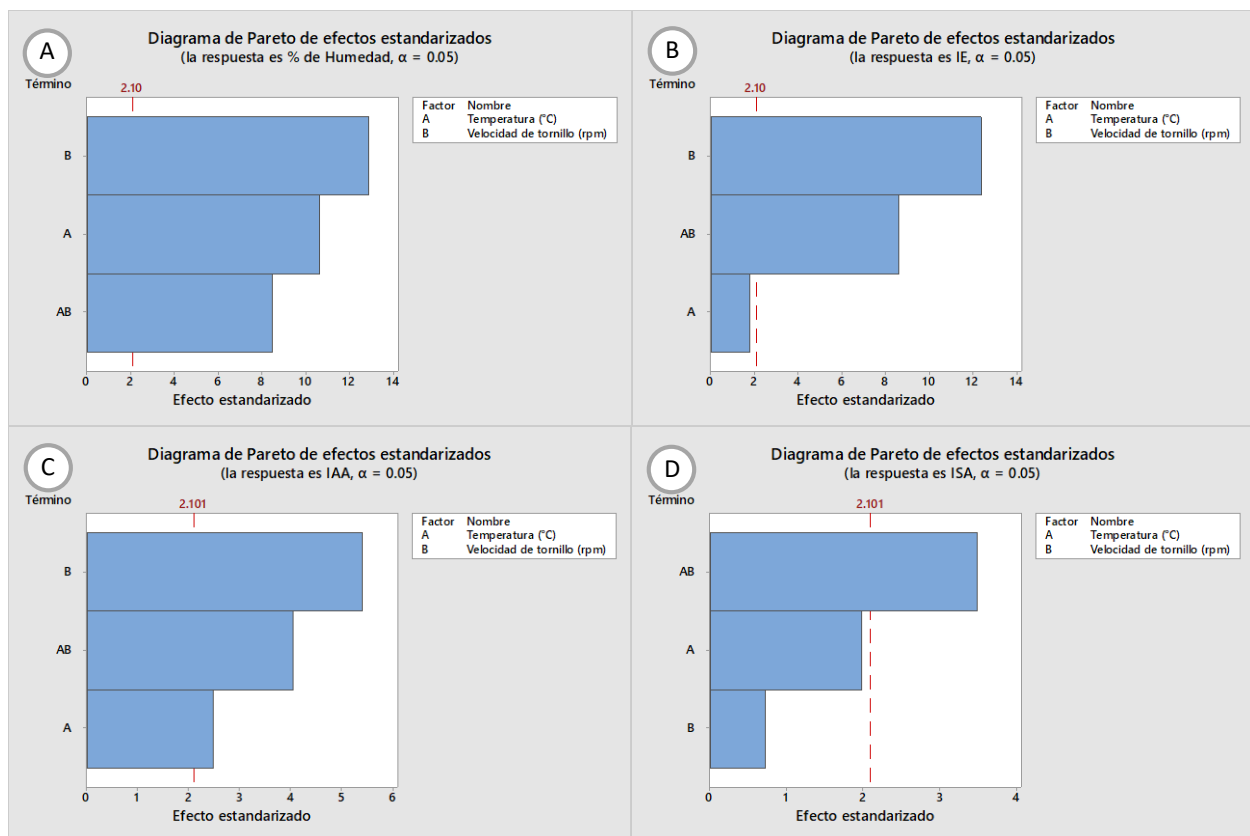











Figura 6. Diagramas de Pareto de efectos estandarizados para las variables de respuesta: A) % de Humedad, B) IE, C) IAA y D) ISA.

En la Figura 6 se observa que para las variables de humedad (A) e IAA (C), los dos factores y la interacción tuvieron efecto significativo pues cruzan la línea de referencia. Para esas dos variables la velocidad de tornillo fue el factor con mayor efecto. Por otra parte, la variable IE (B) se vio afectada principalmente por la velocidad de tornillo, seguida de la interacción de los dos factores. Finalmente se observa que para el ISA (D) solo tuvo efecto la interacción de ambos factores

A continuación, se presentan los valores promedio de las variables de respuesta para los niveles de cada factor (Tabla 23), así como las gráficas de efectos principales (Figura 7) y gráficas interacción (Figura 8).

*Tabla 23.* Valores promedio de las variables de respuesta para los niveles de cada factor

<i>Temperaturas (°C)</i>	<i>Velocidad de tornillo (rpm)</i>	<i>% de Humedad</i>	<i>IE</i>	<i>IAA (g sólidos/g sólidos originales)</i>	<i>ISA (g gel/g sólidos originales)</i>	<i>Extrudido</i>
120, 150, 180	50	10.60	0.43	4.95	0.46	
120, 150, 180	70	9.95	0.48	5.88	0.41	
120, 150, 180	90	9.98	0.56	6.12	0.46	
130, 160, 190	50	10.41	0.36	5.56	0.41	
130, 160, 190	70	9.53	0.46	5.55	0.50	
130, 160, 190	90	9.48	0.51	5.68	0.51	
140, 170, 200	50	9.70	0.44	5.77	0.49	
140, 170, 200	70	9.82	0.48	5.54	0.53	
140, 170, 200	90	9.62	0.42	6.40	0.44	

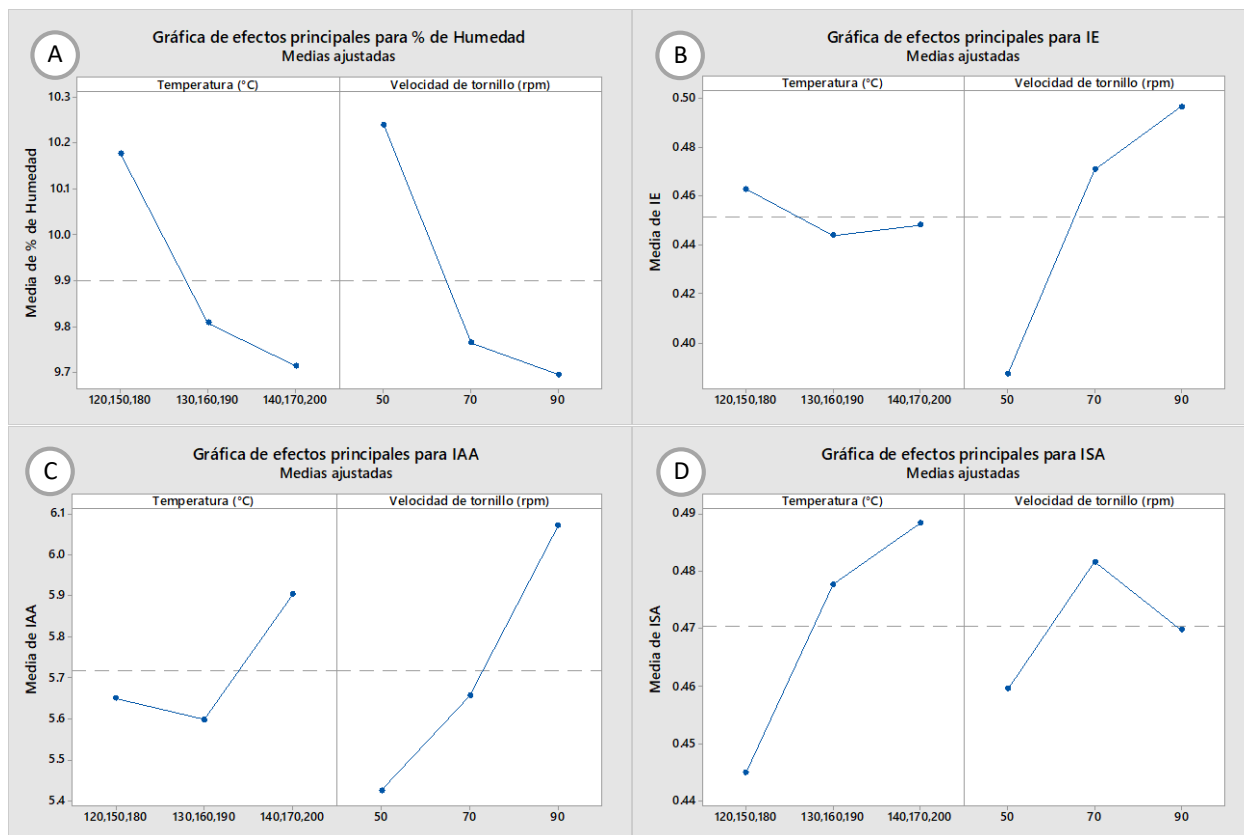


Figura 7. Gráficas de efectos principales para las variables de respuesta: A) % de Humedad, B) IE, C) IAA y D) ISA.

En la gráfica de efectos principales para el porcentaje de humedad (Figura 7, A) se observa que al aumentar la temperatura y la velocidad de tornillo se obtuvieron cereales de desayuno con un menor contenido de humedad, lo cual se debe a que al elevar la temperatura dentro del extrusor, las materias primas reciben una mayor cantidad de calor y se evapora una mayor cantidad de agua. Por otra parte, el aumento de la velocidad de tornillo provoca una mayor fuerza de fricción y cizallamiento, lo cual puede influir en un aumento de transferencia de calor a las materias primas y por ende aumentar la evaporación del agua en la muestra. Al observar el efecto de la interacción en esta variable de respuesta (Figura 8, A) es notable que la muestra con menor porcentaje de humedad se obtuvo a una

temperatura de 130, 160 y 190 °C en conjunto con 90 rpm, seguida de la muestra obtenida a la misma temperatura y 70 rpm.

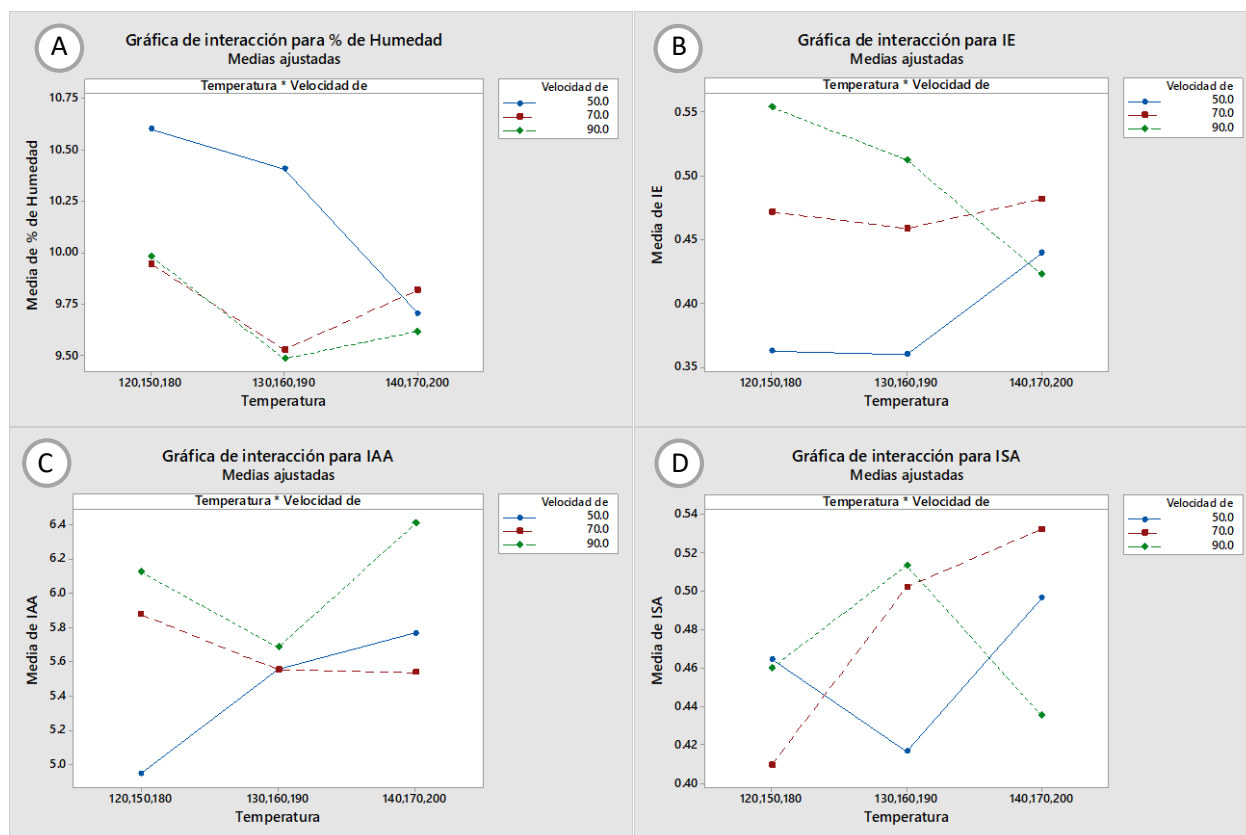


Figura 8. Gráficas de interacción para las variables de respuesta: A) % de Humedad, B) IE, C) IAA y D) ISA.

De acuerdo con Lezcano (2015) el porcentaje de humedad de los productos extrudidos antes del secado varía entre 7 y 10%. En los resultados obtenidos (Tabla 23) se observa que únicamente las muestras obtenidas a 120, 150, 180 y 130, 160, 190 °C con 50 rpm, rebasan ligeramente este intervalo con 10.60 y 10.41% de humedad, respectivamente. Generalmente los cereales de desayuno RTE se someten a un proceso de secado posterior a la cocción-extrusión para alcanzar una humedad de 1 a 3%; sin embargo, el evaluar la humedad, el IAA e ISA previo a ese proceso, puede ayudar a observar posibles variaciones

de estos parámetros en relación al grado de gelatinización y de cocción del producto extrudido (Shi et al., 2017).

Al analizar el IE se observa un incremento de esta variable con respecto al aumento de velocidad de tornillo y una disminución con respecto al aumento de temperatura. Lo anterior coincide con lo obtenido con Llopart (2011), quien observó una disminución de IE de productos extrudidos de sorgo al aumentar la temperatura del proceso.

Generalmente el IE se relaciona con el grado de cocción y la textura del producto repercutiendo en la porosidad y aireación de los extrudidos (Wójtowicz et al., 2015). De acuerdo con Cabrera-Canales et al. (2016), quienes realizaron una evaluación instrumental de la dureza de cereales de desayuno elaborados con harina de maíz azul y amaranto, las muestras con un mayor índice de expansión fueron aquellas que tuvieron un menor grado de dureza. Por otra parte, Oliveira et al. (2017) observaron el mismo efecto para la crujencia de cereales extrudidos elaborados a base de harina integral de trigo, pues aquellos cereales con un mayor IE presentaron una mayor crujencia.

En la gráfica de interacción (Figura 8, B) se observa que para 120, 150, 180 y 130, 160, 190 °C existe un aumento en esta variable con respecto al aumento de velocidad de tornillo; sin embargo, para 140, 170 y 200 °C existe una disminución del IE de las muestras obtenidas a 90 rpm en comparación las obtenidas a 50 y 70 rpm. Durante cada experimento se realizó un registro de las temperaturas leídas en la pantalla del control del extrusor y se encontró que para el experimento a 140, 170 y 200 °C con 90 rpm el extrusor solo alcanzó 130° C en la primer resistencia, lo que pudo influir en el aumento del IE debido al menor tiempo de residencia que tienen las materias primas dentro del extrusor a esta velocidad. De

manera general, se observa que las muestras con mayor IE se obtuvieron al utilizar una velocidad de 90 rpm en conjunto con 120,150 y 180 °C de temperatura, seguidas de las muestras obtenidas a 90 rpm y 130, 160, 190 °C.

Por otra parte, en las gráficas de efectos principales para el IAA (Figura 8, C) se observó que existe una relación directa entre el aumento de la velocidad de tornillo y el aumento de esta variable. Lo anterior puede relacionarse a que el incremento de la velocidad de tornillo provoca mayores esfuerzos de corte que tienen efecto en la fragmentación de los gránulos de almidón, dejándolos más disponibles para la absorción de agua (Llopart, 2011; Manrique-Quevedo et al., 2007). Al analizar el cambio del IAA con el cambio de temperaturas se observó un comportamiento similar comparado con lo obtenido para el IE, pues hubo una disminución de esta variable en las muestras obtenidas a 130, 160 y 190 °C en relación a lo obtenido en las muestras procesadas a 120, 150 y 180 °C; sin embargo, las muestras obtenidas a 140, 170 y 200 °C tuvieron los mayores valores de IAA.

De acuerdo con Wójtowicz et al. (2015), el aumento de IAA está relacionado con el aumento del IE y por consiguiente con mejores características de textura en extrudidos. Al analizar las gráficas de interacción para el IAA se observa que, para las tres temperaturas, las muestras con mayor IAA fueron las obtenidas a 90 rpm. Se observó que la muestra con mayor valor de IAA fue la obtenida a 140, 170 y 200 °C con 90 rpm, seguida de la muestra obtenida a 120, 150 y 180 °C con 90 rpm. Es probable que al igual que con el IE, durante la obtención de extrudidos a 140, 170 y 190 °C con 90 rpm, la variación de la temperatura de la primer resistencia (130° C) haya tenido un efecto en el aumento de IAA de las muestras.

Finalmente, se observó que hubo una respuesta diferente del ISA para cada velocidad de tornillo. A 70 rpm existe un incremento del ISA en relación al aumento de la temperatura. A 90 rpm se observa un incremento del ISA de los cereales obtenidos a 130, 160 y 190 °C comparado con el ISA de los cereales obtenidos a 120, 150 y 180 °C, pero las muestras con menor ISA fueron las obtenidas a 140, 170 y 200 °C. Por otra parte, para 50 rpm, las muestras con mayor ISA fueron las obtenidas a 140, 170 y 200 °C, seguidas de las obtenidas a 120, 150 y 180 °C y las obtenidas a 130, 160 y 190 °C.

Llopart (2011) menciona que cuando el grado de cocción no es elevado, el ISA tendrá un aumento relacionado directamente con el aumento del IAA; sin embargo, a partir de cierto grado de cocción el ISA disminuirá en relación a un aumento del IAA. Este último comportamiento se observa en las muestras obtenidas a 70 y 90 rpm para los tres juegos de temperaturas.

Si se considera la relación que el porcentaje de humedad, IE, IAA e ISA tienen con respecto a las características de textura del producto, podría considerarse que lo ideal sería seleccionar aquellas condiciones de extrusión que permitan obtener la muestra con un menor contenido de humedad e ISA, así como un mayor IE e IAA. De acuerdo a lo descrito en la Tabla 23 estas características pertenecen a muestras distintas.

Tomando en cuenta los estudios que relacionan directamente un mayor IE con mejores características de crujencia y menor dureza {Formatting Citation}, se puede decir que esta es la variable más determinante para seleccionar las mejores condiciones de extrusión. De acuerdo a lo anterior, temperaturas de 120, 150 y 180 °C y una velocidad de tornillo de 90 rpm permitieron obtener extrudidos con el mayor IE. Cabe mencionar que

estas muestras presentaron un contenido de humedad e ISA intermedios, así como uno de los mayores IAA. Además, al relacionar dichos datos con las imágenes de los extrudidos se aprecia que estas muestras presentan una apariencia deseada, ya que se observa un buen grado de inflado y un color característico.

En general, se observó que la velocidad de tornillo fue el factor con mayor efecto en las características de los cereales de desayuno de este proyecto y que los extrudidos con mejores características de expansión fueron los obtenidos a 90 rpm. Por otra parte, la temperatura también tuvo efecto en las características de los extrudidos pero los cambios que provoca en las muestras obtenidas son menos evidentes (Tabla 23). Lo anterior puede relacionarse a que la velocidad de tornillo puede controlarse con mayor eficacia durante el proceso de extrusión en comparación con la temperatura, la cual puede verse afectada por los esfuerzos de corte producidos, por el aumento de velocidad o algunas fallas y variaciones de calentamiento en los termopares.

Los datos obtenidos brindan un indicio de cuáles podrían ser las muestras con las mejores características sensoriales; sin embargo, es importante considerar la implementación de evaluación sensorial de los cereales de desayuno obtenidos para complementar esta información.



# PARTE 4

## ENTRENAMIENTO DE UN PANEL DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE TEXTURA PARA CEREALES DE DESAYUNO

Como resultado de la encuesta realizada a 26 alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos se tuvo un total de 20 estudiantes que accedieron a participar en la pre-selección de jueces, los cuales se encuentran en el rango de 19 a 26 años de edad, además de que el 65% se identifican como mujeres y 35% como hombres. Ninguno de ellos padece problemas auditivos o tiene algún tratamiento de ortodoncia. Para su identificación se ordenaron alfabéticamente los nombres de los participantes de acuerdo al semestre que cursaban y se les asignó un número del 1 al 20. Los 20 participantes tuvieron una asistencia de 100% en la sesión introductoria y sesiones de evaluación.

Selección de jueces

### *Prueba de clasificación de productos crujientes y no crujientes*

En la Figura 9 se muestra el porcentaje de aciertos que tuvieron los participantes en la prueba de clasificación de productos crujientes y no crujientes. El promedio de aciertos de los evaluadores fue de 83.33%. Solo una persona obtuvo 100% de aciertos y en total 10 evaluadores tuvieron un porcentaje superior al promedio.

El evaluador 7 tuvo el porcentaje de aciertos más bajo (66.67%); sin embargo, su resultado es superior al porcentaje mínimo requerido para ser seleccionado (60%). Cabe mencionar que la mayoría de los evaluadores no consideraron al pepino como un alimento

crujiente, lo cual puede deberse a que el atributo crujencia suele relacionarse principalmente con alimentos secos (Fillion y Kilcast, 2002).

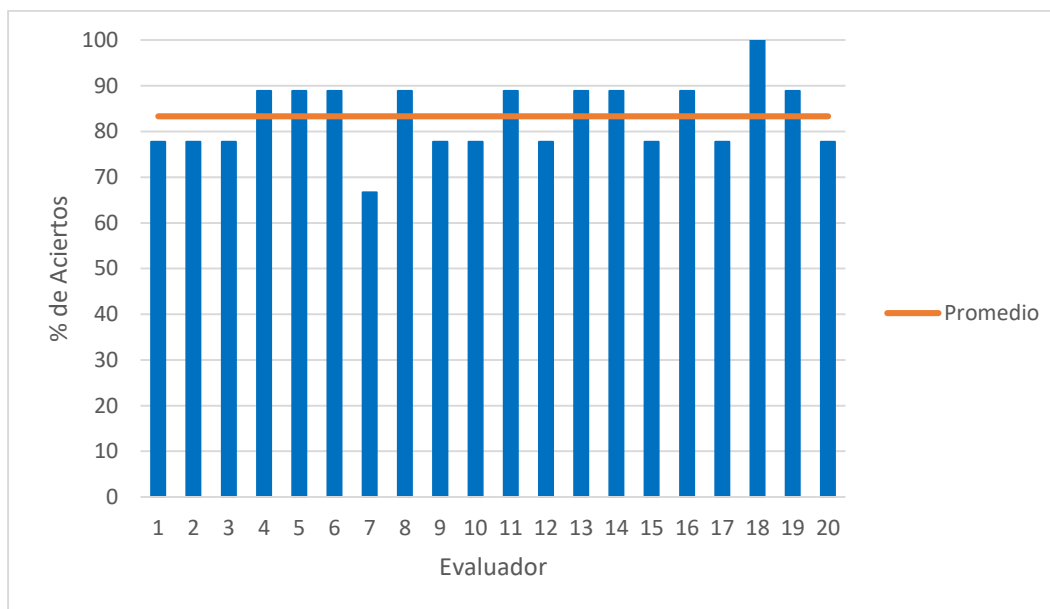


Figura 9. Gráfica de porcentaje de aciertos de la prueba de selección de productos crujientes.

### ***Prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia***

De acuerdo con la Figura 10, el promedio de aciertos de los participantes en el test de ordenamiento de intensidad de crujencia fue de 70%. En esta prueba 6 evaluadores obtuvieron 100% de aciertos; sin embargo, el resto obtuvieron resultados por debajo del promedio, de los cuales 9 tuvieron un 66.67% de aciertos.

Para la selección de un participante como parte del grupo de entrenamiento se requirió que cumpliera con un mínimo de 50% de aciertos en esta prueba, es por ello que los evaluadores 5 y 8 con 16.67 y 33.33% de aciertos, respectivamente, fueron descartados.

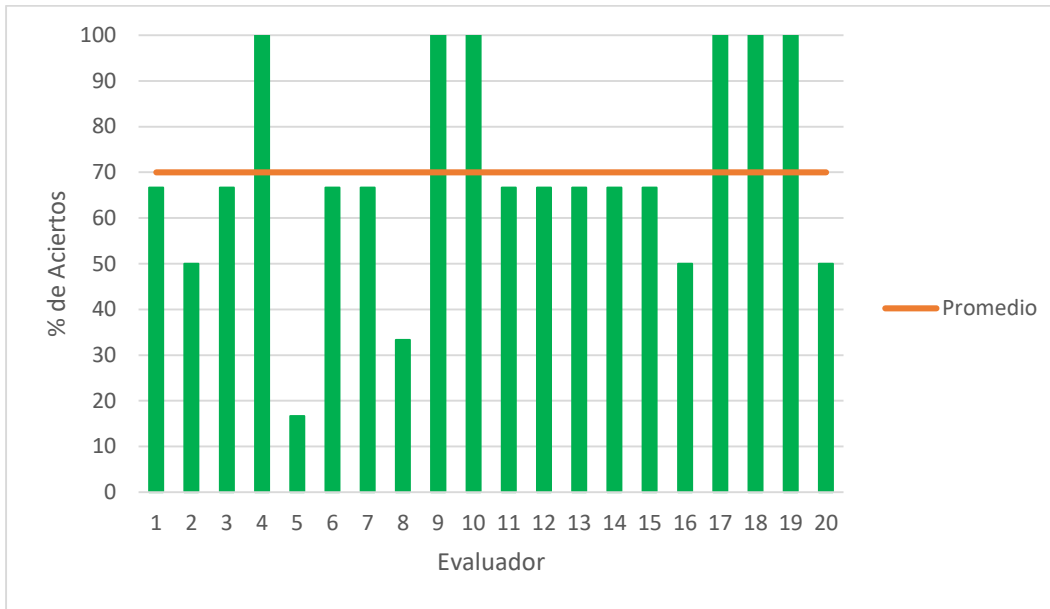


Figura 10. Gráfica de porcentaje de aciertos en la prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia.

### ***Prueba comparativa triangular de crujencia***

Los participantes evaluaron por duplicado cuatro alimentos con y sin diferencia en crujencia por lo que el número máximo de aciertos que pudieron obtener fue de 8. En la Figura 11 se observa que los participantes tuvieron 81.25% de aciertos en promedio. En este caso, 4 de ellos obtuvieron 100% de aciertos y en total 12 evaluadores obtuvieron un porcentaje superior al promedio. Por otra parte, 8 participantes obtuvieron porcentajes por debajo del promedio, siendo el evaluador 2 el que tuvo la puntuación mínima con 50%.

Para que un evaluador participara en la etapa de entrenamiento fue necesario que obtuviera al menos un 60% de aciertos en esta prueba, por lo que se descartó al participante

2.

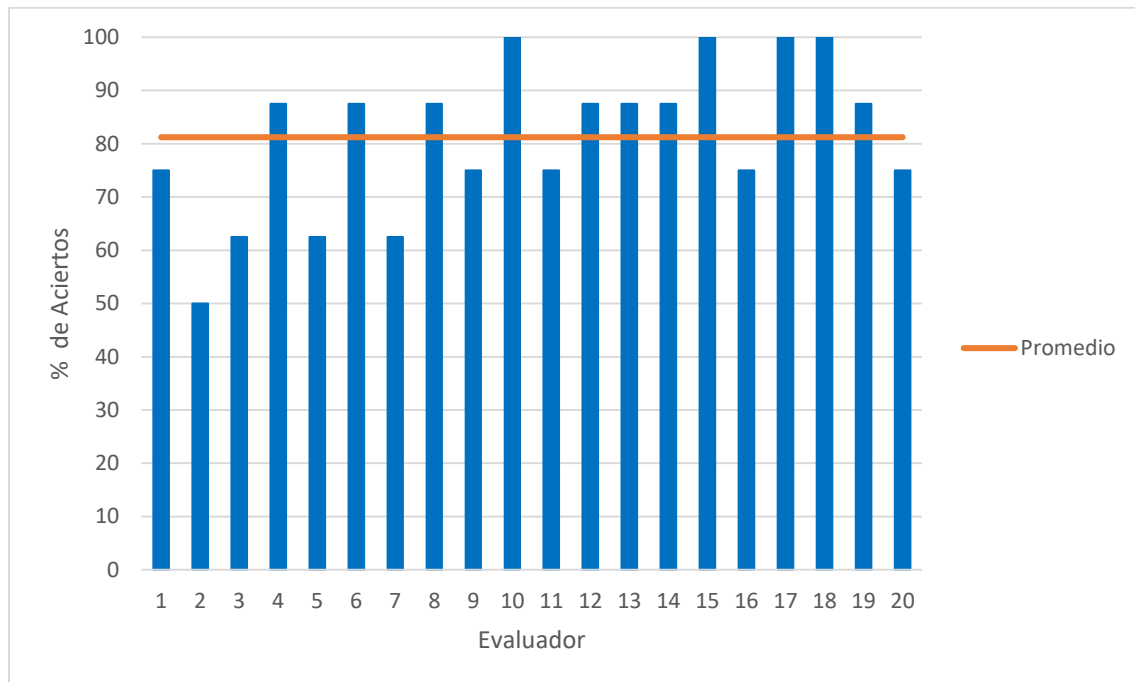


Figura 11. Gráfica de porcentaje de aciertos en la prueba de comparación triangular.

***Evaluadores seleccionados***

En la Tabla 24 se muestra un concentrado de los porcentajes de aciertos que cada participante obtuvo en las pruebas de pre-selección. Se observa que en la prueba de selección de productos crujientes todos los participantes obtuvieron el porcentaje requerido (60% de aciertos); sin embargo, fue en la prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia y en la prueba comparativa triangular que algunos evaluadores obtuvieron un porcentaje inferior al mínimo requerido.

En la prueba de ordenamiento los participantes 5 y 8 obtuvieron menos de 50% de aciertos, mientras que, en la prueba comparativa triangular el participante 2 obtuvo menos del 60% requerido. Lo anterior fue determinante para que se descartara su participación en el proceso de entrenamiento, seleccionando a 17 evaluadores para la siguiente etapa.

Tabla 24. Porcentajes de aciertos obtenidos por evaluadores en las pruebas de pre-selección

<i>No. de evaluador</i>	<i>Selección de productos crujientes</i>	<i>Prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia</i>	<i>Prueba triangular</i>	<i>Promedio</i>
1	77.78	66.67	75.00	73.15
2	77.78	50.00	50.00*	59.26
3	77.78	66.67	62.50	68.98
4	88.89	100.00	87.50	92.13
5	88.89	16.67*	62.50	56.02
6	88.89	66.67	87.50	81.02
7	66.67	66.67	62.50	65.28
8	88.89	33.33*	87.50	69.91
9	77.78	100.00	75.00	84.26
10	77.78	100.00	100.00	92.59
11	88.89	66.67	75.00	76.85
12	77.78	66.67	87.50	77.32
13	88.89	66.67	87.50	81.02
14	88.89	66.67	87.50	81.02
15	77.78	66.67	100.00	81.48
16	88.89	50.00	75.00	71.29
17	77.78	100.00	100.00	92.59
18	100.00	100.00	100.00	100.00
19	88.89	100.00	87.50	92.13
20	77.78	50.00	75.00	67.59

\* Porcentaje de aciertos inferior al criterio de aceptación establecido para la selección del evaluador.

### Entrenamiento

Para la identificación de los evaluadores se ordenaron alfabéticamente sus nombres de acuerdo al semestre que cursaban y se les asignó un número del 1 al 17.

### *Prueba de intensidad de crujencia*

En la Figura 12, se observan las puntuaciones que los evaluadores asignaron a las muestras de cereal comercial. Mediante el análisis de varianza de los datos se obtuvo que la

intensidad media de crujencia de la muestra B (Nesquick, Nestlé®) fue de  $4.12 \pm 0.78$ , el de la muestra C (Choco bowl, Great value®) fue de  $3.35 \pm 0.99$ , el de la muestra D (Frootloops, Kellogg's®) fue de  $3.29 \pm 0.59$  y el de la muestra A (Corn pops, Kellogg's®) fue de  $2.82 \pm 0.64$  (Tabla 15), sobre una escala verbal estructurada de 5 puntos (1 = nada crujiente, 5 = sumamente crujiente). Pese a que las muestra C y D tuvieron un mayor puntaje de intensidad de crujencia que la muestra A, no se encontraron diferencias significativas entre ellas (prueba de Tukey,  $\alpha=0.05$ ). Por otra parte, la muestra B fue evaluada como la de mayor crujencia y en este caso si existe una diferencia significativa con respecto al resto de cereales.

*Tabla 25. Puntuaciones promedio de intensidad de crujencia de cereales de desayuno comerciales*

	<i>Intensidad de crujencia</i>
<i>Muestra B (Nesquick, Nestlé)®</i>	$4.12 \pm 0.78^a$
<i>Muestra C (Choco bowl, Great Value)®</i>	$3.35 \pm 0.99^b$
<i>Muestra D (Frootloops, Kellogs)®</i>	$3.29 \pm 0.59^b$
<i>Muestra A (Corn pops, Kellogg's)®</i>	$2.82 \pm 0.64^b$

Los valores medios con distintos supraíndices son significativamente diferentes,  $p<0.05$  con la prueba de Tukey.

En general, para cada muestra algunos evaluadores (de 1 a 3 participantes) emitieron un puntaje considerablemente menor o mayor al promedio grupal. Por ejemplo, para la muestra A los evaluadores 1 y 9 emitieron puntuaciones altas (4 puntos); y para la muestra B los participantes 2 y 3 asignaron puntuaciones bajas (2 y 3 puntos, respectivamente). A pesar de ello no se encontró un efecto significativo por participantes sobre la intensidad de crujencia de los cereales comerciales (prueba de Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

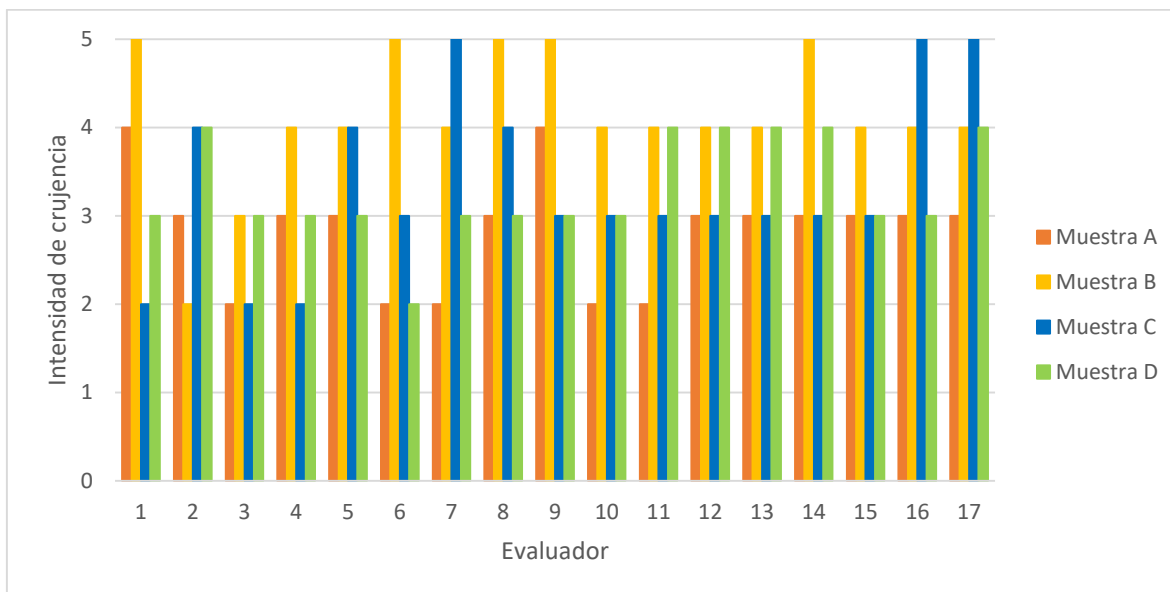


Figura 12. Puntuaciones de intensidad de crujiencia otorgadas por cada evaluador.

### ***Prueba de ordenamiento de intensidad de crujiencia***

En la Tabla 26 se muestran los resultados del análisis de comparación de diferencias de rangos que se realizó con los resultados del ordenamiento de crujiencia. En este caso la muestra A (Corn pops, Kellogg's®) fue considerada como la de menor crujiencia por 15 evaluadores, resultado para el cual existe diferencia significativa. La muestra D (Frootloops, Kellogg's®) fue colocada en la segunda posición con menos crujiencia por 9 evaluadores, seguida de la muestra C (Choco bowl, Great Value®) que fue colocada en tercera posición por 8 evaluadores. Finalmente, la muestra B (Nesquick, Nestlé®) fue considerada como la de mayor crujiencia por 10 evaluadores. Este orden coincide con los resultados obtenidos en la prueba descriptiva de intensidad de crujiencia; sin embargo, en esta ocasión no existió diferencia significativa en el orden promedio otorgado para las muestras B, C y D.

Tabla 26. Suma de rangos obtenidos en la prueba de ordenamiento de crujencia de cereales de desayuno comerciales

	<i>Suma de rangos</i>
<i>Muestra A (Corn pops, Kellogg's)®</i>	19 <sup>b</sup>
<i>Muestra D (Frootloops, Kellogg's)®</i>	41 <sup>a</sup>
<i>Muestra C (Choco bowl, Great Value)®</i>	50 <sup>a</sup>
<i>Muestra B (Nesquick, Nestlé)®</i>	60 <sup>a</sup>

Suma de rangos con distintos supraíndices indican diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

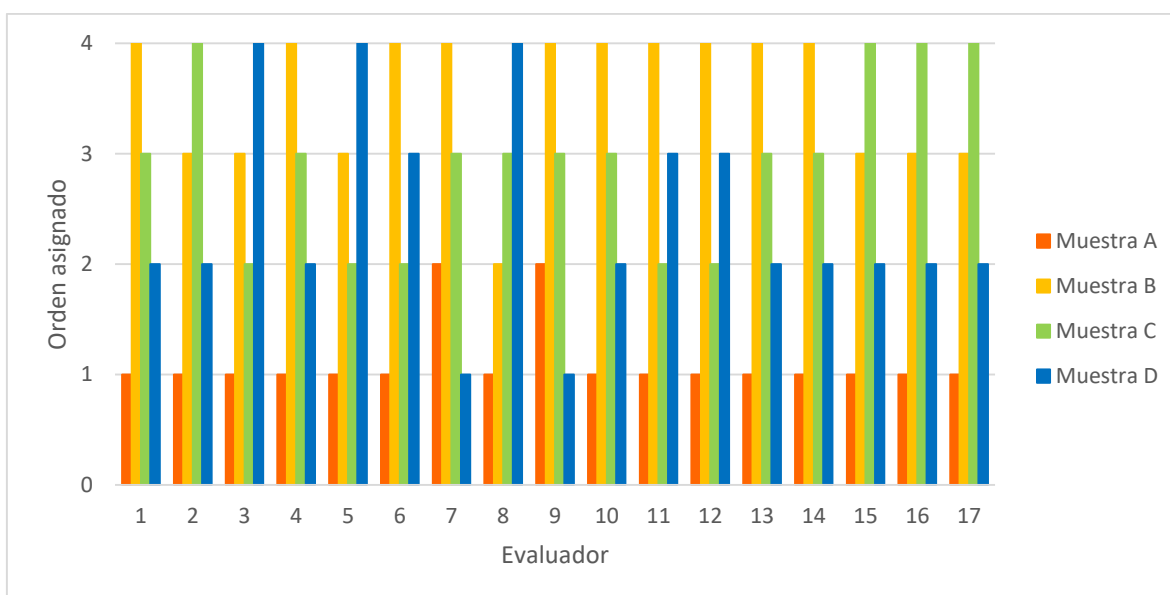


Figura 13. Orden de crujencia de cereales otorgados por cada evaluador.

### ***Prueba de nivel de agrado de crujencia***

En la prueba de nivel de agrado se obtuvo que la muestra B (Nesquick, Nestlé®) tuvo un puntaje promedio de  $6.00 \pm 0.94$ , la muestra C (Chocobowl, Great value®) tuvo una puntuación de  $5.35 \pm 1.32$ , la muestra D (Frootloops, Kellogg's®) una puntuación de  $5.24 \pm 1.03$  y la muestra A (Corn pops, Kellogg's®) tuvo un puntaje promedio de  $4.18 \pm 1.23$  (Tabla 27) sobre una escala verbal estructurada de 7 puntos (1 = me disgusta muchísimo, 7 = me gusta muchísimo). La muestra B fue la que tuvo un mayor nivel de agrado; sin



embargo, solo existe diferencia significativa al compararla con A. Por otra parte, la muestra C fue calificada con un nivel de agrado mayor que las muestras D y A, pero solo hubo diferencia al compararla con A. Finalmente, no se encontró diferencia significativa entre D y A, aunque el nivel de agrado de la muestra D fuera mayor.

*Tabla 27. Nivel de agrado de crujencia de cereales de desayuno comerciales*

	<i>Nivel de agrado de crujencia</i>
Muestra B (Nesquick, Nestlé®)	6.00 ± 0.94 <sup>a</sup>
Muestra C (Choco bowl, Great Value®)	5.35 ± 1.32 <sup>a</sup>
Muestra D (Frootloops, Kellogg's®)	5.24 ± 1.03 <sup>a,b</sup>
Muestra A (Corn pops, Kellogg's®)	4.18 ± 1.23 <sup>b</sup>

Al relacionar lo obtenido en esta prueba con los resultados de la evaluación de intensidad de crujencia, se observa que la muestra calificada mayoritariamente con menor nivel de agrado corresponde a la muestra calificada con menor intensidad de crujencia y a su vez, la muestra calificada mayoritariamente con el nivel de agrado más alto, corresponde a la que obtuvo una mayor intensidad de crujencia (Figura 14); sin embargo, se puede observar que existen dos percepciones distintas por parte de los participantes pues 6 de ellos asignaron un alto nivel de agrado a la muestra A, que fue evaluada como la de menor intensidad de crujencia en pruebas anteriores.

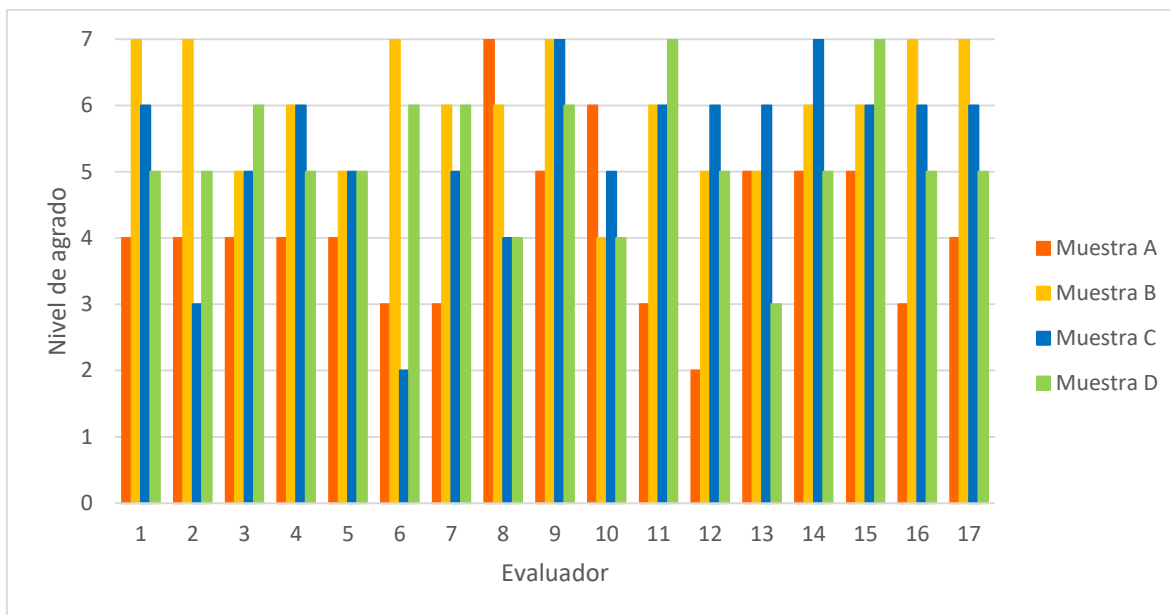


Figura 14. Gráfica de puntuaciones de nivel de agrado de crujencia.

### ***Prueba de comparación por pares de decisión no forzada***

En la Figura 15, se observa el porcentaje de aciertos que tuvieron los evaluadores en la prueba de comparación por pares de crujencia de cereales de desayuno. Cada participante evaluó una muestra por cuadruplicado. Trece evaluadores obtuvieron 100% de aciertos, mientras que cuatro, obtuvieron 75% de aciertos. De acuerdo con Anzaldúa-Morales (2005) esta es una prueba relativamente sencilla debido a que existe una posibilidad del 50% de acertar por casualidad. Por otra parte, Meilgaard et al. (2007) comentan que para este tipo de pruebas el porcentaje mínimo de aciertos requerido para seleccionar a un evaluador es del 75%, criterio que cumplen todos los participantes.

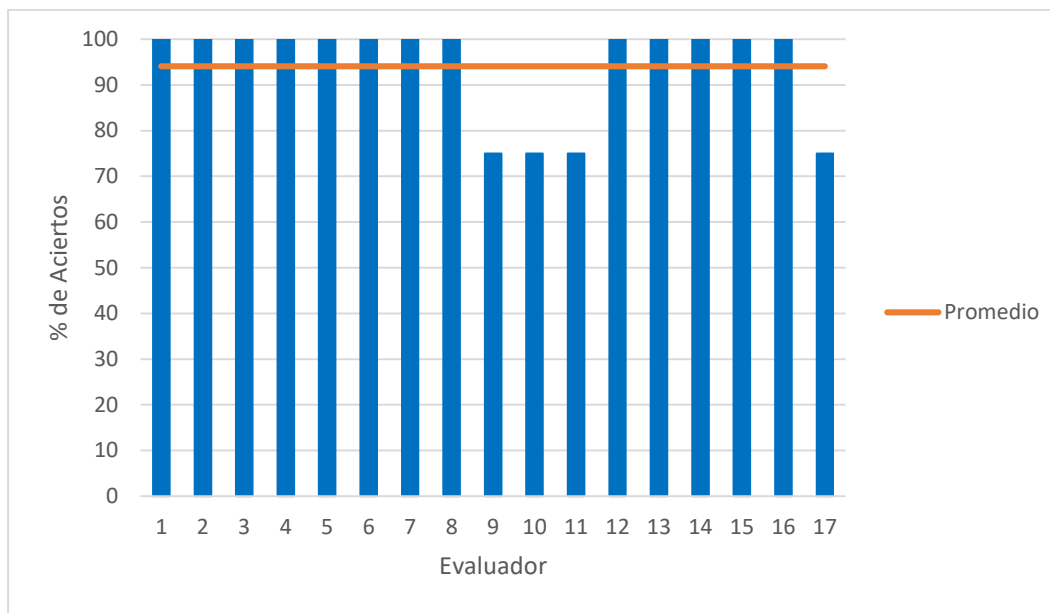


Figura 15. Porcentaje de aciertos de prueba de comparación por pares.

### ***Prueba comparativa triangular de crujencia***

En la gráfica de porcentaje de aciertos de la prueba triangular (Figura 16) se observa que 16 evaluadores lograron obtener un 100% y solo un participante obtuvo 66.67%. Meilgaard et al. (2007) indican que las pruebas comparativas triangulares pueden dividirse en dos tipos, aquellas en las que el umbral de diferenciación es fácilmente perceptible y aquellas en las que existe una mayor dificultad para diferenciar las muestras. El porcentaje mínimo de aciertos requeridos para la selección de un evaluador en dichas pruebas es de 60 y 40% respectivamente. En esta ocasión los 17 participantes cumplen con ambos criterios. Es probable que la elevada tasa de aciertos se relacione a que, para este punto del entrenamiento, los evaluadores ya estaban muy familiarizados con el atributo crujencia de la muestra evaluada y a que la diferencia de crujencia entre las muestras fuera muy perceptible.

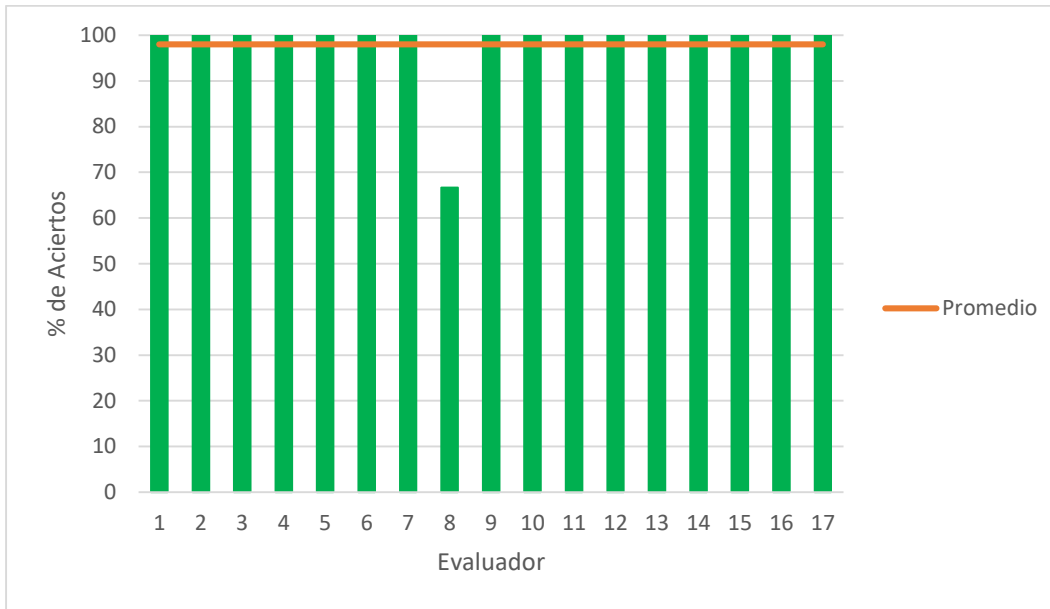


Figura 16. Porcentaje de aciertos de prueba comparativa triangular.

### ***Prueba comparativa dúo-trío***

En la Figura 17 se observa que los 17 evaluadores obtuvieron 100% de aciertos. Al igual que en la prueba de comparación por pares no forzada, en la prueba dúo-trío existe una probabilidad de acertar de 50% (Anzaldúa-Morales, 2005; Pedrero y Pangborn, 1989). Es por ello que se requiere un mínimo de 75% de aciertos para seleccionar a un evaluador (Meilgaard et al., 2007). Es posible que la diferencia de crujencia entre las muestras A (Cereal Nesquick, Nestlé®) y B (Cereal Nesquick, Nestlé® hidratado) fuera muy perceptible, lo cual facilitó a los participantes acertar en esta prueba comparativa.

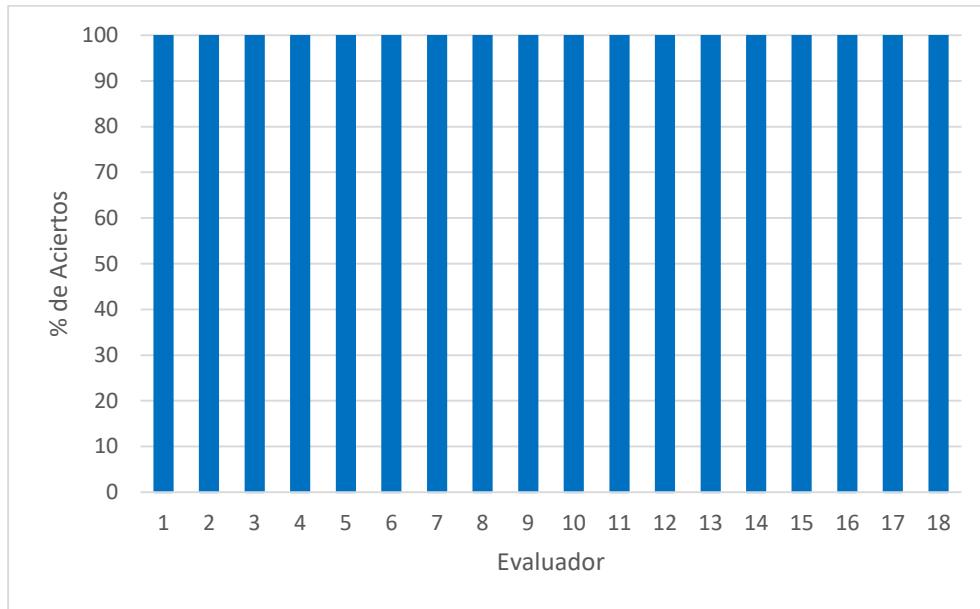


Figura 17. Porcentaje de aciertos de prueba dúo-trío.

### ***Rendimiento general del panel***

En la Tabla 28 se muestra un concentrado de los porcentajes de aciertos que obtuvo cada participante en las pruebas de entrenamiento. En general, se observa que todos ellos tuvieron un buen desempeño al diferenciar las muestras, pues existe una tasa de aciertos elevada en las tres pruebas realizadas y se cumple con los criterios de selección propuestos por Meilgaard et al. (2007). Por otra parte, aunque no se contó con un criterio predeterminado con los cuales comparar los resultados de los participantes en la prueba descriptiva de intensidad de crujencia y prueba de ordenamiento de crujencia de cereales comerciales, se observó que los juicios de 14 evaluadores fueron similares para muestras iguales en ambas pruebas, lo cual nos indica que existe repetibilidad.

Tabla 28. Porcentajes de aciertos obtenidos por los evaluadores en las pruebas de entrenamiento

<i>No. de evaluador</i>	<i>Prueba de comparación por pares</i>	<i>Prueba comparativa triangular</i>	<i>Prueba comparativa dúo-trío</i>
	<i>% de aciertos</i>		
1	100.00	100.00	100.00
2	100.00	100.00	100.00
3	100.00	100.00	100.00
4	100.00	100.00	100.00
5	100.00	100.00	100.00
6	100.00	100.00	100.00
7	100.00	100.00	100.00
8	100.00	66.67	100.00
9	75.00	100.00	100.00
10	75.00	100.00	100.00
11	75.00	100.00	100.00
12	100.00	100.00	100.00
13	100.00	100.00	100.00
14	100.00	100.00	100.00
15	100.00	100.00	100.00
16	100.00	100.00	100.00
17	75.00	100.00	100.00

Validación del panel

***Prueba de comparaciones múltiples***

Para esta prueba se contó con la participación de 15 de los 17 evaluadores previamente seleccionados, por lo cual se les reasignó un número.

Cada participante evaluó 2 series, por lo que pudieron obtener un total de 4 aciertos al calificar la muestra A (Nesquick, Nestlé®) igual que R (Nesquick, Nestlé®), así como las muestras B (Cereal Choco Bowl, Great Value®) y C (Nesquick, Nestlé® hidratado) como menos crujientes que R. En la Figura 18 se observa que 13 evaluadores obtuvieron 100% de aciertos y 2 obtuvieron 75%, promediando 98.04%.

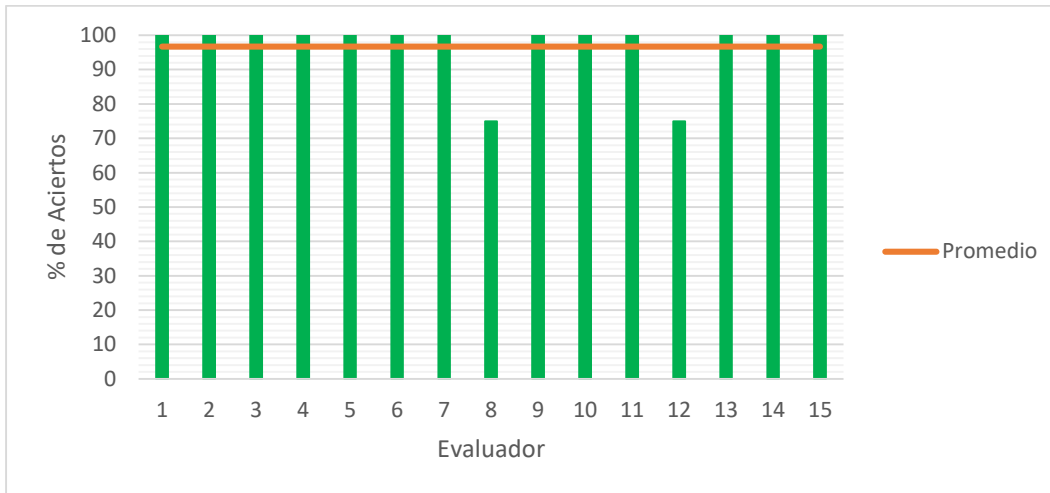


Figura 18. Gráfica de porcentaje de aciertos de la prueba de comparaciones múltiples.

Mediante el análisis de varianza se determinó que A (Nesquick, Nestlé®) tuvo una crujencia promedio de  $6.00 \pm 0.26$ , B (Choco bowl, Great value®) tuvo un  $5.87 \pm 2.59$  y C (Nesquick, Nestlé® hidratado) un promedio de  $2.00 \pm 1.05$ . En este caso solo hubo diferencia significativa entre las muestras A y C. Lo anterior es similar a lo obtenido en la prueba descriptiva y en la prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia, en las cuales el cereal Choco bowl (Great value®) fue calificado y ordenado con menor intensidad de crujencia que el cereal Nesquick (Nestlé®) pero sin tener una diferencia significativa entre ellas.

Al analizar la repetibilidad (Figura 19) se observó que 10 evaluadores obtuvieron un 100% pues sus respuestas coincidieron totalmente en ambas series evaluadas. El resto de participantes obtuvo un 66.67% de repetibilidad, por lo que el promedio del panel fue de 88.89%.

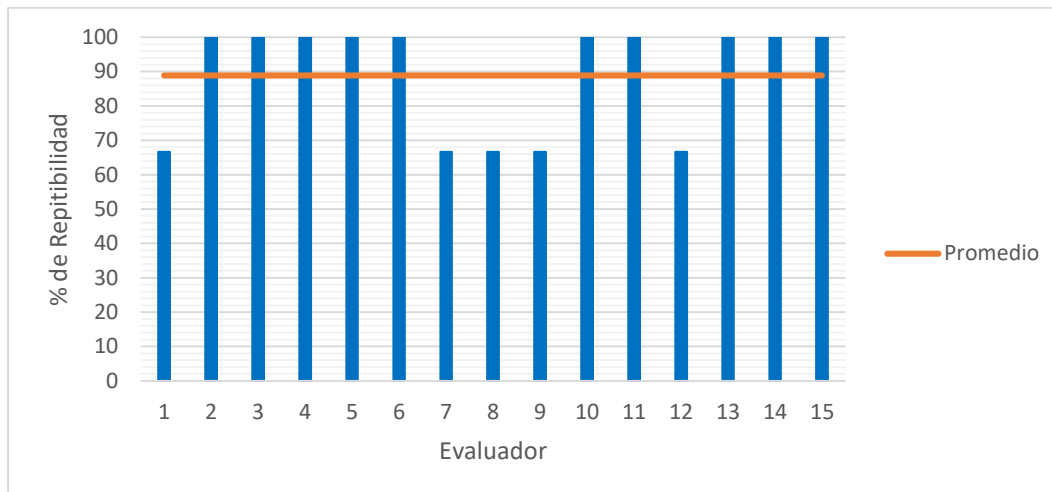


Figura 19. Gráfica de porcentaje de repetibilidad de la prueba de comparaciones múltiples.

Tabary et al. (2020) y Meilgaard et al. (2007) mencionan que existen dos criterios principales para monitorear el desempeño de un panel durante el entrenamiento: porcentaje de capacidad de discriminación y porcentaje de repetibilidad promedio, los cuales deben ser superiores a un 70% para poder considerar como apto a un panel de evaluación sensorial. Así mismo, Tabary et al. (2020) recomienda seleccionar al menos 12 evaluadores para cumplir con los estándares de calidad.

En el presente trabajo fue posible obtener el porcentaje de aciertos para evaluar la capacidad de discriminación de muestras, así como un porcentaje de repetibilidad de los participantes al final del entrenamiento. Debido a que ambos criterios superan el porcentaje recomendado, es posible realizar evaluaciones de diferenciación para la crujencia de cereales con los 15 jueces entrenados en este programa.



# **8. CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos en este trabajo de tesis han conducido a las siguientes conclusiones:

1. La harina de hojas de moringa cultivada en Mariscal de Juárez tiene un contenido de proteínas ( $27.51 \pm 0.52$  g/100g), cenizas ( $12.41 \pm 0.05$  g/100g) y fibra cruda ( $5.44 \pm 0.24$  g/100g), comparable al de cultivos de distintas zonas a nivel mundial.
2. La adición de 10% de harina de hojas de moringa en una mezcla de cereales tiene un impacto significativo en el aumento del contenido de cenizas (105.52%), proteína (20.3%), extracto etéreo (31.56%) y fibra cruda (307.41%). Así mismo, no existe diferencia significativa del contenido de cenizas y extracto etéreo de la mezcla de cereales fortificada con 15 y 10% de HHM, por lo que se recomienda utilizar 10% de HHM a fin de reducir el posible impacto que la moringa pueda tener en las propiedades funcionales y características sensoriales de los cereales de desayuno.
3. La velocidad de tornillo fue el factor con mayor efecto en las características físicas de los cereales de desayuno y se determinó que las muestras procesadas a 90 rpm permitieron obtener los cereales de desayuno con mejores IE, principalmente a 120, 150 y 180 °C.
4. Se observó que el porcentaje de humedad, IE, IAA e ISA, tienen una estrecha relación con las características físicas y sensoriales de cereales de desayuno extrudidos y que el IE fue la variable más determinante para seleccionar las condiciones de extrusión.

5. El establecimiento de un programa de entrenamiento de un panel de evaluación sensorial de textura para cereales de desayuno, permitió preparar a 15 jueces que obtuvieron 70% de repetibilidad promedio, parámetro recomendado para realizar evaluaciones sensoriales de diferenciación, por lo que es viable complementar el estudio de las características de textura de cereales de desayuno en futuras investigaciones.

# **9. PERSPECTIVAS**

1. Se recomienda optimizar el sistema de controles y calentamiento del extrusor a fin de disminuir las variaciones de temperatura durante el procesamiento de las materias primas. Además, es importante considerar la adaptación de un tornillo sin fin que tenga un aumento progresivo en la relación de compresión, de forma que permita aumentar la fusión y plastificación de las materias primas. Finalmente, se recomienda realizar ranuras dentro del barril para aumentar la superficie de contacto y tiempo de residencia, ya que de esta forma se puede mejorar la gelatinización del almidón de las materias primas y, por ende, las características sensoriales del producto.
2. La adición de HHM puede influir en las características físicas y sensoriales de los cereales de desayuno, por lo que además de analizar el cambio en la composición proximal de los cereales de desayuno enriquecidos con moringa, es importante analizar variables como el IE, IAA e ISA, a fin de complementar los análisis de evaluación sensorial.
3. Realizar la preparación de un nuevo panel de entrenamiento para la evaluación de la textura de cereales de desayuno, además de medir y disminuir las diferencias entre muestras para mejorar la sensibilidad de los jueces a mínimas diferencias de textura.
4. Implementar la medición instrumental de parámetros de textura, tales como la crujencia y grado de dureza debido a que puede ser un complemento importante de la evaluación sensorial de textura y con ello, un complemento para la validación del panel de evaluación sensorial.

# **10. BIBLIOGRAFÍA**

- AEFC. (2010). *Cereales de desayuno, nutrición y gastronomía*. Evergráficas.  
<https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- AEFC. (2011). Cereales de desayuno. *Cereales y derivados*.  
<http://www.asociacioncereales.es/cereales-de-desay>
- Alfaro-Villatoro, N. C., & Martínez, W. W. (2008). Uso potencial de la Moringa (*Moringa oleifera Lam*) para la producción de alimentos nutricionalmente mejorados. *Cartilla: Caracterización Agronómica y Nutricional de La Moringa Oleifera Lam (En el contexto Guatemalteco)*, 1(1), 31.
- Alfaro, N. C. (2008). *Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa olifera Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala*.  
[http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt 2006.26.pdf](http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202006.26.pdf)
- Anderson, R. A., Conyway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4–12.
- Anzaldúa-Morales, A. (2005). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Acribia.
- AOAC. (1997). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (16 th).
- Atwell, W., & Finnie, S. (2016). Pasta, noodle and breakfast cereal products. *Wheat Flour* 131–143. <https://doi.org/10.1016/b978-1-891127-90-8.50009-7>
- Badui-Dergal, S. (2006). Química de los alimentos. *Química de los alimentos*.

- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). Extrusión. *Tecnología de Polímeros*, 102–167.  
<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>
- Busani, M., Patrick, J. M., Arnold, H., & Voster, M. (2011). Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleifera Lam*) leaves. *African Journal of Biotechnology*, 10(60), 12925–12933. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1599>
- Cabrera-Canales, Z. E., Acevedo-Sandoval, O. A., Navarro-Cortez, R. O., Castro-Rosas, J., & Gómez-Aldapa, C. A. (2016). Optimización del proceso de extrusión para la elaboración de un cereal para desayuno. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 2(4). <https://doi.org/10.29057/icap.v2i4.302>
- Caldwell, E. F., McKeehen, J. D., & Kadan, R. S. (2016). Breakfast cereals. *Processing of grains*, 2(4), 262–267. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00143-1>
- Callejo-González, M. J. (2002). *Industrias de Cereales y derivados*. AMV Ediciones.
- Callejo, M. J., Vargas-Kostiuk, M. E., & Rodríguez-Quijano, M. (2015). Selection, training and validation process of a sensory panel for bread analysis: Influence of cultivar on the quality of breads made from common wheat and spelt wheat. *Journal of Cereal Science*, 61, 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.09.008>
- Chinma, C. E., Abu, J. O., & Akoma, S. N. (2014). Effect of Germinated Tigernut and Moringa Flour Blends on the Quality of Wheat-Based Bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38 (2), 721–727. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12023>
- CONEVAL. (2020). *Resultados pobreza (interactivo)*. Medición de La Pobreza. [https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Resultados\\_Pobreza\\_Interactivo.aspx](https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Resultados_Pobreza_Interactivo.aspx)



- Dachana, K. B., Rajiv, J., Indrani, D., & Prakash, J. (2010). Effect of dried moringa (*Moringa oleifera* lam) leaves on rheological, microstructural, nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. *Journal of Food Quality*, 33(5), 660–677. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00346.x>
- Dendy, D. A. V., & Dobraszczyk, B. J. (2003). *Cereales y Productos Derivados*. Editorial Acribia.
- Dos-Santos-Fernandes, M., Wang, S. H., Ramírez-Ascheri, J. L., De-Oliveira, M. F., & James-Costa, S. A. (2002). Produtos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 37(10), 1495–1501. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002001000018>
- Everitt, M. A. (2017). Setting up and training a descriptive analysis panel. *Descriptive Analysis in Sensory Evaluation*, 81–112. <https://doi.org/10.1002/9781118991657.ch3>
- Falcón-Villa, M. del R., & Heredia-Sandoval, N. G. (2011). Elaboración y caracterización química de un extruido tipo cereal para desayuno basado en harina de trigo integral (*Triticum aestivum*) y mezquite (*Prosopis glandulosa*). *Epistemos. Ciencia, tecnología y salud* (11). <http://www.epistemos.uson.mx/revistas/pdf/numero11.pdf>
- FAO. (2018). *Nota informativa de la FAO sobre la oferta y la demanda de cereales*. Situación Alimentaria Mundial. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- FAO. (2019). *Prevalencia de desnutrición (% de la población) - México*. Banco Mundial. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SN.ITK.DEFC.ZS?end=2019&locations=M&start=2001&view=chart>

- Fillion, L., & Kilcast, D. (2002). Consumer perception of crispness and crunchiness in fruits and vegetables. *Food Quality and Preference*, 13(1), 23–29. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00053-2](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00053-2)
- FIRA. (2015). Panorama Agroalimentario. *Dirección de Evaluación y Evaluación Económica y Sectorial*, 1–39.
- Flores-Vera, N. A. (2015). Entrenamiento de un panel de evaluación sensorial, para el departamento de nutrición de la facultad de medicina de la Universidad de Chile. *Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas*. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/137798/Entrenamiento-de-un-panel-de-evaluacion-sensorial-para-el-Departamento-de-Nutricion-de-la-Facultad-de-Medicina-de-la-Universidad-de-Chile.pdf?sequence=1>
- Gómez, A. V., & Angulo, K. J. O. (2014). Revisión de las características y usos de la planta *Moringa oleifera*. *Artículos De Revisión, Universidad de Cartagena*, 22(2), 309–330.
- González-Casado, A., Jiménez-Carvelo, A. M., & Cuadros-Rodríguez, L. (2019). Sensory quality control of dry-cured ham: A comprehensive methodology for sensory panel qualification and method validation. *Meat Science*, 149, 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.11.021>
- González, R. J., Torres, R. L., & Greef, D. (2002). Extrusión-cocción de cereales. *Boletín de Sociedade Brasileira de Ciencia e Tec de Alimentos (SbCTA)*, 36(2), 83–136.
- Gopalan, C., Rama-Sastri, B. V., & Balasubramanian, S. C. (2012). *Nutritive value of indian foods*. National Institute of Nutrition.

- Gutiérrez-Robles, G. (2015). *Elaboración de galletas adicionadas con harina de moringa (Oleifera lam)*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. [https://repositorio.unicach.mx/bitstream/20.500.12114/637/1/ALI\\_641.8654\\_G87E\\_2015.pdf](https://repositorio.unicach.mx/bitstream/20.500.12114/637/1/ALI_641.8654_G87E_2015.pdf)
- Gutiérrez G., N., & Barrera B., O. M. (2015). Selección y entrenamiento de un panel en análisis sensorial de café Coffea arabica L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2), 77. <https://doi.org/10.22267/rcia.153202.15>
- Hernández-García, Y., Torres-Duarte, G., Gómez-Lara, V. A., Sánchez-Cruz, M., Salazar-Govea, A. Y., & Santiago Gómez, M. P. (2018). *Aceptación sensorial de pan enriquecido con Moringa oleifera*.
- Hernández-Torres, Y., Castillo-Zamudio, R. I., Pérez-Vázquez, A., & Salgado-Cervantes, M. A. (2017). Efecto del tipo de secador sobre la calidad fisicoquímica de harina de moringa (*Moringa Oleifera L.*). *Investigación y Desarrollo En Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 423–429.
- Honesey, R. C., & González, A. M. (1991). *Principios de ciencia y Tecnología de Cereales*. Acribia.
- INSP. (2016). Encuesta nacional de salud y nutrición de medio camino. *Salud Publica de México*, 59(3), 299–305. <https://doi.org/10.21149/8593>
- Lezcano, E. (2015). Análisis de producto: Cereales para el desayuno. *Alimentos Argentinos*, 2, 34.
- Lezcano, E., & Cuggino, M. (2019). Desarrollo de alimentos precocidos por extrusión a

base de maíz-leguminosa. *Alimentos Argentinos*, 50, 1–90.

Llopart, E. E. (2011). *Efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de productos extrudidos de sorgo integral de bajo contenido de taninos*. Universidad Nacional del Litoral.

Manrique-Quevedo, N., González-Soto, R. A., Othman-Abu-Hardan, M., García-Suárez, F. J., & Bello-Pérez, L. A. (2007). Caracterización de mezclas de almidones de mango y plátano pregelatinizados mediante diferentes condiciones de extrusión. *Agrociencia*, 41(6), 637–645. <https://doi.org/10.1348/135532507X214192>

Martínez-Ascencio, E. (2011). *Cereal extruido para desayuno, a base de harina de nopal con alto contenido en fibra*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Meilgaard, M. C., Civile, G. V., & Carr, B. T. (2007). *Sensory evaluation techniques*. CRC Press.

Menal-Puey, S., Fajó-Pascual, M., & Marques-Lopes, I. (2011). Estudio descriptivo del desayuno en una población infantil inmigrante escolarizada, 2007–2010. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 15(4), 177–183. [https://doi.org/10.1016/S2173-1292\(11\)70057-6](https://doi.org/10.1016/S2173-1292(11)70057-6)

Montgomery, D. C. (2006). *Diseño y análisis de experimentos*. Limusa Wiley.

Moreno-Reyes, C., Milán-Carrillo, J., Rouzaud-Sandez, O., Garzón-Tiznado, J. A., & Mora-Escobedo, R. (2002). Descascarillado/suavización/extrusión (DSE): alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del garbanzo (*Cicer arietinum L.*). *Agrociencia*, 36(2), 181–189.

- Oliveira, L. C., Rosell, C. M., & Steel, C. J. (2015). Effect of the addition of whole-grain wheat flour and of extrusion process parameters on dietary fibre content, starch transformation and mechanical properties of a ready-to-eat breakfast cereal. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1504–1514. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12778>
- Oliveira, L. C., Schmiele, M., & Steel, C. J. (2017). Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 261–270. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.064>
- Olorode, O. O., Idowu, M. A., & Ilori, O. A. (2013). Effect of benoil (*Moringa oleifera*) leaf powder on the quality characteristics of “Ogi.” *American Journal of Food and Nutrition*, 3(2), 83–89. <https://doi.org/10.5251/ajfn.2013.3.2.83.89>
- Olson, M. E., & Alvarado-Cárdenas, L. O. (2016). ¿Dónde cultivar el árbol milagro, *Moringa oleifera*, en México? Un análisis de su distribución potencial. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 1089–1102. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.007>
- Ortega-Nava, M. E. (2012). *Cuantificación de aflatoxinas y fumosinas en cereales para desayuno de los centros de distribución del Estado de México en el área de Cuautitlán Izcalli*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Oyeyinka, A. T., & Oyeyinka, S. A. (2018). *Moringa oleifera* as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.02.002>

- Pandey, A., Pandey, R. D., Tripathi, P., Gupta, P. P., Haider, J., Bhatt, S., & Singh, A. V. (2014). *Moringa Oleifera Lam* (Sahijan) - A plant with a plethora of diverse therapeutic benefits: an updated retrospection. *Medicinal and Aromatic Plants, 1*(1). <https://doi.org/10.4172/map.1000101>
- Páramo-Calderón, D. E., Aparicio-Saguilán, A., Aguirre-Cruz, A., Carrillo-Ahumada, J., Hernández-Uribe, J. P., Acevedo-Tello, S., & Torruco-Uco, J. G. (2018). Tortilla added with *Moringa oleífera* flour: Physicochemical, texture properties and antioxidant capacity. *Food Science and Technology, 100*(2019), 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.078>
- Pedrero, D. L., & Pangborn, R. M. (1989). *Evaluación sensorial de los alimentos*.
- Perez, A., Sánchez, T., Armengol, N., & Reyes, F. (2010). Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. *Pastos y Forrajes, 33*(4), 1–16. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942010000400001#t4](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942010000400001#t4)
- PROFECO. (2019). Cereales. *Revista Del Consumidor*.
- Ramírez-Ruíz, E., Sossa-Márquez, B., Colque, R., & Roberto, B. (2013). Elaboración de cereales de desayuno a través del proceso de extrusión. *Ventana Científica, 1*(6), 33–44.
- Robin, F., & Palzer, S. (2015). Texture of breakfast cereals and extruded products. *Modifying Food Texture: Novel Ingredients and Processing Techniques, 1*, 203–235. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-333-1.00010-3>

- Roudaut, G., Dacremont, C., Vallès-Pàmies, B., Colas, B., & Le-Meste, M. (2002). Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science and Technology*, 13(6–7), 217–227. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00139-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00139-5)
- SADER. (2020a). Boletín mensual de producción de trigo. *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*, 1. [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol\\_Insumos\\_oct\\_2015.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_oct_2015.pdf)[https://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2016/01/PROEC\\_IC\\_06\\_60.pdf](https://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2016/01/PROEC_IC_06_60.pdf)
- SADER. (2020b). *Maíz blanco o amarillo es el cultivo de tradición y desarrollo*. Agricultura, Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-blanco-o-amarillo-es-el-cultivo-de-tradicion-y-desarrollo#:~:text=El cultivo del maíz se,industrial y a la alimentación animal.>
- SAGARPA. (2017). *Se incrementa producción de trigo “Hecho en México” 14.6 en 2016*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/se-incrementa-produccion-de-trigo-hecho-en-mexico-14-6-en-2016>
- Sengev, A. I., Abu, J. O., & Gernah, D. I. (2013). Effect of *Moringa oleifera* leaf powder supplementation on some quality characteristics of wheat bread. *Food and Nutrition Sciences*, 4(3), 270–275. <https://doi.org/10.4236/fns.2013.43036>
- Shamah-Levy, T., Amaya-Castellanos, M. A., & Cuevas-Nasu, L. (2015). Desnutrición y obesidad: doble carga en México. *Revista Digital Universitaria*.

<https://www.revista.unam.mx/vol.16/num5/art34/>

- Shi, N., Narciso, J. O., Gou, X., Brennan, M. A., Zeng, X. A., & Brennan, C. S. (2017). Manipulation of antioxidant and glycaemic properties of extruded rice based breakfast cereal products using pomelo fruit by-product material. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*, 9(4), 489–495. <https://doi.org/10.3920/QAS2017.1084>
- SIAP. (2020). Resumen por estado. *Avance de Siembras y Cosechas*. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/ResumenProducto.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do)
- Solá-Oriol, D. (2019). Ficha Técnica: Xilanasas. *Fichas de Materias Primas y Aditivos*. [https://www.3tres3.com/articulos/xilanasas\\_40809/](https://www.3tres3.com/articulos/xilanasas_40809/)
- SPFI. (1980). *NMX-F-350-S-1980 Cereales precocidos para infantes y niños de corta edad, hojuelas y/o granulados de harina de maíz con chocolate*. NMX-F-350-S-1980
- Suslow, T. (2000). Chlorination in the production and postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Fruit and Vegetable Processing*, 6, 15. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Tabary, C., Miège, M., Brémaud, D., Carvalho, L., & Vincenzi, F. (2020). A tool to help the panel leader to best monitor a sensory panel performance. *Journal of Sensory Studies*, July. <https://doi.org/10.1111/joss.12613>
- Teixeira, E. M. B., Carvalho, M. R. B., Neves, V. A., Silva, M. A., & Arantes-Pereira, L. (2014). Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleifera* Lam. leaves. *Food Chemistry*, 147, 51–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.135>



- Teo, P. S., van Langeveld, A. W. B., Pol, K., Siebelink, E., de Graaf, C., Martin, C., Issanchou, S., Yan, S. W., & Mars, M. (2018). Training of a Dutch and Malaysian sensory panel to assess intensities of basic tastes and fat sensation of commonly consumed foods. *Food Quality and Preference*, 65, 49–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.11.011>
- Urquía-Fernández, N. (2014). La inseguridad alimentaria en México. *Salud Pública de México*, 56, 92–98. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0036-36342014000700014&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0036-36342014000700014&script=sci_arttext&tlng=pt)
- Valenzuela, A., & Valenzuela, R. (2015). La innovación en la industria de alimentos: Historia de algunas innovaciones y de sus innovadores. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(4), 404–408. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182015000400013>
- Wiemer, K. (2018). Breakfast Cereals. *Food Fortification in a Globalized World* (pp. 183–191). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802861-2.00019-5>
- Wójtowicz, A., Mitrus, M., Oniszczyk, T., Mościcki, L., Kręcisz, M., & Oniszczyk, A. (2015). Selected physical properties, texture and sensory characteristics of extruded breakfast cereals based on wholegrain wheat flour. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 7, 301–308. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.12.051>

# **11. APÉNDICES**

## APÉNDICE I

Encuesta para el reclutamiento de jueces para un entrenamiento de evaluación de textura (Flores-Vera, 2015).

### DATOS PERSONALES

Nombre: \_\_\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: \_\_\_\_\_

¿Estaría usted dispuesto a participar en el proceso de selección y entrenamiento para formar un panel de evaluación sensorial?

Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

¿Consumes cereales de desayuno? ¿Cuáles?

\_\_\_\_\_

### DISPONIBILIDAD DE TIEMPO

¿Qué días y en qué horario tiene tiempo disponible para participar en el programa de evaluación sensorial?

\_\_\_\_\_

### SALUD

Marque con una X si presenta alguna de las siguientes opciones:

\_\_\_\_ Alergias

\_\_\_\_ Resfrío crónico o Sinusitis

\_\_\_\_ Diabetes

\_\_\_\_ Tratamientos dentales (caries, amalgamas, ortodoncia, etc.) Especifique:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_ Problemas auditivos

\_\_\_\_ Otros \_\_\_\_\_

### HÁBITOS

¿Fuma? Sí \_\_\_\_\_ No \_\_\_\_\_

¿Cuántos cigarrillos al día? \_\_\_\_\_

## APÉNDICE II

Hoja de respuestas utilizada en la prueba de clasificación de productos crujientes.

<u>TEST DE CLASIFICACIÓN DE PRODUCTOS CRUJIENTES</u>		
Nombre: _____		Fecha: _____
<u>SERIE 1</u>		
Instrucciones: Muerda las muestras que tiene frente a usted, en el orden en que se presentan (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo). Marque con una X el código de las muestras que considera que son crujientes. Se solicita no comer las muestras y enjuagarse la boca después de probar cada una.		
CÓDIGOS DE MUESTRA		
831	458	751
365	310	612
556	818	628
COMENTARIOS:		
_____		
_____		

### APÉNDICE III

Hoja de respuestas utilizada en la prueba de ordenamiento de intensidad de crujencia.

PRUEBA DE ORDENAMIENTO DE CRUJENCIA						
Nombre: _____			Fecha: _____			
						<u>SERIE 1</u>
INSTRUCCIONES: Muerda cada una de las muestras que tiene frente a usted, en el orden en que se presentan (de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo). Anote sus códigos ordenándolas de menor a mayor intensidad de crujencia. Se solicita no comer las muestras y enjuagarse la boca después de probar cada una.						
	<u>Menor</u> <u>crujencia</u>					<u>Mayor</u> <u>crujencia</u>
Códigos de muestra	_____	_____	_____	_____	_____	_____
COMENTARIOS: _____						

### APÉNDICE IV

Hoja de respuestas utilizada en la prueba comparativa triangular.

PRUEBA COMPARATIVA TRIANGULAR			
Nombre: _____		Fecha: _____	
			<u>SERIE 1</u>
INSTRUCCIONES: En el orden en que se presentan (de izquierda a derecha), muera cada una de las muestras que tiene frente a usted y marque con una X el código de la muestra cuya CRUJENCIA es DIFERENTE. Se solicita no comer las muestras y enjuagarse la boca después de probar cada una.			
CÓDIGO DE MUESTRAS			
	768	600	224
COMENTARIOS: _____			

## APÉNDICE V

Hoja de respuestas utilizada en la prueba descriptiva de intensidad de crujiencia.

PRUEBA DESCRIPTIVA DE INTENSIDAD CRUJENCIA DE CEREALES				
Nombre: _____				Fecha: _____
				<u>SERIE 1</u>
INSTRUCCIONES: En el orden en que se presentan (de izquierda a derecha), muerda cada una de las muestras que tiene frente a usted. Indique la intensidad de crujiencia de cada una, marcando con una X la respuesta de acuerdo a la siguiente escala. Se solicita no comer las muestras y enjuagarse la boca después de probar cada una.				
Código de muestra:	<u>438</u>	<u>336</u>	<u>223</u>	<u>826</u>
Nada crujiencia	_____	_____	_____	_____
Ligeramente crujiencia	_____	_____	_____	_____
Moderadamente crujiencia	_____	_____	_____	_____
Muy crujiencia	_____	_____	_____	_____
Sumamente crujiencia	_____	_____	_____	_____
COMENTARIOS:				
_____				

## APÉNDICE VI

Hoja de respuestas utilizada en la prueba de ordenamiento de intensidad de crujiencia.

PRUEBA DE ORDENAMIENTO DE CRUJENCIA				
Nombre: _____				Fecha: _____
				<u>SERIE 1</u>
INSTRUCCIONES: En el orden en que se presentan (de izquierda a derecha), muerda cada una de las muestras que tienen frente a usted. Anote sus códigos ordenándolas de menor a mayor intensidad de crujiencia. Se solicita no comer las muestras y enjuagarse la boca después de probar cada una.				
	<u>Menor crujiencia</u>			<u>Mayor crujiencia</u>
Códigos de muestra	_____	_____	_____	_____
COMENTARIOS:				
_____				

## APÉNDICE VII

Hoja de respuestas utilizada en la prueba de nivel de agrado de intensidad de crujiencia.

PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO DE CRUJIENCIA DE CEREALES DE DESAYUNO				
Nombre: _____	Fecha: _____			<u>SERIE A</u>
INSTRUCCIONES: En el orden en que se presentan (de izquierda a derecha), muerda cada una de las muestras que tiene frente a usted y marque con una X el nivel de agrado en cuanto a la crujiencia de cada una. Se solicita no comer las muestras y enjuagarse la boca después de probar cada una.				
Código de muestra:	144	753	280	711
Me gusta muchísimo	_____	_____	_____	_____
Me gusta mucho	_____	_____	_____	_____
Me gusta	_____	_____	_____	_____
Ni me gusta ni me disgusta	_____	_____	_____	_____
Me disgusta	_____	_____	_____	_____
Me disgusta mucho	_____	_____	_____	_____
Me disgusta muchísimo	_____	_____	_____	_____
COMENTARIOS: _____				

## APÉNDICE VIII

Hoja de respuestas utilizada en la prueba de comparación por pares de decisión no forzada.

PRUEBA DE COMPARACIÓN POR PARES DE CEREALES				
Nombre: _____	Fecha: _____			<u>SERIE 1</u>
INSTRUCCIONES: En el orden en que se presentan (de arriba a abajo), muerda cada par de muestras de cereal (de izquierda a derecha) e indique con una X si las muestras son iguales o diferentes en crujiencia. Se solicita no comer las muestras y enjuagarse la boca después de probar cada una.				
PAR	MUESTRAS		DIFERENTES	IGUALES
1	456	781	_____	_____
2	167	348	_____	_____
3	501	242	_____	_____
4	678	316	_____	_____

## APÉNDICE IX

Hoja de respuestas utilizada en la prueba comparativa triangular de cereales de desayuno.

PRUEBA COMPARATIVA TRIANGULAR DE CRUJENCIA DE CEREALES			
Nombre: _____		Fecha: _____	
			<u>SERIE 1</u>
INSTRUCCIONES: En el orden en que se presentan (de arriba hacia abajo), muerda cada serie de muestras de cereal (de izquierda a derecha). Marque con una X la clave de la muestra cuya crujencia es diferente en cada serie.			
SERIE	CÓDIGO DE MUESTRAS		
1	782	600	224
2	405	392	139
3	550	226	306
COMENTARIOS: _____			
_____			

## APÉNDICE X

Hoja de respuestas utilizada en la prueba comparativa dúo-trío de crujencia.

PRUEBA COMPARATIVA DÚO-TRÍO DE CRUJENCIA DE CEREALES		
Nombre: _____		Fecha: _____
INSTRUCCIONES: Muerda la muestra R que tiene frente a usted. Repita el procedimiento con las dos muestras marcadas con claves. Marque con una X la clave de la muestra cuya crujencia es igual a la de la referencia. Se solicita no comer las muestras y enjuagarse la boca después de probar cada una.		
SERIE	CÓDIGO DE MUESTRAS	
R	001	250
COMENTARIOS: _____		
_____		



## APÉNDICE X1

Hoja de respuestas utilizada en la prueba de comparaciones múltiples.

### PRUEBA DE COMPARACIÓN MÚLTIPLE DE TEXTURA DE CEREALES

Nombre: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

SERIE 3

INSTRUCCIONES: Frente a usted tiene 4 muestras de cereales y una referencia. Muerda la muestra R. Posteriormente muerda cada las muestras marcadas con un código. Compare la crujencia de cada muestra con la crujencia que tiene R, marcando con una X si es diferente o no. Si encontró diferencias, marque con una X el nivel de dicha diferencia.

Código de muestra:                    490                    271                    146                    804

Más crujiente que R                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_

Igual que R                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_

Menos crujiente que R                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_

Indique la diferencia con  
respecto a R:

Nada                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_

Ligera                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_

Moderada                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_

Mucha                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_

Muchísima                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_                    \_\_\_\_\_

COMENTARIOS: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¡GRACIAS!