



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**“DESARROLLO DE UNA FORMULACIÓN  
PARA ELABORAR PAN DE CAJA LIBRE DE GLUTEN”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A :**

**HÉCTOR MIRANDA MOZO**

**ASESOR:**

**DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE**

**COASESORA:**

**I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ VERA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## *AGRADECIMIENTOS*

*Primeramente quisiera agradecer a Dios por bendecirme con la inteligencia y habilidades necesarias para vivir este momento tan especial en mi vida; además de darme una maravillosa familia a la cual amo profundamente y de la cual estoy orgulloso de pertenecer.*

*A mi difunto padre (Héctor Miranda García), a mi madre (María Magdalena Mozo Zpecia) y a mi hermano (Luis Alberto Miranda Mozo) porque gracias a su apoyo, amor, consejos y comprensión me he formado como una persona de bien para la sociedad.*

*A todos los profesores que además de instruirme y formarme como ingeniero, me formaron como persona.*

*Al Dr. Enrique Martínez Manrique, por el apoyo incondicional para la realización de este trabajo; así como por darme la oportunidad de aprender constantemente durante el periodo en el que pertencí al Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos y Semillas.*

*A la I.A. Verónica Jiménez Vera, por brindarme sus amplios conocimientos teóricos y prácticos; además de su increíble apoyo para realizar este trabajo.*

*A la Dra. Norma Casas Alancaster y a la Dra. Laura Patricia Martínez Padilla del Laboratorio de Propiedades Reológicas y Funcionales en Alimentos (LAPRYFAL) por permitirme llevar a cabo mis pruebas texturales en sus instalaciones y apoyarme en la realización y análisis de las mismas.*

*A mis sinodales por el tiempo dedicado en la revisión de este trabajo (I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez, I.A. Patricia Muñoz Aguilar, M. en C. Enrique Fuentes Prado e I.A. Eva Teresa González Barragán).*

*A Cynthia Viridiana Robles Huerta por su increíble, incondicional e irremplazable amistad, apoyo, comprensión y cariño. Te amo y siempre lo haré, gracias por haberte aparecido en mi vida.*

*Y por último a tí, compañero lector, por consultar y tomar en cuenta mi trabajo, espero te sirva y apoye en lo que deseas hacer o buscar; y si es así, el esfuerzo de todas las personas detrás de estas líneas habrá valido la pena.*

*RECONOCIMIENTO*

*Trabajo realizado con el apoyo del programa  
PIAPIVC-13 FES Cuautitlán, UNAM.*

# ÍNDICE GENERAL

○ Índice de tablas	IV
○ Índice de figuras	VI
○ Resumen	1
○ Introducción	2
1. Antecedentes	4
1.1. Celiaquía	4
1.1.1. Definición	4
1.1.2. Historia	4
1.1.3. Descripción	5
1.1.4. Dieta para pacientes celíacos	6
1.2. Trigo	8
1.2.1. Definición	8
1.2.2. Estructura y morfología	8
1.2.3. Usos y aplicaciones	8
1.2.4. Clasificación	9
1.2.5. Composición química	10
1.2.6. Gluten	12
1.2.7. Almidón	13
1.2.8. Producción nacional de trigo	14
1.2.9. Industria de la panificación	14
1.3. Arroz	15
1.3.1. Definición	15
1.3.2. Estructura	15
1.3.3. Clasificación	16
1.3.4. Composición química	16
1.3.5. Producción nacional	17
1.4. Alimentos funcionales	17
1.4.1. Definición	17
1.4.2. Clasificación	17
1.4.3. Productos para alimentación especial	18
1.4.3.1. Características	18
1.4.3.2. Alimentos libres de gluten	19
1.4.3.3. Legislación	20

1.5.	Pan de caja	21
1.5.1.	Definición	21
1.5.2.	Origen e historia	21
1.5.3.	Consumo y ventas de pan de caja	22
1.5.4.	Características	22
1.5.5.	Ingredientes para la elaboración de pan de caja	23
1.5.5.1.	Ingredientes usados en panes libres de gluten	26
2.	Metodología experimental	28
2.1.	Objetivos	28
2.1.1.	Objetivo general	28
2.1.2.	Objetivos particulares	28
2.2.	Cuadro metodológico	29
2.3.	Elaboración de pan de caja control (trigo) y pan de caja base (libre de gluten)	30
2.4.	Elaboración de distintas formulaciones de pan de caja libre de gluten	33
2.5.	Evaluación de propiedades físicas de panes obtenidos	35
2.5.1.	Peso	35
2.5.2.	Volumen	35
2.5.3.	Volumen específico	36
2.5.4.	Altura	36
2.6.	Evaluación sensorial del pan	36
2.7.	Evaluación textural del pan y del pan comercial convencional	36
2.8.	Preparación de la muestra	38
2.9.	Evaluación de las propiedades químicas del pan y del pan comercial convencional	38
2.9.1.	Humedad	38
2.9.2.	Lípidos	39
2.9.3.	Proteínas	39
2.9.4.	Fibra	40
2.9.5.	Cenizas	40
2.9.6.	Carbohidratos	41
2.9.7.	Digestibilidad <i>in vitro</i>	41
2.10.	Análisis estadístico	41

3. Resultados y discusión	42
3.1. Elaboración del pan de caja convencional (control)	42
3.2. Estandarización del proceso de elaboración de pan de caja libre de gluten (base)	42
3.3. Desarrollo de formulaciones para mejorar el pan libre de gluten	44
3.4. Evaluación de propiedades físicas	47
3.5. Evaluación sensorial	51
3.6. Evaluación textural del producto y del pan comercial convencional	51
3.7. Análisis químico proximal del producto y su comparación con el pan comercial convencional	53
3.8. Evaluación de la digestibilidad <i>in vitro</i> del producto y del pan comercial convencional	54
4. Conclusiones	55
5. Recomendaciones	56
6. Bibliografía	57
7. Anexos	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes de la enfermedad celiaca (EC)	4
Tabla 2. Clasificación de alimentos en función de su contenido de gluten	7
Tabla 3. Composición química para el trigo mexicano	10
Tabla 4. Composición química del arroz	16
Tabla 5. Especificaciones del pan de caja	23
Tabla 6. Clasificación de algunas gomas	27
Tabla 7. Formulación para la elaboración del pan de caja control	30
Tabla 8. Formulación para la elaboración del pan de caja base (libre de gluten)	32
Tabla 9. Formulaciones y orden de realización	34
Tabla 10. Parámetros texturales obtenidos en un análisis de perfil de textura de pan	37
Tabla 11. Formulación para la elaboración de pan de caja libre de gluten, en base a formulación control	43
Tabla 12. Formulación para la elaboración de pan de caja libre de gluten en base a la formulación propuesta por San Miguel (2013)	43
Tabla 13. Productos obtenidos con las diferentes formulaciones	45
Tabla 14. Propiedades físicas de cada corrida experimental	47
Tabla 15. Propiedades físicas promedio de cada formulación	48
Tabla 16. Comparación de parámetros físicos del pan de caja control y del pan de caja libre de gluten	50
Tabla 17. Resultados de la evaluación sensorial del pan de caja libre de gluten	51
Tabla 18. Propiedades texturales de las muestras de pan de caja libre de gluten	52
Tabla 19. Propiedades texturales de las muestras de pan de caja convencional comercial (pan blanco Bimbo®)	53

Tabla 20. Propiedades texturales del pan de caja libre de gluten y el pan de caja convencional comercial (pan blanco Bimbo®)	53
Tabla 21. Composición química del pan de caja comercial y del pan de caja libre de gluten (expresados en %)	54
Tabla 22. Digestibilidad <i>in vitro</i> del pan de caja comercial y del pan de caja libre de gluten	54

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Intestino delgado normal y atrofiado por EC	5
Figura 2. Estructura del grano de trigo	8
Figura 3. Cadena de producción – consumo de trigo	9
Figura 4. Estados productores de trigo en 2012	14
Figura 5. Estructura de un grano de arroz	15
Figura 6. Etiquetado de alimentos libres de gluten	20
Figura 7. Diagrama de proceso para la elaboración del pan de caja control	30
Figura 8. Diagrama de proceso para la elaboración del pan de caja base (libre de gluten)	32
Figura 9. Medidor de volumen para pan	35
Figura 10. Curva de análisis de perfil de textura de pan	37
Figura 11. Pan de caja control	42
Figura 12. Pan libre de gluten realizado en base a formulación control	43
Figura 13. Pan libre de gluten realizado en base a tesis de maestría de San Miguel (2013)	44
Figura 14. Pan de caja base (libre de gluten)	44
Figura 15. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, en relación al volumen específico	48
Figura 16. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, en relación a la altura	49
Figura 17. Gráfica de optimización	50
Figura 18. Rebanada de pan de trigo comercial (a la izquierda) y de pan de caja sin gluten (a la derecha)	50
Figura 19. Perfil de textura del pan de caja blanco Bimbo® (en negro) y del pan de caja libre de gluten (en rojo)	52

## RESUMEN

A nivel mundial, aproximadamente una de cada cien personas presenta una intolerancia al gluten, la cual es una proteína presente en cereales como el trigo, avena, cebada y centeno, lo que les impide consumir gran cantidad de alimentos; además, de acuerdo al periódico *The New York Times*, en los últimos años la demanda de productos libres de gluten ha aumentado drásticamente debido a que un gran número de no celíacos claman una mejora en su salud y energía al eliminar los productos con gluten de su dieta. Debido a esto, la creación de productos libres de gluten con características agradables y similares a las de los productos convencionales es una gran oportunidad de negocio.

Es por ello que el objetivo del presente trabajo fue desarrollar una formulación de pan de caja blanco libre de gluten a base de harina de arroz y almidón de trigo apto para celíacos, que presente las propiedades físicas, texturales y químicas similares al pan comercial elaborado con harina de trigo; esto mediante la adición de hidroxipropilmetilcelulosa y fibra de psyllium, con el fin de emular las propiedades del gluten en el pan.

Se elaboraron panes con distintas proporciones de almidón de trigo (40, 60%), hidroxipropilmetilcelulosa (2, 3%) y fibra de psyllium (2, 4%); y a cada uno se midió su altura, masa y volumen. Tras analizar lo obtenido, se concluyó que el pan con 40% de almidón de trigo, 2% de hidroxipropilmetilcelulosa y 2% de fibra de psyllium fue la mejor formulación.

Posteriormente se realizó un análisis de perfil de textura a la formulación seleccionada y a un pan comercial; resultando en que, a pesar de que ambos panes contaban con diferencias estadísticamente significativas en su dureza, masticabilidad y cohesividad, sus elasticidades instantáneas y totales fueron similares.

Se analizó la composición química del pan sin gluten seleccionado y se comparó con un pan comercial (pan blanco Bimbo®) mediante un análisis químico proximal y prueba de digestibilidad *in vitro*; obteniendo que difiere con el convencional al contar con un contenido superior de fibra, un contenido menor de proteína, un mayor contenido graso y una digestibilidad proteica menor.

De acuerdo a su evaluación sensorial, los consumidores consideraron que, aunque es necesario intensificar su sabor aumentando el contenido de sal y azúcar para que el producto tenga una semejanza aún mayor al convencional, el producto posee un sabor y textura agradable.

## INTRODUCCIÓN

La Celiacía es un padecimiento digestivo crónico, inducido por el consumo de cereales o granos que contienen proteínas de gluten, específicamente prolaminas, las cuales provocan una intolerancia severa en la mucosa del intestino delgado superior, produciendo alteraciones en la absorción de nutrientes y condicionando en individuos con cierta predisposición genética. Los síntomas característicos de la enfermedad son: anemia debida a una mala absorción de hierro y ácido fólico, malnutrición, diarrea crónica, dermatitis herpetiforme, entre otros (Anderson *et al.*, 1988; Gerrard y Sutton, 2005).

De acuerdo al Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición, 1 de cada 100 personas padecen la enfermedad; aunque la incidencia no se tiene precisa debido a que muchos no son diagnosticados y/o atendidos adecuadamente. El único tratamiento para la celiacía es llevar una dieta libre de gluten para que se normalice el intestino y funcione de manera normal, reduciendo el riesgo de mortalidad y mejorando la calidad de vida (Mustalahti, 2002; Cuomo *et al.*, 2003; Murray *et al.*, 2004; INNSZ, 2007).

Un campo importante en tecnología de alimentos es el desarrollo de productos especiales que responden a necesidades dietéticas específicas, en donde los ingredientes contenidos son diferentes; tal es el caso de los alimentos sin gluten, donde se excluyen totalmente las prolaminas. Los alimentos exentos de gluten que se emplean en sustitución de alimentos básicos importantes, deben suministrar aproximadamente la misma cantidad de vitaminas y minerales de los alimentos originales en cuya sustitución se emplean (Astiasáran y Martínez, 2000; Gutiérrez y Villanueva, 2003).

Un aspecto indispensable en cualquier producto exento de gluten es que sus ingredientes no afecten el sistema inmunológico de los celíacos; por ello, se buscan componentes que no estén emparentados con el trigo para que el sistema inmunológico no los reconozca. Así, se evitan la cebada y el centeno, que son parientes muy cercanos del trigo; además del maíz y la avena, que pueden ser de riesgo para algunos celíacos (Cabrera – Chávez *et al.*, 2008). En vez de harinas de estos cereales, se debe optar por harinas de otros cereales con menor relación taxonómica.

La harina libre de gluten más usada es la harina de arroz; ya que, a pesar de no aportar propiedades viscoelásticas a las masas debido a su bajo contenido de proteínas (Gujral y Rosell, 2004), posee un carácter hipoalergénico, bajo contenido en prolaminas, sabor suave, bajo contenido en sodio y alto contenido de carbohidratos de fácil digestión; lo que la transforma en una harina especialmente apta para preparar alimentos para celíacos (Champagne, 1996; Bryant *et al.*, 2001; Kadan y Pepperman, 2002). En cuanto a la panificación libre de gluten, la harina de arroz es incapaz de retener el gas producido durante los procesos de

fermentación, lo que resulta en panes densos, de bajo volumen específico y una miga muy fuerte (He y Hosene, 1991); pero para solucionar estos problemas en las masas, se ha recurrido a sustancias poliméricas que recreen las propiedades viscoelásticas del gluten, consiguiendo así reforzar la estructura de los panes y retener el gas que se produce durante la fermentación (Phimolsiripol, Mukprasirt y Schoenlechner, 2012), y a almidones que favorezcan el desarrollo de las masas e incrementen el volumen específico de los panes al fortalecer las redes poliméricas; siendo el almidón de trigo el que mayor volumen específico y mejor sabor aporta (Merino, 2013).

Actualmente existen en el mercado nacional e internacional productos libres de gluten destinados a celíacos hechos con otros cereales y pseudocereales; sin embargo, la gran mayoría presentan un sabor, aroma, textura y sensación en la boca muy diferente a su versión convencional (Calaveras, 2004; Gómez y Bonastre, 2005).

Por ello, en este estudio se tuvo como objetivo general la elaboración de un pan de caja libre de gluten a base de harina de arroz y almidón de trigo empleando hidroxipropilmetilcelulosa y fibra de psyllium como sustitutos de gluten con el fin de obtener un producto con características físicas, sensoriales, texturales y químicas similares a las de un pan blanco de caja comercial. Se propusieron 8 formulaciones para elaborar pan de caja usando dos niveles de variación en el porcentaje de almidón de trigo, hidroxipropilmetilcelulosa y fibra de psyllium; a las cuales se les determinó la altura y volumen específico de su miga y mediante un análisis estadístico se obtuvo la formulación con los parámetros físicos más altos. Y posteriormente, a la formulación seleccionada se le realizó un análisis sensorial mediante una prueba de nivel de agrado con el fin de conocer su calificación general y porcentaje de aceptación por parte del consumidor, un análisis textural mediante una prueba de análisis de perfil de textura con el fin de conocer la similitud de sus propiedades físicas (dureza, elasticidad instantánea, elasticidad total, cohesividad y masticabilidad) con las del pan comercial, y un análisis químico proximal para comparar sus propiedades químicas (humedad, cenizas, proteína, lípidos, fibra y digestibilidad *in-vitro*) con las del pan comercial.

# 1. ANTECEDENTES

## 1.1. CELIAQUÍA

### 1.1.1. DEFINICIÓN

La Enfermedad Celiaca (EC) se define como una enteropatía sensible a proteínas de origen vegetal presentes en el trigo, cebada, centeno, avena y derivados, provocando una lesión severa de la mucosa del intestino delgado en determinados individuos, que son predispuestos genéticamente (Gutiérrez y Villanueva, 2003).

### 1.1.2. HISTORIA

La primera descripción de esta enfermedad data del siglo II A.C. La palabra Celiaco, proviene del término griego que se utilizaba para describir a este tipo de enfermos “Koliakos” que significa “aquellos que sufren del intestino.” Sin embargo, las investigaciones comienzan a partir del siglo XX (Tabla 1) (Gómez y Bonastre, 2005).

Tabla 1. Antecedentes de la enfermedad celiaca (EC)

FECHA	INVESTIGADOR	APORTACIONES
Siglo II a.C.	Aretaeus de Capadocia	Primera descripción clásica de la enfermedad celiaca.
1888	Samuel Gee	Segunda descripción clásica de la enfermedad celiaca.
1908	Verter	Completa los estudios de Gee
1921	Frederik Still Howland	Atribuyen a los carbohidratos los efectos nocivos para los celiacos
1924	Hass	Observa que determinados carbohidratos son nocivos para los celiacos
1950	Dicke	Se descubre en pacientes celiacos una anomalía en la mucosa del intestino delgado. La sustitución de trigo, centeno y avena por harinas de arroz y maíz, así como almidones de maíz provoca la reaparición del apetito y mejora en la absorción de grasas en niños celiacos.
1950	Charlotte Anderson	Confirmación de la teoría de Dicke por medio de la extracción del almidón y otros componentes de la harina de trigo, encontrando que el gluten era la parte dañina. Se establece la base del tratamiento, una dieta sin gluten.
1950	Pauley	Al operar un paciente celiaco, descubre alteraciones a la mucosa del intestino delgado, al analizarla, descubre la pérdida de vellosidades del mismo, hecho que provoca la mala absorción de nutrientes. Este hecho permitió el diagnóstico de la enfermedad celiaca.
1956	Shines	Describe la técnica de la biopsia intestinal

Fuente: Asociación de celiacos de Madrid, 2007; Gutiérrez y Villanueva, 2003

### 1.1.3. DESCRIPCIÓN

Una vez que las enzimas digestivas han digerido los nutrientes presentes en la dieta, la mucosa intestinal cumple la función de absorberlos. Si un paciente con esta enfermedad ingiere gluten por descuido, provoca irritabilidad en las vellosidades y microvellosidades intestinales; provocando una deficiente absorción de los nutrientes (proteínas, grasas, carbohidratos, sales minerales y vitaminas), diarreas y retraso del crecimiento, entre otros. Este desorden intestinal inducido por intolerancia, puede movilizar mecanismos de autoinmunidad (capaces de fabricar anticuerpos contra partes del propio cuerpo). Por lo que es una enfermedad pre-cancerosa (Bender, 1995; Fox y Cameron, 2000).

Las paredes del intestino están dobladas formando proyecciones semejantes a dedos (vellosidades) que contienen vasos capilares, un vaso linfático y un área superficial muy grande. Los nutrientes no grasos, como el producto de la digestión de las proteínas y carbohidratos pasan directamente a la sangre a través de las vellosidades del intestino. Mientras que los ácidos grasos pasan de las vellosidades al vaso linfático donde vuelven a formar moléculas grasas. Cuando hay una mala absorción, intervienen factores como: menor área de absorción por acortamiento o desaparición de vellosidades, alteración del metabolismo de las células epiteliales y deficiencia de disacáridos, debido a la alteración de las microvellosidades como se muestra en la Figura 1 (Fox y Cameron, 2000; ISPCH, 2006).

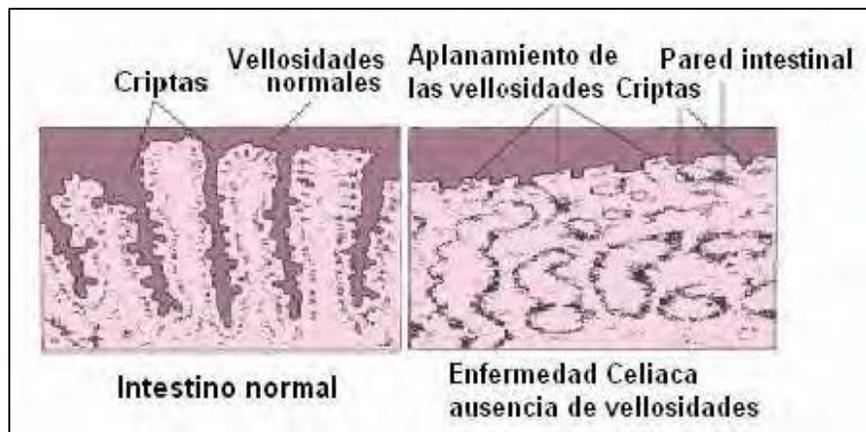


Figura 1. Intestino delgado normal y atrofiado por EC

Fuente: Instituto de Salud Pública de Chile, 2006

#### 1.1.4. DIETA PARA PACIENTES CELIACOS

La dieta exenta de gluten supone supresión en el consumo de todos aquellos productos que contienen harinas de trigo, cebada, centeno y avena. En el caso específico de la avena, no existe unanimidad en cuanto a considerar a la avena una proteína segura para el sujeto celíaco, por eso, la recomendación más generalizada es el evitar su consumo, ya que, su contenido en prolaminas es muy inferior al de los otros tres cereales citados.

Se consideran alimentos que de forma natural están exentos de gluten a aquellos que no contienen ninguna de las prolaminas tóxicas en su composición, sin que haya mediado ninguna manipulación técnica. En cuanto a los alimentos prohibidos, son todos aquellos elaborados a partir de las harinas tóxicas, excepto los elaborados especialmente para dietas sin gluten y todos aquellos productos de la industria alimentaria a los que se ha incorporado algunas de las harinas o directamente alguna de las prolaminas tóxicas en el proceso de elaboración (Polanco, 2008).

El Codex Alimentarius establece, como límite máximo de contenido en gluten para que un producto sea considerado sin gluten, 20 ppm (mg/kg) para los alimentos naturalmente exentos de gluten y 200 ppm (mg/kg) para los alimentos elaborados con almidón de trigo. Esta normativa está actualmente en revisión, por el hecho de que se desconoce qué cantidad máxima de gluten puede consumir un paciente celíaco sin perjuicio para su salud, así como por la evidencia de que determinados sujetos presentan manifestaciones clínicas graves tras la ingesta de mínimas cantidades de esta proteína. Por ello, el objetivo ideal es la elaboración de productos completamente exentos de gluten (Polanco, 2008). En la Tabla 2 se muestra un listado de alimentos en base a su contenido de gluten; siendo el trigo y sus derivados parte de la formulación de la mayoría de aquellos que contienen gluten.

Tabla 2. Clasificación de alimentos en función de su contenido de gluten.

SIN GLUTEN	CON GLUTEN	PUEDE CONTENER GLUTEN
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Leche y derivados: quesos, requesón, nata, yogures naturales y cuajada.</li> <li>● Todo tipo de carnes y vísceras frescas, congeladas y en conserva al natural, cecina, jamón serrano y jamón cocido calidad extra.</li> <li>● Pescados frescos y congelados sin rebozar, mariscos frescos, y pescados y mariscos en conserva al natural o en aceite.</li> <li>● Huevos.</li> <li>● Verduras, hortalizas y tubérculos.</li> <li>● Frutas.</li> <li>● Arroz, maíz y tapioca</li> <li>● Todo tipo de legumbres.</li> <li>● Azúcar y miel.</li> <li>● Aceites y mantequillas.</li> <li>● Café en grano o molido, infusiones y refrescos.</li> <li>● Vinos y bebidas espumosas.</li> <li>● Frutos secos naturales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pan y harinas de trigo, cebada, centeno y avena.</li> <li>● Productos manufacturados en los que en su composición figure cualquiera de las harinas ya citadas y en cualquiera de sus formas: almidones, almidones modificados, féculas, harinas y proteínas.</li> <li>● Bollos, pasteles, tartas y demás productos de pastelería.</li> <li>● Galletas, bizcochos y productos de pastelería.</li> <li>● Pastas italianas (fideos, macarrones, tallarines, etc.) y sémola de trigo.</li> <li>● Bebidas malteadas.</li> <li>● Bebidas destiladas o fermentadas a partir de cereales: cerveza, agua de cebada, algunos licores, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Yogures de sabores y con frutas o mermeladas.</li> <li>● Embutidos: chorizo, morcilla, etc.</li> <li>● Productos de charcutería.</li> <li>● Quesos de untar, en porciones, en lonchas, rallados o de sabores.</li> <li>● Patés diversos.</li> <li>● Conservas de carnes.</li> <li>● Conservas de pescado con distintas salsas.</li> <li>● Caramelos y gomitas.</li> <li>● Sucedáneos de café y otras bebidas de máquina.</li> <li>● Frutos secos fritos y tostados con sal.</li> <li>● Helados.</li> <li>● Sucedáneos de chocolate.</li> <li>● Colorantes alimentarios.</li> <li>● Mermeladas.</li> </ul>

Fuente: Asociación de celíacos de Madrid, 2007

## 1.2. TRIGO

### 1.2.1. DEFINICIÓN

El trigo (*Triticum*, del latín “quebrado, triturado o trillado”) es una planta gramínea anual con espigas de cuyos granos molidos se obtiene la harina. La palabra trigo designa tanto a la planta como a sus semillas comestibles, tal y como ocurre con los nombres de otros cereales (Financiera Rural, 2011).

### 1.2.2. ESTRUCTURA Y MORFOLOGÍA

La estructura del grano de trigo es ilustrada en la Figura 2. El grano o cariósipide de trigo puede ser dividido en tres partes morfológicamente diferentes: el endospermo, que representa la mayor parte del grano, la capa de salvado, que envuelve el grano; y el germen, que incluye el embrión y el escutelo. El endospermo contiene los gránulos de almidón en una matriz de proteína que son separados del salvado durante la molienda para obtener así harina blanca junto con la capa de aleurona, la cual constituye la parte más externa del endospermo (Dendy y Dobraszcyk, 2001).

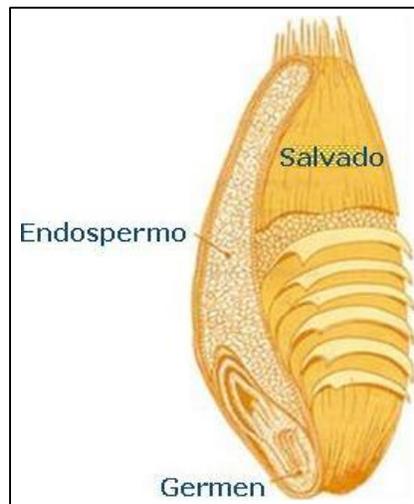


Figura 2. Estructura del grano de trigo.  
Fuente: CANIMOLT, (s.f.)

### 1.2.3. USOS Y APLICACIONES

El trigo es el cereal que más se utiliza en la alimentación humana, su importancia reside principalmente en su alto valor energético, además de que contiene más proteínas que el maíz y el arroz. El consumo del trigo requiere un proceso de transformación que inicia regularmente con la molienda para producir harina, que es la materia prima para los fabricantes de productos finales como el pan, pastas,

pasteles, galletas, etc. La industria harinera se convierte así en el eslabón estratégico de la cadena de producción-consumo de trigo (Figura 3), en la cual se genera la mayor demanda (Financiera Rural, 2011).

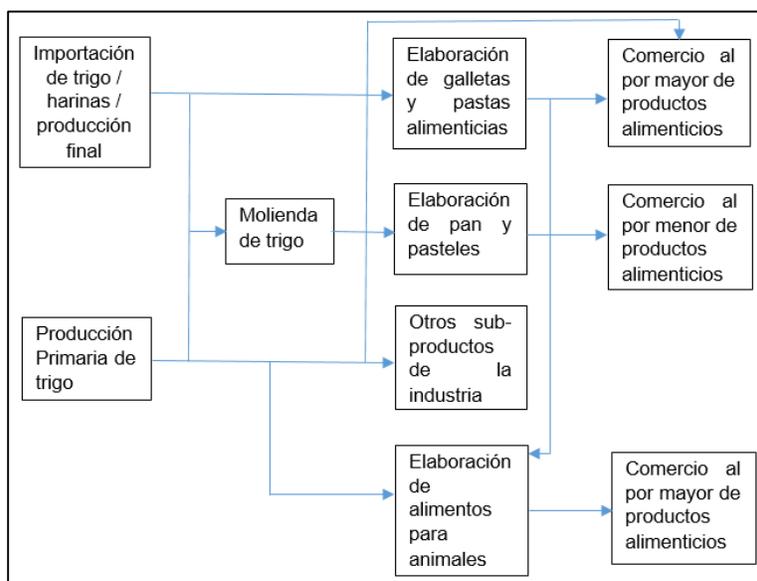


Figura 3. Cadena de producción-consumo de trigo.  
Fuente: SAGARPA, 2005.

#### 1.2.4. CLASIFICACIÓN

De acuerdo a su especie, los trigos se clasifican según dos aspectos:

##### 1) La textura del endospermo:

Ésta característica del grano está relacionada con la forma de fraccionarse el grano en la molienda.

- a) Trigos vítreos; los cuales poseen una textura acerada, pétrea y cristalina. Son traslúcidos y brillan contra la luz intensa
- b) Trigos harinosos; los cuales poseen una textura feculenta y yesosa. Son opacos y resultan oscuros en las mismas circunstancias.

##### 2) La riqueza proteica:

Ésta característica proporcionara ciertos atributos a la harina y su conveniencia para diversos objetivos. Tiende a ser mayor en los trigos vítreos que en los harinosos, y la calidad vítrea se asocia frecuentemente con la dureza y buenas cualidades para su molienda. El contenido proteico del endospermo, su calidad y estructura química es; sin embargo, la característica más importante para determinar la calidad en panificación.

Los trigos se pueden clasificar también como duros y blandos y como fuertes o débiles. Los granos vítreos tienden a ser duros y fuertes, y los farináceos, blandos y débiles, pero la relación no es invariable.

- a) Trigos duros y blandos: La dureza y blandura son características de molinería, relacionadas con la manera de fragmentar el endospermo. En los trigos duros, la fractura tiende a producirse siguiendo las líneas que limitan las células produciendo harina gruesa, arenosa, fluida y fácil de cernir, mientras que el endospermo de los trigos blandos se fragmenta de forma imprevista al azar.
- b) Trigos fuertes y flojos: La harina de trigo flojo es ideal para galletas y pastelería, aunque es inadecuada para panificación a menos que se mezcle con harina más fuerte. La harina de trigo fuerte admite una proporción de harina de trigo floja, así la pieza mantiene su gran volumen y buena estructura de la miga, aunque lleve cierta proporción de harina floja, también es capaz de retener y absorber una gran cantidad de agua (Kent, 1971).

### 1.2.5. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las tablas de composición de alimentos de la oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe reportan para el trigo mexicano la siguiente composición química (Tabla 3):

Tabla 3. Composición química para el trigo mexicano.

COMPONENTE	%
Humedad	9.1
Proteínas	10.6
Grasa	2.6
Cenizas	2.1
Carbohidratos	75.6

Fuente: FAO, 2013.

- Humedad:

El contenido de humedad es considerado como una de las características más importantes de calidad del trigo, principalmente porque afecta directamente el peso específico así como la estabilidad microbiológica del mismo durante el almacenamiento. El proceso para obtener grano seco se realiza por el mismo agricultor después de la cosecha y la humedad óptima

para su almacenamiento debe ser menor al 12.5%, mientras que la humedad óptima para la molienda va de 14 a 17%, debido a esto las industrias molineras necesitan agregar agua para acondicionar el grano (Dendy y Dobraszczyk, 2001).

- **Lípidos:**

Los lípidos entran solo en pequeños porcentajes en la composición química del trigo (1.5-2% aproximadamente) y están localizados principalmente en el germen.

Los componentes lipídicos más importantes son los glicéridos, los fosfolípidos y los esteroides; el germen es particularmente rico en tocoferol que toma comúnmente el nombre de vitamina E. En la composición de los ácidos grasos sobresalen los ácidos grasos insaturados tales como el oleico y linoleico (Quaglia, 1991).

- **Carbohidratos:**

El 72% de la cariósida del trigo está constituida por carbohidratos o glúcidos, a su vez formados por el 60-68% de almidón, el 6.5% de pentosas, el 2% al 2.5% de celulosa y el 1.5% de azúcares reductores. El componente glucídico más importante desde el punto de vista tecnológico y en el cual el grano es mayoritariamente rico, es el almidón; su importancia tecnológica se debe a la capacidad de absorber agua.

El almidón del grano en plena maduración permite obtener un pan de mayor volumen que el obtenido con granos no maduros.

Las características tecnológicas del almidón dependen también de sus dimensiones: los gránulos pequeños tienen una cantidad menor de amilosa a los gránulos de almidones normales y producen un pan de menor volumen. El almidón contiene del 19 al 26% de amilosa y del 74 al 81% de amilopectina (Quaglia, 1991).

- **Cenizas:**

La mayor parte de las sustancias inorgánicas del trigo se encuentran en el salvado y en la capa de la aleurona y su cantidad oscila entre el 1.5% y el 2.0%.

Como consecuencia de su distribución en la cariósida, una harina tendrá un contenido mayor en cenizas tanto más elevado sean las partículas de salvado.

Entre los elementos inorgánicos sobresalen el fósforo, potasio, magnesio, calcio, azufre, hierro y el galio (Kent, 1971).

- **Proteínas:**

El contenido proteico del grano oscila entre 7% y el 18%, con valores medios entre el 10 y el 13%.

Mediante un simple fraccionamiento basado en la solubilidad de agua se han determinado la presencia de cuatro tipos de sustancias proteicas; de estas dos son solubles en una solución salina diluida: una albumina, la leucosina, con un contenido porcentual respecto al total proteico del 12% y una globulina con el 4%; dos son insolubles en agua y solubles en solvente polares (alcohol y acetona), una prolamina, la gliadina con el 44% y una glutelina, con el 40%.

De entre los componentes proteicos del trigo, las dos fracciones insolubles en agua tienen una gran importancia tecnológica, porque en contacto con agua se unen con enlaces intermoleculares, formando el gluten, que representa la sustancia que confiere resistencia y elasticidad a la masa obtenida a partir de la harina y del agua (Kent, 1971).

#### 1.2.6. GLUTEN

Es el nombre de la red viscoelástica proteica que se forma cuando la harina de trigo se amasa en presencia de agua (Serna, 2003).

El gluten está conformado por prolaminas (gliadinas) y gluteninas (glutelinas), en una relación de 50/50 en el trigo. La gliadina es un grupo de proteínas funcionales del trigo que se localizan en el endospermo, son solubles en alcohol y proporcionan la cohesividad y extensibilidad a las masas de trigo y son poco o nada elásticas. Por otra parte, las glutelinas también se encuentran en el endospermo del trigo; debido a su alto peso molecular y puentes disulfuro son difíciles de extraer y brindan la elasticidad y la resistencia a la extensibilidad al gluten de trigo.

El complejo del gluten se forma cuando, por acción del amasado de la harina con agua, se cede energía de la harina hasta que los grupos electronegativos de las moléculas proteicas se unen entre sí por enlaces disulfúricos, se estiran y se orientan de manera que se sometan a la acción del agua (Quaglia, 1991). El gluten genera la red viscoelástica de la masa, que atrapa al gas producido por la fermentación o agentes químicos leudantes, lo que resulta en un levantamiento de la masa hasta llegar a la estructura y volumen deseado, lo cual da una propiedad funcional al gluten (Serna, 2003).

Cabe señalar que, a pesar de que el 80 - 85% de las proteínas presentes en la harina de trigo son las proteínas del gluten (gliadina y glutenina), existen otras en menor proporción (albúminas y globulinas) (Bernabé, 2009).

### 1.2.7. ALMIDÓN

Es un polímero cuya unidad básica es la glucosa, unidas entre sí por enlaces  $\alpha$  (1-4) en la estructura lineal (amilosa) y por enlaces  $\alpha$ (1-6) en los puntos de las ramificaciones (amilopectina). Los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) se agregan formando una estructura esférica o granular.

El almidón es el principal carbohidrato del trigo y la harina. Se encuentra en la harina en la forma de gránulos de diferentes tamaños. El almidón de trigo normal contiene 25% de amilosa (la molécula de almidón menor y lineal) y 75% amilopectina (la molécula ramificada y más grande).

Algunas de las principales características del gránulo de almidón son que posee una morfología circular lenticular, un diámetro de 1-45 micrones y una temperatura de gelatinización de 58-64 °C (Phillips, 2009)

Siendo un componente que representa cerca del 67 % de la harina de trigo, el almidón posee una notable importancia en la panificación, al ejercer un efecto significativo en el volumen y la estructura de la miga del pan horneado.

Las funciones del almidón en la panificación son (Bernabé, 2009):

- Diluye el gluten a una determinada consistencia favoreciendo la formación de la miga del pan.
- La superficie del gránulo proporciona una buena adherencia entre el gluten y el almidón, formando una fina película alrededor del gas producido durante la fermentación.
- Provee de azúcar a través de la acción de las amilasas en el almidón dañado, proveyendo de alimento a la levadura.
- Crea enlaces electrostáticos con el gluten que favorecen la formación de una red homogénea (Quaglia, 1991).
- Favorece la formación y flexibilidad de las celdillas de gas que se producen durante la fermentación y cocción.
- Toma agua del gluten durante la gelatinización, haciendo que éste se vuelva rígido y reduciendo la expansión del mismo, previniendo el colapso de pan en el enfriado.
- Interviene en la formación del color de la corteza a través de la formación de las dextrinas en la superficie del pan.

### 1.2.8. PRODUCCIÓN NACIONAL DE TRIGO

En México, el trigo ocupa el segundo lugar en la producción de cereales, con alrededor del 14% de la producción nacional (Financiera Rural, 2011).

De acuerdo a la Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera, durante el 2014 se obtuvo una producción a nivel nacional de 3, 357,306.9 toneladas, con un valor de \$11, 923,675.18 M.N.

Como se puede observar en la figura 4, los principales productores de trigo en México durante el 2012 fueron Sonora con un 54.5% de la producción nacional, y Baja California con un 14.4%.

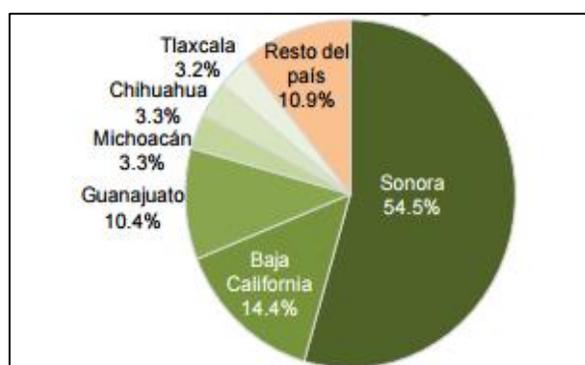


Figura 4: Estados productores de trigo en 2012  
Fuente: SIAP

### 1.2.9. INDUSTRIA DE LA PANIFICACIÓN

De acuerdo a estimaciones de la Cámara Nacional de la Industria Panificadora y Similares de México, para el año 2009 en el país se tenían identificados 37,844 establecimientos dedicados a la fabricación de productos de panadería, de los cuales el 71% correspondió a las de tipo artesanal o tradicional, el 20% al sector informal, el 9% a las de centros comerciales y el 0.3% a las de tipo industrial.

En cuanto al valor de las ventas, CANAINPA estima que el 75% es concentrado por la panadería tradicional, el 14% por la industrial, 8% por los centros comerciales y el 3% restante por el sector informal (CANAINPA, 2009)

Para Abril de 2012, en México la industria de la panificación contó con 45,528 establecimientos dedicados a elaborar productos de panificación, 44,966 efectuaron el proceso tradicionalmente, mientras que 562 laboraron industrialmente (SIAP, 2012). Estas cifras indican que la industria de la panificación y sus productos son cada vez más demandados y por lo tanto van en aumento.

La pujante industria de la panificación cuenta con 562 centros de transformación, de los cuales 132 generan pan de caja, tortillas y pastelillos; el resto produce sólo galletas y pastas. A diferencia de las unidades tradicionales, su localización se vincula con la proximidad de los puntos de producción de la materia prima básica, la harina de trigo. Así, la zona Centro del país posee la mayor concentración de industrias: una de cada cuatro se ubica en el Estado de México y el Distrito Federal (SIAP, 2012).

Entre los alimentos básicos en la dieta de los mexicanos, los elaborados a partir de trigo ocupan un lugar privilegiado, semanalmente se consume aproximadamente un kilo de pan dulce, pan blanco y de tortillas de harina de trigo por cada hogar mexicano (SIAP, 2012). Otro grano fundamental en la dieta de los mexicanos, es el arroz.

### 1.3. ARROZ

#### 1.3.1. DEFINICIÓN

Fruto de la planta *Oriza sativa*, comestible, en forma de grano alargado, de color blanquecino, y dispuesto en una panícula formada por varias espiguillas que crece en el ápice del tallo (Oxford University Press, 2015).

#### 1.3.2. ESTRUCTURA

La semilla de arroz es un ovario maduro. Como se puede observar en la figura 5, consta de la cáscara formada por varias capas, el embrión y el endospermo, que provee alimento al embrión durante la germinación.

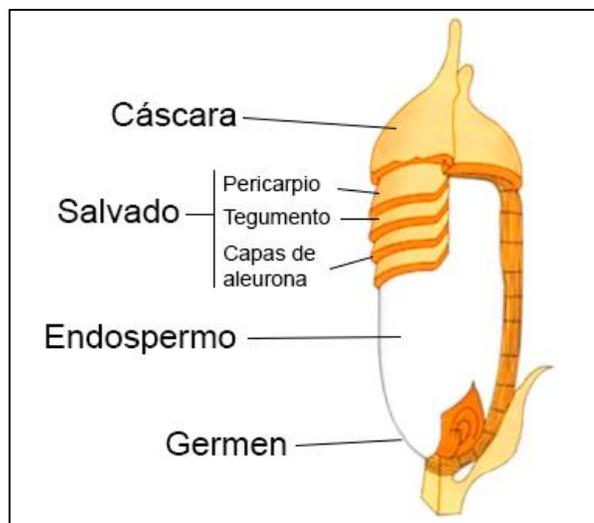


Figura 5. Estructura de un grano de arroz  
Fuente: biblioteca.uns.edu.pe

### 1.3.3. CLASIFICACIÓN

Todo el arroz procede de dos especies de plantas: *Oryza sativa* y *Oryza glaberrima*, pero se han desarrollado y cultivado miles de variedades en todo el mundo, y todos ellos tienen propiedades adaptadas a las cocinas de cada región.

Lo que más distingue a una variedad de arroz de otra es la proporción de dos tipos de almidones (el arroz es 77-80% almidón), que son la amilosa, cuyas moléculas son cadenas rígidas, y la amilopectina, cuyas moléculas son ramificadas (creativegan.net).

Las variedades de arroz ricas en amilosa no absorben mucha agua; por lo que los granos quedan secos y esponjosos cuando se cuecen. El arroz chino y japonés, en cambio, es más rico en amilopectina y sus moléculas pueden atrapar mucha agua (creativegan.net).

En general, el gránulo de almidón de arroz posee una morfología poligonal esférica, un diámetro de 3-8 micrones y una temperatura de gelatinización de 68-78 °C (Phillips, 2009).

### 1.3.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La variabilidad de la composición y de las características del arroz es muy amplia y depende de la variedad y de las condiciones ambientales en las que se efectúa el cultivo. En el arroz descascarillado, el contenido proteico oscila entre el 7% y el 12%, pudiendo variar hasta 6-7 puntos porcentuales para la misma variedad, según las condiciones ambientales de cultivo (Rern, 1971). En la Tabla 4, podemos observar la composición nutrimental del arroz pulido.

Tabla 4. Composición química del arroz

<b>Componente</b>	<b>Arroz pulido (100 g)</b>
Energía Kcal	354
Energía kJ	1480
Humedad %	11.2
Fibra dietética g	1.9
Carbohidratos g	78.8
Proteínas g	7.4
Lípidos totales g	1.0

Fuente: Rern, 1971

En lo que respecta al contenido proteico del arroz pulido, al igual que el trigo, cuenta con albúminas (2-5%), globulinas (2-10%) y glutelinas (75-90%); sin embargo, cuenta con un diferente tipo de prolamina llamada orzenina (1-5%), la cual no es perjudicial para los celíacos (Juliano, 1985).

### 1.3.5. PRODUCCIÓN NACIONAL

De acuerdo a la Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en 2014 la producción anual de Arroz palay fue de 179,775.83 Ton, con un valor de \$703,576,380 M.N. En comparación con el consumo promedio anual nacional (1,100,000 Ton), la producción es mínima; por lo que 85% del arroz consumido en México es importado de países asiáticos principalmente (70 - 80 %), y el resto de países latinoamericanos (elfinanciero.com.mx).

## 1.4. ALIMENTOS FUNCIONALES

### 1.4.1. DEFINICIÓN

Mazza (2000) sugiere una definición de alimentos funcionales como aquellos que tienen una apariencia similar a la de un alimento convencional, que es consumido como parte de una dieta normal, presentando propiedades fisiológicas beneficiosas reduciendo el riesgo de contraer enfermedades crónicas.

Actualmente, existen varias definiciones de los productos funcionales, básicamente se refiere a los alimentos que abarcan productos potencialmente saludables, incluyendo cualquier alimento modificado o ingrediente alimenticio que pueda proveer un beneficio a la salud más allá de los nutrientes tradicionales que pueda contener (Specher, 2005).

### 1.4.2. CLASIFICACIÓN

Se han utilizado muchas expresiones para describir los múltiples productos naturales con efectos sobre la salud tales como (Astiasáran y Martínez, 2000):

- a) Productos Nutraceuticos
- b) Alimentos Funcionales
- c) Farmalimentos
- d) Alimentos de diseño
- e) Vitalimentos
- f) Sustancias fotoquímicas

- g) Alimenticias
- h) Alimentos médicos
- i) Suplementos alimentarios
- j) Hierbas o plantas medicinales

### 1.4.3. PRODUCTOS PARA LA ALIMENTACIÓN ESPECIAL

En la Reglamentación técnico-sanitaria española sobre preparados alimenticios para regímenes dietéticos especiales, se definen los Productos alimenticios destinados a una alimentación especial como: “Aquellos que, por su composición o por el proceso de su fabricación, se distinguen claramente de los productos alimenticios de consumo corriente, con un objetivo nutritivo señalado y se comercializan indicando que responden a dicho objetivo para determinadas personas cuyo proceso de asimilación o de metabolismo se encuentran alterados” (Astiasáran y Martínez, 2000).

Los alimentos para uso nutricional particular engloban nueve categorías tales como (Mazza, 2000):

1. Fórmulas infantiles
2. Leche de continuación y otros alimentos de continuación
3. Alimentos infantiles
4. Alimentos infantiles con bajo contenido energético o reducido diseñado para controlar el peso.
5. Alimentos dietéticos para usos médicos especiales.
6. Alimentos con bajo contenido de sodio
7. Alimentos sin gluten
8. Alimentos diseñados para el esfuerzo muscular intenso
9. Alimentos para diabéticos.

#### 1.4.3.1. CARACTERÍSTICAS

- Los preparados alimenticios para regímenes específicos deben estar preparados con ingredientes sanos, adecuados y apropiados para el uso a que se destinan (Codex Alimentario, 1983).

- La denominación de venta debe ir acompañada de la mención de sus características nutricionales especiales. Aquellos productos que estén destinados a personas con condiciones fisiológicas particulares o cuyos procesos de asimilación y metabolismo estén alterados, podrán caracterizarse por las indicaciones de dietético o de régimen.
- En el etiquetado y publicidad, cabe mencionar que, salvo que tenga reglamentación específica, estos productos deberán reflejar la composición nutricional o el proceso que da al producto la condición especial, valor energético (Kcal y KJ), contenido de hidratos de carbono, proteínas y lípidos por 100 g o 100 ml de producto.
- Es necesario que no se atribuya a los mismos, propiedades de prevención, tratamiento o curación de enfermedades. Evitando confusión por parte del consumidor (Astiasáran y Martínez, 2000).
- En México, la NOM-051-SCFI/SSA1-2010 establece que se deben declarar todos aquellos ingredientes o aditivos que causen hipersensibilidad, intolerancia o alergia, de conformidad con los ordenamientos jurídicos correspondientes.

#### 1.4.3.2. ALIMENTOS LIBRES DE GLUTEN

En la 20ª reunión del comité del Códex Alimentario sobre Nutrición y Alimentos para Regímenes Especiales (1996), definen los productos sin gluten, teniendo en cuenta el contenido en nitrógeno de los granos de cereales que contienen gluten (0.05 % gramos de dichos granos), así como su peso seco. Se entiende como alimento libre de gluten:

- a) Aquel que se preparara únicamente con ingredientes que no contienen prolaminas procedentes de trigo, o de todas las especies del género *Triticum*, centeno, cebada, avena, o sus variedades cruzadas, cuyo contenido de gluten no sea superior a 20 ppm.
- b) En cuya composición se encuentran ingredientes obtenidos a partir de trigo, cebada, centeno, avena o variedades, cuyo contenido de gluten no sea superior a 200 ppm.



Figura 6. Etiquetado de alimentos libres de gluten  
Fuente: bimbo.es, 2013

Es importante mencionar que este tipo de alimentos deben prepararse conforme a buenas prácticas de fabricación para evitar la contaminación con prolaminas, y en su etiquetado, debe figurar la expresión “Exento de Gluten” muy cerca del nombre del producto, considerándolo como una declaración de propiedad (Figura 6) (Gutiérrez y Villanueva *et al.*, 2003).

#### 1.4.3.3. LEGISLACIÓN

En la elaboración de productos libres de gluten para consumo de celíacos, es necesario recurrir a la reglamentación establecida, incluyendo desde materias primas, producto terminado y etiquetado. No sin mencionar, la más importante, referida a los alimentos exentos de gluten (Codex Alimentario, 1985; Codex Alimentario, 1983).

Es importante mencionar que la ingesta diaria de total de prolaminas para pacientes celíacos no debe exceder de 10 mg al día (Informe de la 20a Reunión del comité del Códex Alimentario sobre Nutrición y Alimentos para Regímenes Especiales, 1996).

Aunque vale la pena mencionar que este dato no es aplicable a un considerado número de pacientes con Enfermedad Celiaca. Por tanto, no hay acuerdo sobre el límite exacto a considerar generalizadamente.

En un sentido más estricto, en 1975 la *National Health and Medical Research Council of Australia* indicó que los ingredientes para la producción de alimentos privados de gluten deben contener un máximo de 0.05 % de nitrógeno, igual al 0.3 % de gluten (Quaglia, 1991).

De acuerdo al Códex Alimentario, se acepta el consumo de 20 ppm en alimentos que por naturaleza son libres de gluten y 200 ppm para productos especializados para enfermos celíacos (Mena, 2012).

A continuación se enlista las normas que regulan los alimentos de régimen especial libres de gluten.

- Norma del Códex para Alimentos Exentos de Gluten (Códex Stan 118-1981)
- CÓDEX STAN 146-1985 Norma General para el Etiquetado- Declaración de Propiedades de Alimentos preenvasados para régimen Especial.
- NOM-086-SSA1-1994

## 1.5. PAN DE CAJA

### 1.5.1. DEFINICIÓN

De acuerdo a la NMX-F-159-S-1983, es el producto alimenticio elaborado mediante la cocción por horneado de la masa fermentada, elaborada con la harina de trigo, agua potable, sal yodada, levadura y otros ingredientes opcionales y aditivos permitidos para alimentos.

### 1.5.2. ORIGEN E HISTORIA

El pan de caja como lo conocemos fue creado en 1927 por el ingeniero estadounidense Otto Frederick Rohwedder, gracias a su invento: la primera máquina automática rebanadora y envolvente de pan para uso comercial; la cual podía empujar los panes a través de una serie de cuchillas y era capaz de cortar 4000 panes por hora. Además, tenía dos clavijas de metal que se insertaban en ambos extremos del pan lo que hacía que todas las rebanadas ya cortadas se mantuviesen juntas facilitando el envasado.

La primera máquina vendida fue usada por la Chillicote Baking Company, en Chillicothe, Missouri en 1928

Tras una serie de transformaciones y mejoras por parte del comprador de la 2ª máquina, Gustav Papendick, en 1930 Continental Baking Company introdujo el conocido pan Wonder® como pan rebanado al mercado, convirtiéndose en un éxito a nivel nacional y posteriormente mundial ([www.chillicothecity.org](http://www.chillicothecity.org)).

En México, el pan de caja fue introducido en 1847 por el teniente de las fuerzas armadas invasoras, Ulises S. Grant, al ser invadidos por Estados Unidos. Grant elaboraba el pan para los soldados y oficiales norteamericanos y estableció una panadería en la calle de Jesús María, introduciendo el pan de caja (se hacía en moldes redondos y cuadrados), para los panes tostados y sándwiches (Barros, 1992).

### 1.5.3. CONSUMO Y VENTAS DEL PAN DE CAJA

Pese a ser considerada una industria defensiva por elaborar un producto de consumo básico, la industria panificadora tradicional enfrenta el reto de mantener su crecimiento ante la caída de 13% en el consumo per cápita de pan en México en la última década y la falta de profesionalización de sus unidades productivas.

Debido a los cambios en la dieta del mexicano ante la idea que el pan tiene un alto contenido calórico, en los últimos años el mercado del pan blanco ha tenido crecimientos discretos, con un valor de \$64,620 M.N. Este crecimiento está dado principalmente por el crecimiento de la población y por el Impuesto Especial sobre Producción y Servicios (IEPS) otorgado al pan dulce el 1º de enero del 2014 (eleconomista.com.mx).

### 1.5.4. CARACTERÍSTICAS

De acuerdo a la NMX-F-159-S-1983, un pan blanco de caja debe cumplir con las siguientes especificaciones:

a) Características sensoriales:

- Forma de un paralelepípedo simétrico, pudiendo ser rectangular o abombado con aristas ligeramente redondeadas, sin extremos bajos ni cuadrados. No debe presentar forma de tornillo ni estar colapsado.
- La superficie exterior y la corteza deben presentar un color amarillo rojizo, el cual deberá ser lo más uniforme posible por el horneado y en todas sus caras, a excepción de la greña, no deberá presentar manchas ni vetas y deberá tener cierto brillo.
- La corteza debe ser suave, romperse fácilmente y no ser correosa.
- Si el producto presenta rebanado, el espesor de la rebanada debe ser uniforme por pieza de pan blanco.
- El color de la miga debe ser blanco brillante, con un matiz uniforme, sin vetas, manchas ni coloraciones.
- La superficie de la rebanada no debe presentar desgarraduras.
- Olor: Agradable, característico, no debe ser picante ni rancio
- Sabor: Agradable, característico, no debe ser ácido.
- Textura: Al tacto debe ser suave y no desmoronable ni pegajoso; mientras que durante la masticación no debe ser masudo, seco, correoso o pegajoso.

b) Físicas y químicas

Los valores de las especificaciones físicas y químicas del pan de caja, deben encontrarse dentro del rango mostrado en la Tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones del pan de caja

ESPECIFICACIONES	MÍNIMO	MÁXIMO
Humedad en %	30	38
Cenizas en %	1.8	2.5
Proteínas (N x 5.7) en %	8	9
Grasa en %	0.8	4
Fibra cruda en %	0.2	0.4
pH	4.5	5.8

Fuente: NMX-F-159-S-1983

c) Materia extraña:

Los ingredientes usados en la elaboración deben estar exentos de fragmentos, larvas y huevecillos de insectos, pelos y excretas de roedor y partículas magnéticas u otros materiales extraños.

d) Contaminantes:

Los residuos de plaguicidas autorizados deben estar dentro de los límites que señale la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la Secretaría de Salud.

### 1.5.5. INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE PAN DE CAJA

De acuerdo a la NMX-F-15-1983, se pueden clasificar en:

a) Básicos:

- Harina de trigo: La harina le da a los batidos y masas su estirabilidad o elasticidad, una característica que las hace retener el gas o los gases esponjantes. La harina también contribuye con la estructura y rigidez a los productos horneados. Esta rigidez se debe, en el caso de la harina de trigo, al gluten, que se coagula por el calor y al almidón que se gelatiniza. Las harinas difieren en la cantidad y calidad del gluten que producen y esto a su vez, afecta la capacidad para fijar o mantener la humedad.

- Agua potable: Sustancia elemental y humectante universal. Es el disolvente y dispersante de las sustancias sólidas que participan en la preparación de la masa. Un ingrediente líquido es esencial para disolver el azúcar y la sal; así como para hidratar la levadura. En el agua, la levadura consume el azúcar, luego de lo cual libera bióxido de carbono. El agua hidrata la proteína de la harina, lo cual un paso preliminar para la formación del gluten; e hidrata al almidón para hacer posible la gelatinización del mismo durante el horneado. El agua convertida en vapor también sirve como agente leudante.
  - Levadura seca o fresca: Agente leudante natural que genera un proceso de fermentación al consumir los azúcares fermentables, lo que genera dióxido de carbono que provoca un leudado en la masa.
  - Sal yodatada: La sal se utiliza en los panes para mejorar su sabor; pero, por su alta higroscopicidad, también influye en la velocidad y el grado de hidratación de la harina al (Charley, 2009).
- b) Opcionales: Podrá agregarse hasta un 3% de la harina de trigo empleada en la formulación.
- Grasas (manteca de cerdo comestible y grasa vegetal parcialmente hidrogenada comestible): La grasa se incluye en los batidos y masas para ablandar el producto. Realiza esto en parte, repeliendo el agua de las partículas de la harina. Ello limita la capacidad con la que se desarrolla el gluten. La grasa también lubrica el gluten en bandas ya formadas y les permite deslizarse unas sobre otras más fácilmente
  - Leches y/o sus derivados: La leche sirve como medio de disolución del resto de los componentes de la masa y su grasa aumenta la elasticidad y esponjosidad de la masa, mejorando el volumen y la miga del pan. En el pan, la caramelización de la lactosa mejora el color de la corteza y mejora el sabor.
  - Edulcorantes nutritivos (lactosa, sacarosa y maltosa): Además de la función de contribuir con la dulzura, el azúcar se incluye en los batidos y masas porque también contribuyen a la suavidad de los productos horneados. El azúcar disminuye la captación del agua de la harina e interfiere en esa forma con el desarrollo del gluten, aunque en menor grado, en comparación con la grasa. El azúcar también sirve como un medio para incorporar aire en la masa y en el batido; ya que, durante el mezclado, la grasa provoca una fricción entre los cristales de azúcar, lo que provoca una generación de burbujas. Una razón más del porque incluir azúcar a este tipo de productos, es que ayuda en el tostado. El color es atribuido a una serie de reacciones entre los azúcares reducidos y las proteínas. En

ausencia de azúcares, el color se da por la dextrinización del almidón.

- Harina de soya desengrasada: Se usa para sustituir parcialmente la harina de trigo, con el fin de aumentar el contenido de proteínas y calcio en el pan.
- c) Aditivos alimentarios: Los siguientes aditivos podrán usarse dentro de los límites establecidos por la Secretaría de Salud, pudiendo ser autorizados nuevos aditivos o excluidos los que se señalan o disminuidos en sus límites, cuando la misma lo considere conveniente para protección de la salud:
- Emulsificantes (Lecitina, mono y diglicéridos derivados de grasas o aceites comestibles y estearil-2-lactato de sodio): La cantidad total de cada uno de los aditivos de este grupo o en combinación de dos o más, no debe ser mayor de 0.5 g por 100 g de harina de trigo empleada. Son sustancias que permiten la formación y estabilización de la dispersión de dos o más sustancias que no son miscibles y se les hace referencia con varios nombres como surfactantes, suavizantes de corteza, agentes antiendurecimiento y acondicionadores de masa. Los emulsificantes producen suavidad a las masa facilitando su trabajo en las máquinas amasadoras, suavizan la miga dando textura más uniforme y mayor volumen al producto final, ayudan a retener mejor el gas obtenido de la fermentación por leudantes o gasificantes (CO<sub>2</sub>), y finalmente ayudan a incorporarse de manera uniforme a las grasas y a los líquidos de la formulación evitando la separación de los mismos aun y cuando las masas o batidos permanezcan por algún tiempo en reposo (Buitrón, 2006).
  - Conservadores: Vinagre de cereales o de alcohol en cantidad suficiente. Propionato de sodio o de calcio no mayor de 0.32 g por cada 100 g de harina de trigo empleada en la formulación.
  - Enzimas amilolíticas y proteolíticas: Preparados de enzimas de origen microbiano inocuas a la salud, enzimas derivadas de *Aspergillus orizae*, *Bacillus subtilis* u otros permitidos en la cantidad estrictamente necesaria.
  - Gluten de trigo: En cantidad no mayor de 4 g por 100 g de harina de trigo y en caso de que figure en el etiquetado (con gluten de trigo) esta cantidad no será menor de 2 g por 100 g de harina de trigo.
  - Aditivos oxidantes: Bromato de potasio, bromato de calcio, yodato de potasio y peróxido de calcio. Cualquier combinación de dos o más de

estos aditivos, incluyendo cualquier cantidad presente en la harina de trigo utilizada, no debe ser mayor de 0.0075 g por 100 g de harina de trigo empleada en la formulación. De azodicarbonamida, la cantidad total, incluyendo la cantidad que presente en la harina de trigo, no debe ser mayor de 0.0045 g por cada 100 g de harina de trigo empleada.

- Acidulantes, alcalinizantes y buffer: La cantidad total de los ingredientes del alimento para levadura y las sales de calcio, no debe ser mayor de 0.25 g por cada 100 g de harina de trigo empleada en la formulación. La cantidad total de Fosfato monocalcico no será mayor de 0.75 g por cada 100 g de harina de trigo empleada en la formulación. Ácido láctico en cantidad necesaria.
- Vitaminas y minerales: Los permitidos dentro de los límites autorizados por el reglamento correspondiente y la Secretaría de Salud.
- Proteínas y aminoácidos: Los permitidos dentro de los límites autorizados por el reglamento correspondiente y la Secretaría de Salud.

#### 1.5.5.1. INGREDIENTES USADOS EN PANES LIBRES DE GLUTEN

En la elaboración de panes libres de gluten, se usan harinas de otros cereales, leguminosas, oleaginosas o combinación de estas. La harina de arroz ha sido frecuentemente usada en la panificación sin gluten debido a que su prolamina (orzenina) no es tóxica para los celíacos. A diferencia de las gliadinas de la harina de trigo donde sus secuencias de péptidos son ricos en glutamina y prolamina que son responsables de su toxicidad, la harina de arroz presenta un menor porcentaje de estos dos aminoácidos (Schuppan, 2000). Al carecer de la estructura tan importante en la panificación como lo es el gluten estas masas elaboradas con harinas compuestas reducen la cohesividad y la propiedad de retener el bióxido de carbono producido, dando como resultado productos menos apetecibles, panes muy densos y pesados (Gallagher *et al.*, 2003). La miga de estos productos pierde cohesividad y tienden a ser quebradizos. La gomosidad durante la masticación suele ser otro problema.

Con el fin de emular las propiedades conferidas por el gluten en el pan, se suelen adicionar a las formulaciones de pan libre de gluten hidrocoloides o gomas; los cuales son polisacáridos de alto peso molecular que poseen propiedades coloidales; además de ser dispersables en agua fría o caliente para producir

soluciones o mezclas con alta viscosidad. Debido a su naturaleza coloidal, también reciben el nombre de hidrocoloides (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de algunas gomas

Naturales	Semisintéticas
<b>Exudado de árboles</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arábigo</li> <li>• Tragacanto</li> <li>• Gatti</li> <li>• Alerce</li> </ul> <b>Semillas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Guar</li> <li>• Psilio</li> </ul> <b>Extracto de algas marinas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agar</li> <li>• Alginatos</li> <li>• Carragenina</li> </ul> <b>Otros</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pectina</li> </ul>	<b>Derivados de celulosa</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carboximetilcelulosa</li> <li>• Metilcelulosa</li> <li>• Hidroximetilcelulosa</li> <li>• Celulosa microcristalina</li> </ul> <b>Gomas microbianas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Xantana</li> <li>• Dextrana</li> </ul> <b>Otros</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pectina de bajo metoxilo</li> <li>• Guar carboximetilico</li> </ul>

Fuente: Badui, 2006

La mayoría de hidrocoloides son de origen vegetal y se trata de fracciones de fibras más o menos purificadas mediante procesos fisicoquímicos. Algunas de estas fibras son posteriormente modificadas químicamente para variar y mejorar sus aptitudes tecnológicas. Otros se obtienen por biotecnología, cultivando en grandes reactores algunas especies de microorganismos que secretan mucílagos o gomas.

Las aplicaciones de los hidrocoloides y gomas se fundamentan en dos de sus características más importantes: la capacidad de alterar las propiedades de flujo del agua y la posibilidad de formar geles, por lo que se utilizan ampliamente en la industria alimentaria. La mayoría de las gomas tiene la denominación GRAS (Generally Recognized As Safe). Las propiedades funcionales de las gomas como son la de espesante y formadoras de geles dependen de varios factores: peso molecular, los grados de ionización y de ramificación, pH, fuerza iónica, temperatura, concentración de otros componentes.

En los productos de cereales y derivados, los hidrocoloides como la hidroxipropilmetilcelulosa, retienen humedad, retardan la retrogradación del almidón, mejoran la apariencia y distribución alveolar en productos fermentados y leudados.

Varios estudios han usado fibras, como la de psyllium, con gomas para elaborar productos libre de gluten para aumentar el volumen y mejorar la miga principales problemas al no poder emplear harina de trigo (Gallagher, 2004; Lazariduo, 2007).

## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

### 2.1. OBJETIVOS

#### 2.1.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar un pan de caja libre de gluten a base de harina de arroz y almidón de trigo empleando hidroxipropilmetilcelulosa y fibra de psyllium como sustitutos de gluten con el fin de obtener un producto con características físicas, sensoriales, texturales y químicas similares al pan blanco de caja comercial.

#### 2.1.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- OBJETIVO PARTICULAR 1:

Evaluar las propiedades físicas (altura y volumen específico) de los panes elaborados con las diferentes formulaciones propuestas mediante un diseño estadístico factorial completo, con el fin de seleccionar la formulación con la que se obtenga el pan que más se asemeje a uno comercial convencional.

- OBJETIVO PARTICULAR 2:

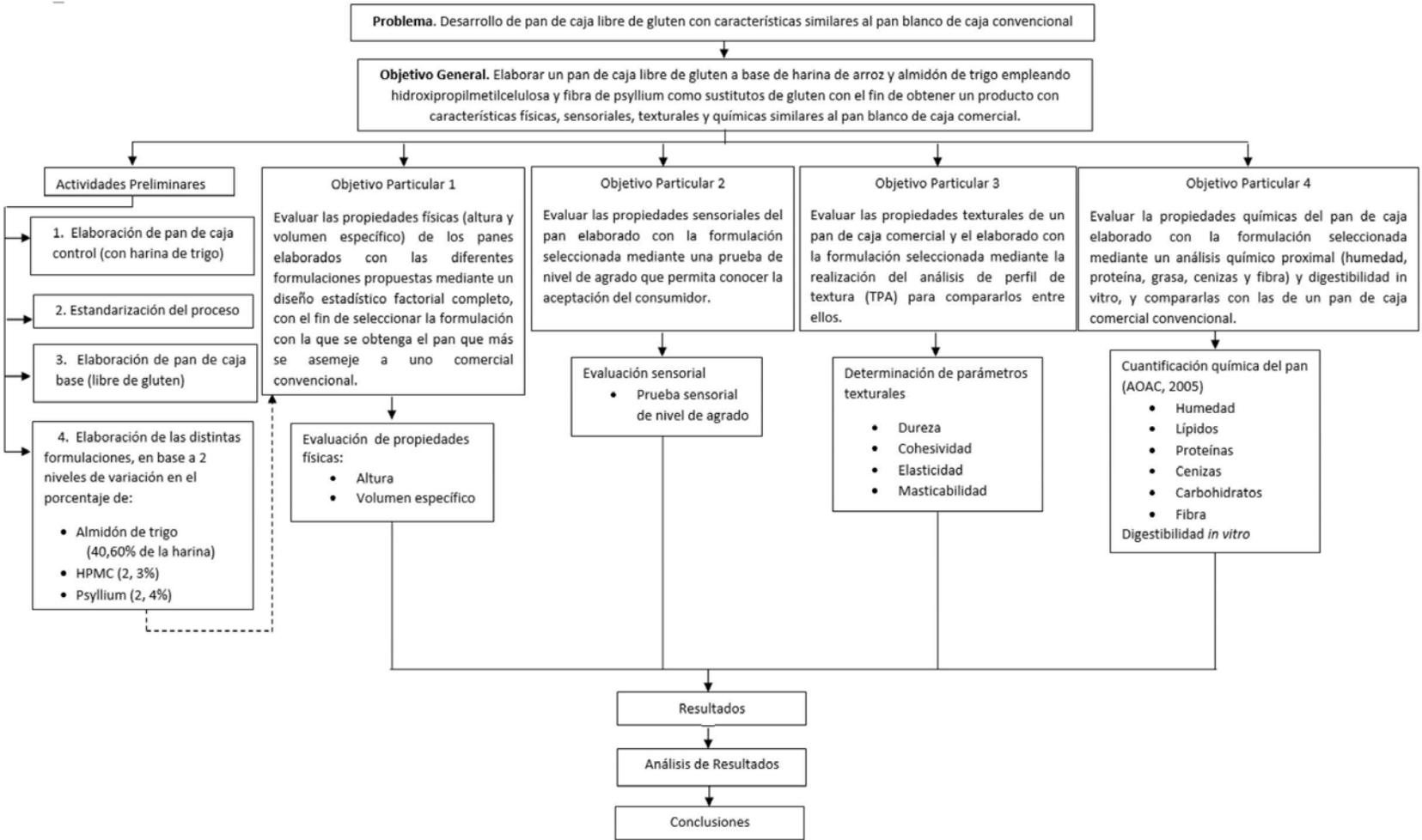
Evaluar las propiedades sensoriales del pan elaborado con la formulación seleccionada mediante una prueba de nivel de agrado que permita conocer la aceptación del consumidor.

- OBJETIVO PARTICULAR 3:

Evaluar las propiedades texturales de un pan de caja comercial y el elaborado con la formulación seleccionada mediante la realización del análisis de perfil de textura (TPA) para compararlos entre ellos.

- OBJETIVO PARTICULAR 4:

Evaluar las propiedades químicas del pan de caja elaborado con la formulación seleccionada mediante un análisis químico proximal (humedad, proteína, grasa, cenizas y fibra) y digestibilidad in vitro, y compararlas con las de un pan de caja comercial convencional.



### 2.3. ELABORACIÓN DE PAN DE CAJA CONTROL (TRIGO) Y PAN DE CAJA BASE (LIBRE DE GLUTEN)

Para la elaboración de pan de caja con harina de arroz y almidón de trigo se propuso primero elaborar un pan de caja con harina de trigo, en base a la siguiente formulación (Tabla 7) y al proceso indicado en la Figura 7.

Tabla 7. Formulación para la elaboración del pan de caja control

INGREDIENTES	%
Harina de trigo	46.866
Leche entera	23.433
Azúcar	9.764
Margarina para bizcocho	9.764
Huevo	8.064
Levadura instantánea en polvo	1.718
Sal	0.391

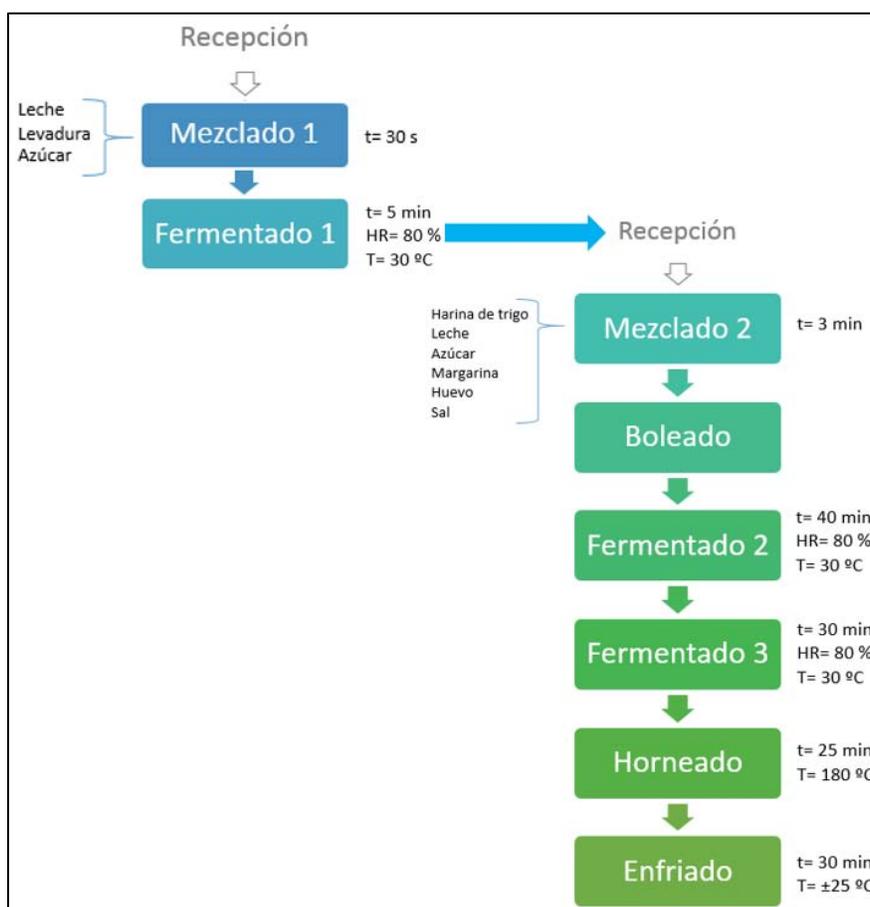


Figura 7. Diagrama de proceso para la elaboración del pan de caja control

La elaboración del pan de caja control constó de los siguientes pasos:

1. Pesar todos los ingredientes por separado.
2. En un vaso se mezcla 33.33% del azúcar, la levadura y 10% de la leche y se coloca en una fermentadora acondicionada a una temperatura interna de 30°C y 80% de humedad relativa por 5 minutos, con el fin de activar la levadura.
3. Vaciar la mezcla resultante en un recipiente junto con el resto de los polvos y, usando una batidora, se mezclan por 2 minutos. Al mismo tiempo, se le añaden la margarina previamente derretida en un horno de microondas por 40 segundos aproximadamente, el resto de la leche y por último la sal con el fin de que esta no interviniera en la absorción de la leche por parte del almidón de trigo y del almidón de la harina de arroz; ya que la sal es altamente iónica e hidrófila.
4. Someter la masa a un proceso de boleado.
5. Colocar la masa en un recipiente abierto e introducirla por 40 minutos a la fermentadora a las mismas condiciones usadas previamente.
6. Retirar el recipiente de la fermentadora y distribuir uniformemente la masa dentro de un molde para pan de caja previamente engrasado.
7. Introducir el molde en la fermentadora con las mismas condiciones empleadas por 30 minutos más.
8. Introducir el molde con la masa en un horno previamente calentado a 180 °C por 25 minutos.
9. Tras el horneado, el pan se retira del molde y se deja enfriar por media hora.

A partir del pan de caja obtenido con la formulación control, tomando la formulación propuesta por San Miguel (2013) y diversas formulaciones previas realizadas con el fin de mejorar el producto, se planteó la formulación base (libre de gluten) y su proceso; los cuales se muestran en la tabla 8 y figura 8.

Tabla 8. Formulación para la elaboración del pan de caja base (libre de gluten)

INGREDIENTES	%
Leche entera	46.53
Harina de arroz	21.15
Almidón de trigo	21.15
Margarina para bizcocho	4.23
Azúcar	2.11
Psyllium	1.69
Levadura instantánea en polvo	1.26
HPMC	1.26
Sal	0.59

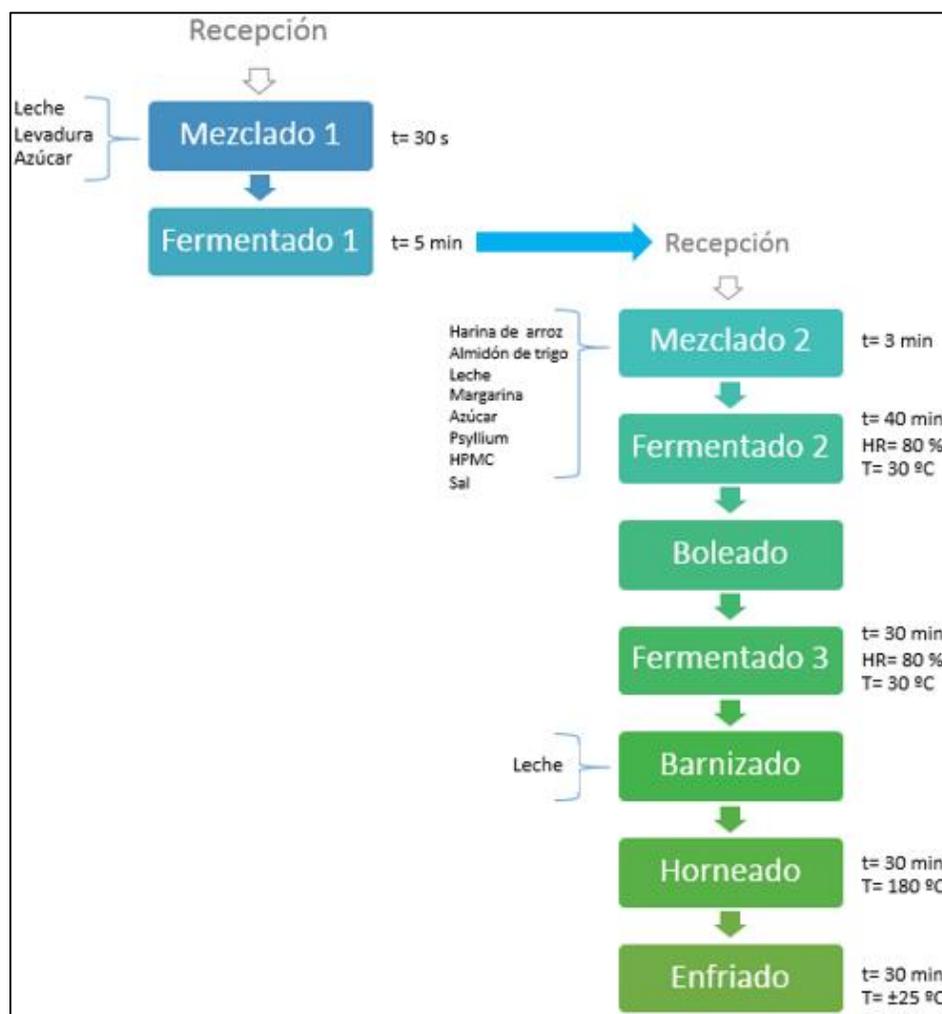


Figura 8. Diagrama de proceso para la elaboración del pan de caja base (libre de gluten)

Como se puede observar en la figura, para esta formulación las únicas condiciones que se modificaron con respecto a la formulación control con gluten fueron un barnizado en la parte superior de la masa previo al horneado con el fin de fomentar reacciones de oscurecimiento enzimático que aporten un color dorado a la corteza; y el tiempo de horneado, el cual se aumentó 5 minutos.

En cuanto a los componentes del pan, se emplearon dos aditivos para emular las propiedades del gluten en la masa.

Por un lado, se empleó hidroxipropilmetilcelulosa VIVAPUR K4M Food Grade (JRS, Rosenberg, Alemania); que es una celulosa parcialmente eterificada por grupos metilos y que contiene una pequeña proporción de grupos hidroxipropilos; la cual, al disolverse en medio acuoso, a temperaturas altas forma un gel capaz de crear una red polimérica similar a la red proteica generada por el gluten en las masas, con la que es posible retener gases generados durante la fermentación de la masa y, por consiguiente, un leudado aceptable (Hager *et al.*, 2013).

Por otro lado, con el fin de retener la humedad del pan por un mayor tiempo y por consiguiente alargar su vida útil, se empleó fibra de psyllium VITACEL P-95 Food Grade (JRS, Rosenberg, Alemania); la cual es una fibra compuesta de hidratos de carbono complejos, almidones resistentes y lignina obtenida de la cáscara de las semillas de las flores de la planta Zaragatona (*Plantago psyllium*) que, al hidratarse, forma un mucílago capaz de retener la humedad de la masa durante su fermentado y horneado; además de actuar como agente emulsionante, estabilizante y espesante (Zandonadi *et al.*, 2009; Farahnaky, *et al.*, 2010).

#### 2.4. ELABORACIÓN DE DISTINTAS FORMULACIONES DE PAN DE CAJA LIBRE DE GLUTEN

Con el fin de obtener un pan libre de gluten con características similares al pan de caja hecho con harina de trigo, se elaboraron 8 diferentes formulaciones en las que se varió el porcentaje de almidón de trigo (60% - 40%), HPMC (2% - 3%) y psyllium (2 - 4%). Estas concentraciones fueron establecidas gracias a investigaciones realizadas por Merino (2013) y San Miguel (2013).

Las formulaciones por duplicado y el orden en que se realizaron fueron obtenidas realizando un diseño factorial completo usando la herramienta ofimática Minitab® 16. Las formulaciones y orden de las corridas se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Formulaciones y orden de realización

FORMULACIÓN (%)			CORRIDA No.
Almidón de trigo	HPMC	Psyllium	
40	2	2	7
40	2	4	12
40	3	2	4
40	3	4	11
40	2	2	2
40	2	4	14
40	3	2	5
40	3	4	10
60	2	2	6
60	2	4	15
60	3	2	1
60	3	4	9
60	2	2	3
60	2	4	13
60	3	2	8
60	3	4	16

Fuente: Minitab® 16

## 2.5. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS DE PANES OBTENIDOS

Para determinar la formulación con las características físicas más parecidas a las del pan de caja convencional, se realizaron las pruebas de peso y volumen para obtener el volumen específico, y la medición de altura de cada formulación.

### 2.5.1. PESO

Esta prueba consiste en cuantificar la masa que posee el producto horneado en una balanza digital o analítica. El peso del producto es el punto de partida de cualquier evaluación panadera, ya que este influye en el resto de las características, donde un peso mayor al especificado contribuirá a tener mayores volúmenes, celdas de migas más cerradas y uniformes, además de simetrías uniformes (Yépez, 2003).

### 2.5.2. VOLUMEN

La prueba de volumen se realizó con un medidor de pan (Figura 9), que mide el desplazamiento que tienen las semillas de colza dentro del medidor provocado por el producto que se desea medir.

La muestra se introduce en un recipiente con tapa que se encuentra en la parte superior, y posteriormente se cierra. En la parte inferior se encuentran las semillas de colza, una vez cerrado, se gira 180° y por efecto de gravedad, las semillas empiezan a caer en el recipiente del extremo contrario, el cual contiene el producto muestra, siendo desplazadas las semillas por el espacio que ocupa este. El volumen de las semillas desplazadas, es igual al volumen del producto muestra, dicho desplazamiento puede ser leído en la probeta graduada que posee el medidor de pan obteniendo un volumen (Cauvain y Young, 2008).



Figura 9. Medidor de volumen para pan

### 2.5.3. VOLUMEN ESPECÍFICO

Es referido como la medición del volumen final alcanzado por el producto después del horneado en relación con el peso del producto (Yépez, 2003).

La finalidad de este parámetro es conocer, junto con la prueba de altura, la capacidad de retención de vapor y gases durante los procesos de fermentación y cocción de la masa.

### 2.5.4. ALTURA

La altura se midió con ayuda de un vernier en 3 zonas del pan (extremos y centro), cuantificando el leudado que tuvo el pan (Serna, 2003).

La altura evalúa rápidamente las variaciones en la retención de gas de la masa y expansión del batido de la misma, ambos directamente relacionados con el volumen del producto (Cauvain y Young, 2008).

## 2.6. EVALUACIÓN SENSORIAL DEL PAN

Para determinar el nivel de aceptación y el nivel de agrado del pan hecho con la formulación definitiva, se realizó la prueba de nivel de agrado; en la que se ofreció el producto a 100 personas con el fin de que la calificaran dentro de una escala no estructurada o hedónica de -5 a 5, siendo 5 la mejor calificación posible (Anexo 1) (Rodríguez, 2003).

## 2.7. EVALUACIÓN TEXTURAL DEL PAN Y DEL PAN COMERCIAL CONVENCIONAL

El análisis de perfil de textura (TPA) consiste en comprimir (alrededor de un 20%) dos veces consecutivas una muestra simulando dos bocados, y registrar una curva de la fuerza empleada en función del tiempo, o la distancia, ya que se suele comprimir a velocidad constante (Ruíz, 2005). La curva típica obtenida de este ensayo aplicado a un pan se puede observar en la Figura 10; mientras que los parámetros obtenidos se explican en la Tabla 10.

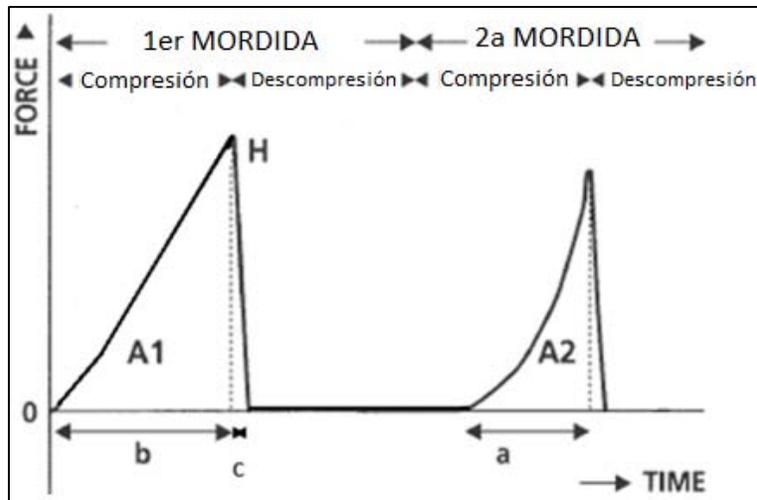


Figura 10. Curva de análisis de perfil de textura de pan (Modificado de Ruíz, 2005)

**Tabla 10.** Parámetros texturales obtenidos en un análisis de perfil de textura de pan

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	UNIDAD
Dureza	Fuerza necesaria para alcanzar una deformación preseleccionada en el primer ciclo (H)	Gramos
Elasticidad Instantánea	Capacidad de recuperación de la deformación en la descompresión del primer ciclo. Es la relación de distancias $c/b$	Adimensional ( $<1$ )
Elasticidad total	Capacidad de recuperación de la deformación después del periodo de espera entre la 1ª y 2ª compresión. Es la relación de distancias $a/b$	Adimensional ( $<1$ )
Cohesividad	Relación entre el área de compresión del segundo ciclo sobre el área de compresión del primer ciclo ( $A_2/A_1$ )	Adimensional ( $<1$ )
Masticabilidad	Dureza x cohesividad x elasticidad	Gramos

Fuente: Modificado de Ruíz, 2005

Se realizó un TPA a la formulación de pan libre de gluten definitiva y a un pan de caja convencional comercial (pan blanco Bimbo®) usando un texturómetro modelo TA XT2® Texture Analyser (Texture Technologies Corporation, Stable Microsystems) con una celda de carga de 25 kg; con el fin de realizar una comparación de sus propiedades texturales.

Las condiciones en que se realizó el análisis fueron (A.I.B., 1999):

- Muestra: 2 rebanadas de pan del mismo grosor (1.3 cm)
- Velocidad antes de la prueba: 2 mm / s
- Velocidad durante la prueba: 1.7 mm / s
- Velocidad después de la prueba: 10 mm / s
- Distancia entre la sonda y la muestra: 6.2 mm
- Tipo de disparador: Auto
- Fuerza: 10 g
- Adquisición: 200 pps
- Accesorio (Geometría): Sonda cilindro de acrílico TA-3 de 1"

## 2.8. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

El pan sin gluten elaborado con la formulación seleccionada se sometió a un proceso de secado en un horno convectivo, para posteriormente pasar a un proceso de molienda. El producto obtenido se tamizó garantizándose que pasara por completo por la malla #40 serie Tyler para así obtener una harina.

## 2.9. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL PAN Y DEL PAN COMERCIAL CONVENCIONAL

Se realizó un análisis químico proximal y determinación de digestibilidad de proteínas al pan sin gluten elaborado con la formulación seleccionada y al producto comercial convencional (pan blanco Bimbo®) con la finalidad de conocer si es necesario fortificar el producto libre de gluten para cumplir así con los requerimientos oficiales. Las pruebas fueron humedad, cenizas, lípidos, proteínas, fibra y carbohidratos por diferencia, de acuerdo a los métodos propuestos por el AOAC (2005), y digestibilidad *in vitro* (Hsu *et al.*, 1977).

### 2.9.1. HUMEDAD

Se determinó el contenido de humedad de la muestra húmeda usando una termobalanza VELAB® modelo VE-50-5; la cual es un equipo que determina la humedad basándose en la eliminación del agua por efecto del calor aplicado a la muestra.

El contenido de humedad de la muestra seca se determinó por el método de secado por estufa (Método 925.09B); el cual se basa en la eliminación del agua

por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 130 °C, hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad.

$$\% \text{ de humedad} = [(W2 - W3) / W1] \times 100$$

Donde:

W1 = Peso de la muestra (g)

W2 = Peso de la muestra húmeda (g)

W3 = Peso de la muestra seca (g).

### 2.9.2. LÍPIDOS

El contenido de grasa se determinó por la técnica de extracción Soxhlet (Método de la AOAC 920.35, 2002); el cual se basa en la solubilidad de las grasas en compuestos no polares como el éter etílico, a partir de una muestra libre de humedad. El solvente se elimina por evaporación quedando solo el residuo de grasa. El resultado se expresó como porcentaje de grasa extraíble.

$$\% \text{ de grasa extraíble} = [(W3 - W2) / W1] \times 100$$

Donde:

W1 = Peso de la muestra (g) antes de la desecación

W2 = Peso del matraz sin grasa (g)

W3 = Peso del matraz con grasa (g)

### 2.9.3. PROTEÍNAS

Se determinó el nitrógeno total por el método micro Kjeldahl (Método de la AOAC 991.20, 2002); el cual se basa en la combustión húmeda de la muestra. El producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos para convertir el nitrógeno orgánico en iones amonio. A la solución de la digestión se le añade álcali y se destila hacia una solución de ácido bórico. El destilado se titula con ácido clorhídrico. El resultado se expresó como porcentaje de proteína.

$$\% \text{ de proteína cruda} = \text{Nitrógeno total} \times (F)$$

$$\text{Nitrógeno total} = [(V2 - V1) (N) (0.014)] / W$$

Donde:

V1= Volumen de HCl gastado en la muestra (ml)

V2= Volumen de HCl gastado en el blanco (ml)

N = Normalidad del HCl

W = Peso de la muestra (g)

F = Factor de conversión de nitrógeno a proteína (Arroz= 5.95)

#### 2.9.4. FIBRA

Se determinó mediante el método de fibra cruda (Método 985.29), este se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales, las cuales posteriormente se calcinan. El resultado se expresó como porcentaje de fibra cruda.

$$\% \text{ de fibra cruda} = [(W2 - W1) - (W4 - W3)] / W5 \times 100$$

Donde:

W1 = Peso del papel filtro a 110° (g)

W2 = Peso del papel filtro con residuos secos a 110° (g)

W3 = Peso del crisol vacío (g)

W4 = Peso del crisol después de la incineración (g)

W5= Peso de la muestra previamente desengrasada (g).

#### 2.9.5. CENIZAS

El contenido de cenizas totales se determinó mediante la obtención del residuo inorgánico resultante de la calcinación e incineración de la materia orgánica a 530 °C; cuyo principio se basa en una determinación gravimétrica (Método de la AOAC 923.03, 2005). El resultado se expresó como porcentaje de cenizas totales.

$$\% \text{ de cenizas totales} = [(W3 - W2) / W1] \times 100$$

Donde:

W1 = Peso de la muestra (g)

W2 = Peso del crisol sin muestra (g)

W3 = Peso del crisol con las cenizas (g)

#### 2.9.6. CARBOHIDRATOS

El contenido de azúcares se determinó por diferencia.

#### 2.9.7. DIGESTIBILIDAD *IN VITRO*

Se evaluó la digestibilidad de los productos, mediante un sistema multienzimático, compuesto por tripsina, quimotripsina, pepsina y peptidasa para la estimación de la digestibilidad de sus proteínas (Hsu *et al.*, 1977).

#### 2.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las pruebas se realizaron por triplicado y mediante la creación de un diseño estadístico factorial completo usando la herramienta ofimática Minitab®16 se realizó un análisis ANOVA y se calculó el promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para la comparación de medias se usó la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ .

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ELABORACIÓN DEL PAN DE CAJA CONVENCIONAL (CONTROL)

El pan de caja control se elaboró con 100% trigo para tenerlo como referencia y poder comparar las características del pan libre de gluten, pues los dos fueron elaborados en el laboratorio. Usando la formulación y el proceso mencionados en el apartado Metodología experimental, se obtuvo el pan de caja control que se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Pan de caja control

Se obtuvo un pan de caja con miga homogénea y altura (cercana a los 10 cm) similar a la del pan convencional comercial; por lo que es adecuado para usarlo como referencia en las propiedades físicas de las formulaciones libre de gluten.

#### 3.2. ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE PAN DE CAJA LIBRE DE GLUTEN (BASE)

Antes de obtener la formulación y proceso de elaboración del pan de caja libre de gluten, se propusieron formulaciones preliminares en base a la formulación para elaborar el pan de caja control (Tabla 11) (Figura 12) y en base a otra formulación propuesta por San Miguel (2013) (Tabla 12) (Figura 13).

Tabla 11. Formulación para la elaboración de pan de caja libre de gluten, en base a formulación control

INGREDIENTES	%
Leche entera	44.226
Harina de arroz	40.205
Margarina líquida	5.583
Azúcar	5.36
Fibra de psyllium	1.608
Levadura instantánea	1.474
HPMC	1.206
Sal	0.335



Figura 12. Pan libre de gluten realizado en base a formulación control

Cabe señalar que el contenido de leche entera o agua (110 mL / 100 g<sub>harina</sub>), hidroxipropilmetilcelulosa (3 g / 100 g<sub>harina</sub>) y fibra de psyllium (4 g / 100 g<sub>harina</sub>) en ambas formulaciones preliminares fueron establecidas de acuerdo a lo señalado en la formulación propuesta por San Miguel (2013).

Tabla 12. Formulación para la elaboración de pan de caja libre de gluten en base a la formulación propuesta por San Miguel (2013)

INGREDIENTES	%
Agua	46.452
Harina de arroz	42.229
Aceite	4.222
Azúcar	2.111
Fibra de psyllium	1.689
HPMC	1.266
Levadura	1.266
Sal	0.76



Figura 13. Pan libre de gluten, formulación propuesta por San Miguel (2013)

Usando como referencia estas dos formulaciones, en la estandarización se añadió almidón de trigo (con un porcentaje de proteína residual máximo de 0.9%) proporcionado por la empresa INDUSTRIAS ALIMENTICIAS FABP. S.A. de C.V. debido a que aporta volumen al pan al reforzar la red polimérica del HPMC, y sabor característico del pan convencional (Merino, 2013), y se modificaron tiempos, temperaturas de horneado, contenido de azúcar y contenido de sal con el fin de obtener la formulación con las características sensoriales más similares al pan convencional. Esto se realizó mediante una prueba de preferencia de los panes por 6 jueces semientrenados.

Tras la elaboración de diversas formulaciones y las pruebas de preferencia, se determinó la formulación base, (Tabla 8) (Figura 14).



Figura 14. Pan de caja base (libre de gluten)

Se puede observar que el pan realizado con la formulación base libre de gluten presenta un leudado notablemente superior al presentado por los panes realizados con la formulación control y la reportada por San Miguel (2013). Esto se debe a la presencia del almidón, el cual, al cubrir y fortalecer la red de HPMC, confiere dureza a las masas; lo que permite una mayor retención del dióxido de carbono generado durante su fermentación y vapor durante su horneado; y, por ende, un mayor leudado (Merino, 2013).

### 3.3. DESARROLLO DE FORMULACIONES PARA MEJORAR EL PAN LIBRE DE GLUTEN

Usando el diseño factorial, se realizaron todas las formulaciones con su respectiva repetición. Los productos obtenidos se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13. Productos obtenidos con las diferentes formulaciones

FORMULACIÓN (%)			CORRIDA	PAN	MIGA
Almidón	HPMC	Psyllium			
40	2	2	7		
			12		
40	2	4	4		
			11		
40	3	2	2		
			14		
40	3	4	5		
			10		

Tabla 13. Productos obtenidos con las diferentes formulaciones

(continuación)

60	2	2	6		
			15		
60	2	4	1		
			9		
60	3	2	3		
			13		
60	3	4	8		
			16		

A pesar de no ser posible observar claramente una diferencia entre los panes en las fotografías presentadas en la tabla 13, durante su realización fue evidente que la fibra de psyllium tenía una gran relevancia en lo que respecta a la altura y volumen del producto; ya que, a mayor contenido de fibra de psyllium, los productos presentaron un tamaño inferior; esto debido a que, al formar un mucílago, la fibra de psyllium retiene una mayor humedad que le confiere un mayor peso a la masa, lo que a su vez dificulta el leudado. Lo anterior se explicará a detalle en el apartado “Evaluación de propiedades físicas”.

### 3.4. EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas que se midieron fueron los valores de peso, volumen, volumen específico y altura (Tabla 14).

Tabla 14. Propiedades físicas de cada corrida experimental

CORRIDA	Almidón (%)	HPMC (%)	Psyllium (%)	VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	MASA (g)	VOL. ESPECÍFICO (g / mL)	ALTURA (cm)
1	60	2	4	1020	638	1.599	2.266
2	60	3	2	1080	540	2.000	2.4
3	40	3	2	1160	618	1.877	2.6
4	40	2	4	1120	623	1.798	2.566
5	60	3	4	1080	611	1.768	2.466
6	60	2	2	1160	564	2.057	2.833
7	40	2	2	1160	624	1.859	2.966
8	40	3	4	1060	630	1.683	2.5
9	60	2	4	1060	620	1.710	2.633
10	60	3	4	1060	626	1.693	2.333
11	40	2	4	1140	616	1.851	2.5
12	40	2	2	1160	592	1.959	2.8
13	40	3	2	1160	640	1.813	2.6
14	60	3	2	1140	624	1.827	2.533
15	60	2	2	1160	613	1.892	2.83
16	40	3	4	1100	623	1.766	2.566

Para determinar cuáles componentes del pan tenían una influencia significativa en el volumen específico, que es la relación entre el volumen y masa del pan, y altura del pan, se realizó un análisis estadístico usando el programa Minitab® 16, (Tabla 15) (Figura 15).

Tabla 15. Propiedades físicas promedio de cada formulación

Almidón (%)	HPMC (%)	Psyllium (%)	VOL. ESPECÍFICO PROMEDIO	ALTURA PROMEDIO
2	2	40	1.909	2.883
2	2	60	1.975	2.832
2	3	40	1.845	2.600
2	3	60	1.913	2.467
4	2	40	1.824	2.533
4	2	60	1.654	2.450
4	3	40	1.724	2.533
4	3	60	1.730	2.400

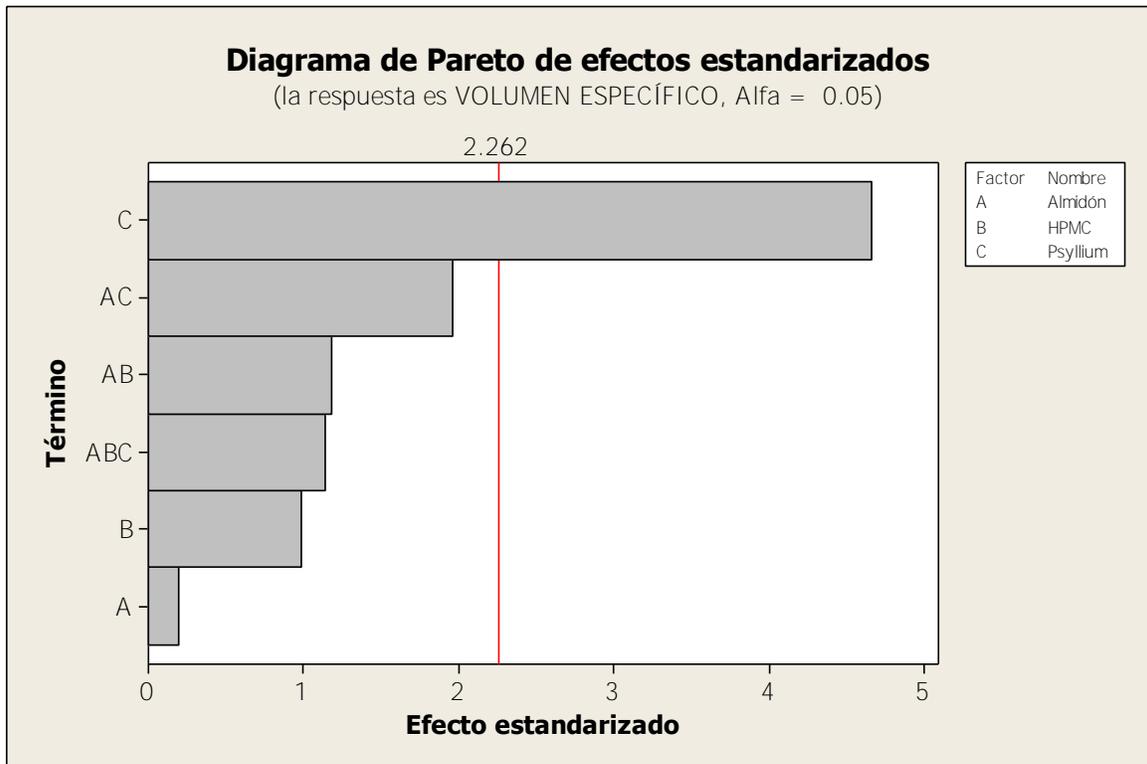


Figura 15. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, en relación al volumen específico

En la Figura 15 se muestra cómo la única variable con un nivel de significancia considerable es el Psyllium; lo que significa que es la única variable que afecta significativamente en el volumen específico del producto, siendo notablemente mayor el efecto estandarizado que presenta el término C (Psyllium), comparándolo con el resto de variables e interacciones entre las mismas.

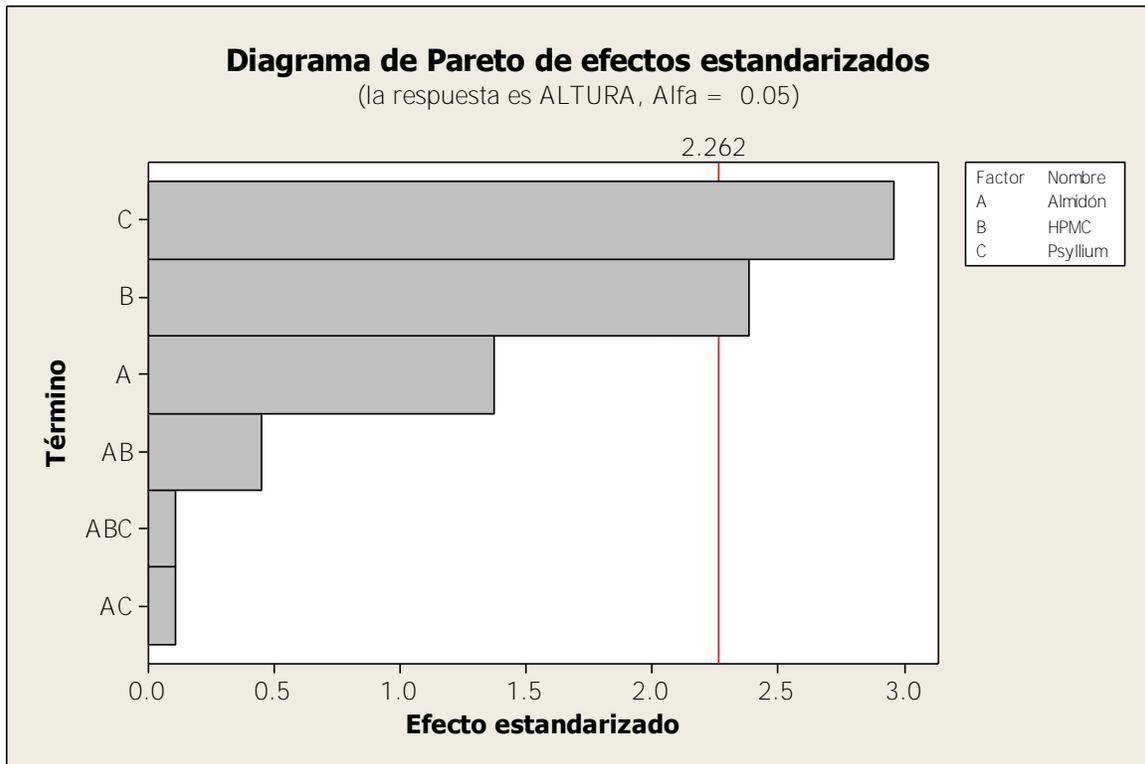


Figura 16. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados, en relación a la altura

En lo que respecta a la altura, el contenido de HPMC y fibra de psyllium son las variables que afectan de manera significativa en la altura del producto (Figura 16). Esto ocurrió debido a que, al someter a altas temperaturas al HPMC durante el horneado del pan, las cadenas hidratadas de HPMC liberan el agua asociada a ellas permitiendo una interacción más fuerte entre sus cadenas; lo cual permite que se forme una red polimérica capaz de reducir las pérdidas de gas mejorando así las dimensiones del pan (Haque *et al.*, 1993). En lo que respecta a la fibra de psyllium, elevados niveles de esta tuvieron un claro efecto negativo en los panes, de igual manera que lo tuvieron estudios anteriores (San Miguel, 2013; Haque *et al.*, 1993), debido a que un exceso de fibra puede provocar que el pan no leve lo suficiente durante el proceso de fermentación.

Con el fin de conocer estadísticamente con cuál formulación se obtiene el pan con el mayor volumen específico y altura posible, se realizó una optimización de respuesta (Figura 17); la que nos permitió concluir que la mejor formulación fue

aquella en la que se usó un 40% de almidón de trigo, 2% de HPMC y 2% de fibra de psyllium.

Óptimo D 1.0000	Alto Act Bajo	Almidón 60.0 [40.0] 40.0	HPMC 3.0 [2.0] 2.0	Psyllium 4.0 [2.0] 2.0
Compuesto Deseabilidad 1.0000				

Figura 17. Gráfica de optimización

Se realizó un comparativo de una rebanada del pan obtenido junto con una rebanada del pan de trigo comercial (Figura 18), en donde se puede ver cómo a pesar de diferir en altura y tamaño de alveolos, la homogeneidad de los mismos y la coloración de la miga son bastante similares.

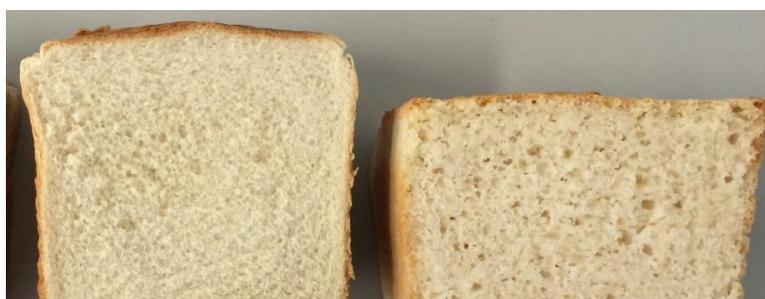


Figura 18. Rebanada de pan de trigo comercial (a la izquierda) y de pan de caja sin gluten (a la derecha)

Comparando los parámetros físicos del pan control y del pan libre de gluten (Tabla 16), el pan control presenta un volumen específico 34.34% mayor y una altura 24.13% mayor que el pan definitivo libre de gluten; con lo que se puede concluir que no fue posible emular satisfactoriamente las propiedades del gluten en la masa.

Tabla 16. Comparación de parámetros físicos del pan de caja control y del pan de caja libre de gluten

PARÁMETRO FÍSICO	PAN CONTROL	PAN LIBRE DE GLUTEN
Volumen específico (g/mL)	2.907 <sup>a*</sup>	1.909b
Altura (cm)	3.8 <sup>a</sup>	2.888b

\*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa  $P \leq 0.05$ .

Sin embargo, comparando el leudado y aspecto de la miga del pan libre de gluten realizado con la formulación definitiva (Figura 19) y del pan realizado con la formulación dada por la tesis de San Miguel (2013) (Figura 14), es notable la mejora lograda en el área de panificación libre de gluten con este proyecto.

### 3.5. EVALUACIÓN SENSORIAL

La prueba de nivel de agrado se realizó con el fin de conocer si el pan de caja sin gluten obtenido con la formulación escogida sería aceptado o no por el consumidor. Se realizó a 100 jueces no entrenados a los cuales se les dio a probar una muestra del pan para posteriormente responder un cuestionario (Anexo 1).

Tabla 17. Resultados de la evaluación sensorial del pan de caja libre de gluten

PRODUCTO	No. JUECES	CALIFICACIÓN	% ACEPTACIÓN
Pan de caja libre de gluten	100	7.2	74

Los resultados (Tabla 17) indican que el producto obtuvo una calificación de 7.2 y porcentaje de aceptación de 74%; siendo una calificación aceptable considerando que los productos para celíacos no gozan de una buena aceptabilidad sensorial (Álvarez *et al.*, 2010); por lo tanto esta evaluación nos lleva a considerar este producto como una buena opción para su consumo (Anexo 2).

Como parte de la prueba, también se pidió al encuestado anotar un comentario acerca del porqué de su decisión; y en general el resultado fue que, a pesar de contar con un sabor agradable, la falta de sal provocó un muy ligero sabor en el producto. Otros aspectos mencionados fueron la textura suave del producto, sabor similar al pan de caja convencional y falta de esponjosidad; lo que permite concluir que con el simple hecho de modificar el contenido de sal el producto puede ser recibido mucho mejor por el mercado, ya sea celíaco o no.

### 3.6. EVALUACIÓN TEXTURAL DEL PRODUCTO Y DEL PAN COMERCIAL CONVENCIONAL

Se elaboró el análisis del perfil de textura del pan de caja libre de gluten realizado con la formulación definitiva, y del pan de caja blanco Bimbo®, con el fin de conocer las diferencias texturales entre ellos. La prueba para cada producto se repitió un mínimo de 4 veces, y con ello se obtuvieron las gráficas (Figura 19) y los resultados para cada producto (Tablas 18 y 19).

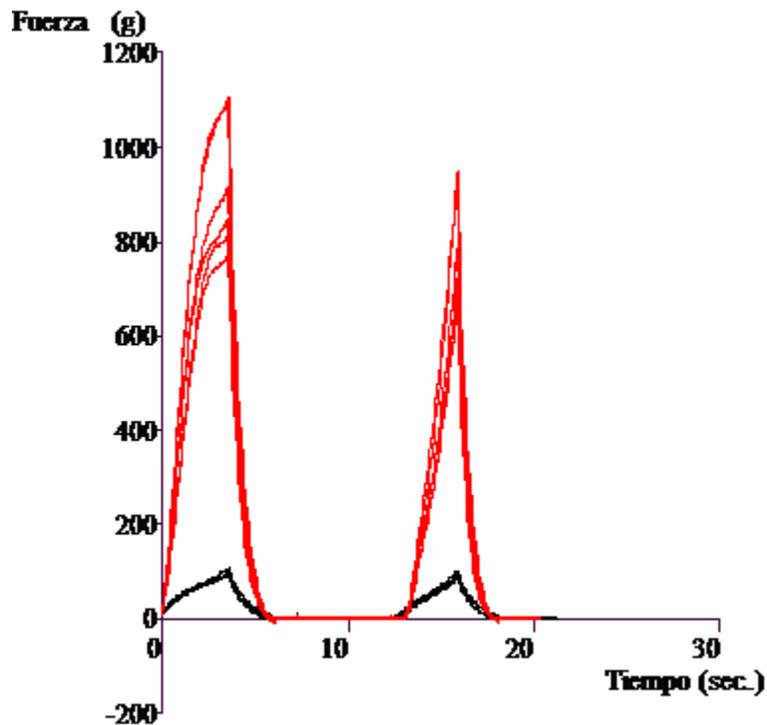


Figura 19. Perfil de textura del pan blanco de caja Bimbo® (en negro) y del pan de caja libre de gluten (en rojo)

Como se observa en la figura 19, la dureza del pan libre de gluten es más de 10 veces mayor que la del pan de caja comercial; por lo que es evidente que no fue posible elaborar un pan con una suavidad similar a la del pan convencional; esto debido principalmente a la ausencia de gluten y la dureza que le confiere la harina de arroz al pan (Gujral y Rosell, 2004).

Tabla 18. Propiedades texturales de las muestras de pan de caja libre de gluten

ID Archivo	DUREZA (g)	ELASTICIDAD INSTANTÁNEA	ELASTICIDAD TOTAL	COHESIVIDAD	MASTICABILIDAD (g)
Promedio	924.274	0.579	0.78	0.429	308.803
Desv. Estándar	119.04	0.01	0.01	0.02	42.99
Coef. Variación	0.129	0.017	0.0112	0.047	0.139

Tabla 19. Propiedades texturales de las muestras de pan de caja convencional comercial (pan blanco Bimbo®)

ID Prueba	DUREZA (g)	ELASTICIDAD INSTANTÁNEA	ELASTICIDAD TOTAL	COHESIVIDAD	MASTICABILIDAD (g)
Promedio	96.118	0.564	0.908	0.665	58.038
Desv. Estándar	5.944	0.055	0.016	0.041	8.365
Coef. Variación	0.062	0.098	0.018	0.062	0.144

En cuanto al resto de las propiedades texturales, podemos observar (Tabla 20) cómo a pesar de contar el producto libre de gluten con una elasticidad instantánea y total similar a la del producto convencional comercial, la cohesividad y masticabilidad son evidentemente mayores en el producto sin gluten; lo cual se debe a la ausencia de gluten y a la dureza que le confiere la harina de arroz a la formulación.

Tabla 20. Propiedades texturales del pan de caja libre de gluten y el pan de caja convencional comercial (pan blanco Bimbo®)

PRODUCTO	DUREZA (g)	ELASTICIDAD INSTANTÁNEA	ELASTICIDAD TOTAL	COHESIVIDAD	MASTICABILIDAD (g)
Pan libre de gluten	924.274 <sup>a*</sup>	0.579 <sup>a</sup>	0.780 <sup>a</sup>	0.429 <sup>a</sup>	308.803 <sup>a</sup>
Pan Bimbo®	96.118 <sup>b</sup>	0.564 <sup>a</sup>	0.908 <sup>a</sup>	0.665 <sup>b</sup>	58.038 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa  $P \leq 0.05$ .

### 3.7. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL PRODUCTO Y DEL PAN COMERCIAL CONVENCIONAL

Para conocer las diferencias entre los componentes químicos del pan de caja blanco convencional (Bimbo®) y el pan libre de gluten elaborado, se llevó a cabo el análisis químico proximal de este último; y los resultados obtenidos se compararon con lo declarado en la información nutrimental del producto comercial, como se observa en la Tabla 21.

Tabla 21. Composición química del pan de caja comercial y del pan de caja libre de gluten (expresados en %)

PAN	HUMEDAD	PROTEÍNA	GRASA	CENIZAS	FIBRA	CHO
DE TRIGO	28.47 ± 0.87 <sup>a*</sup>	8.34 ± 0.43 <sup>b</sup>	2.11 ± 0.09 <sup>b</sup>	3.06 ± 0.01 <sup>b</sup>	4.26 ± 0.11 <sup>b</sup>	53.76 <sup>a</sup>
LIBRE DE GLUTEN	25.93 ± 0.95 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.39 <sup>a</sup>	8.13 ± 0.68 <sup>a</sup>	1.71 ± 0.79 <sup>a</sup>	7.41 ± 1.55 <sup>a</sup>	51.55 <sup>a</sup>

\*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa  $P \leq 0.05$ .

Se puede observar en la tabla 21 que los componentes químicos de ambos panes difieren de manera estadísticamente significativa ( $P \leq 0.05$ ), con excepción de la humedad y los carbohidratos; siendo el producto libre de gluten el que posee la mayor cantidad de fibra gracias al uso de fibra de psyllium, la cual se obtiene de la cáscara de las semillas de las flores de la planta herbácea zaragatona (*Plantago psyllium*) (San Miguel, 2013); y mayor contenido graso debido al uso de leche entera, la cual contiene de 3 hasta 5.5 por ciento de contenido de materias grasas (www.fao.org).

### 3.8. EVALUACIÓN DE LA DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DEL PRODUCTO Y DEL PAN COMERCIAL CONVENCIONAL

La digestibilidad de las proteínas del producto libre de gluten es diferente al pan comercial y esa diferencia es estadísticamente significativa  $P \leq 0.05$  (Tabla 22).

Tabla 22. Digestibilidad *in vitro* del pan de caja comercial y del pan de caja libre de gluten

PAN BIMBO®	PAN LIBRE DE GLUTEN
86.27 ± 2.07 <sup>a*</sup>	77.03 ± 0.34 <sup>b</sup>

\*Diferentes letras entre filas indican diferencia estadísticamente significativa  $P \leq 0.05$ .

Esta diferencia se puede deber a la técnica empleada; ya que en ella, se prepara una solución acuosa con la muestra de pan libre de gluten deshidratado y pulverizado con el fin de añadir enzimas que degraden las proteínas presentes en la muestra, pero su viscosidad es mayor a la solución preparada con el pan Bimbo®, debido a la mayor cantidad de almidón presente en la formulación sin gluten; por lo que, probablemente, el desplazamiento de las enzimas en esa solución se ve afectado y en consecuencia, su actividad (Ovando, 2007).

Todo lo anterior llevó a concluir que la formulación de pan de caja libre de gluten, a pesar de poseer características físicas, texturales y químicas diferentes en general a las de un pan convencional, debido su adecuada aceptación y nivel de agrado por parte del consumidor se puede considerar una buena opción para las personas intolerantes al gluten y para no celiacos cuya dieta sea libre de gluten.

#### 4. CONCLUSIONES

- Se determinó que, estadísticamente, el pan de caja libre de gluten con la formulación conformada por 40 g de almidón de trigo por cada 60 g de harina de arroz, 2% de hidroxipropilmetilcelulosa base seca y 2% de fibra de psyllium es el que tiene las mejores características físicas (altura y volumen específico).
- El producto posee características sensoriales similares al pan de caja convencional, obteniendo un 74% de aceptación entre los consumidores y una calificación general de 7.2.
- Texturalmente, a pesar de poseer el producto libre de gluten una similitud en su elasticidad y cohesividad con el pan de trigo comercial, difiere considerablemente en la dureza y masticabilidad, siendo el producto obtenido más duro y difícil de masticar debido a la ausencia de gluten en el mismo. Por lo tanto, se recomienda compararlo con panes libres de gluten existentes o con panes rústicos, en el mercado en vez de convencionales.
- El producto obtenido fue evaluado en su composición química y comparado con el pan blanco de caja Bimbo®, lo que resultó en un producto con una calidad nutrimental adecuada, pero diferente a la del producto comercial; por lo que se recomienda modificar la formulación usando leche descremada con el fin de reducir el contenido lipídico del mismo.
- En cuanto a la calidad nutrimental, el producto obtenido presentó una menor digestibilidad *in vitro* de sus proteínas que el producto comercial. A pesar de ello, la digestibilidad de las proteínas en el pan sin gluten es adecuada debido a no diferir considerablemente con la del pan comercial.
- Finalmente, se concluye que se logró obtener un producto de panificación aceptado sensorialmente por el consumidor; sin embargo es necesario complementar este proyecto para obtener un producto con características más deseables y que sea totalmente libre de gluten.

## 5. RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de complementar este proyecto y garantizar que el producto sea apto para enfermos celíacos, es necesario adicionar una enzima proteasa (obtenida de la bacteria *Bacillus subtilis*) al almidón de trigo con el fin de eliminar posibles restos de gluten que se encuentren en el mismo.
- También se recomienda realizar una prueba de detección de gluten para dar certeza total que el producto es libre de esta proteína y pueda comercializarse como tal.
- Para mejorar la aceptación del producto en el mercado, sería adecuado:
  - Aumentar el contenido de sal y de azúcar en la formulación.
  - Someter a una pre-cocción a la harina de arroz mediante una extrusión termoplástica que produzca una alteración de la estructura granular del almidón contenido en la misma; con el fin de mejorar la viscosidad de la fase acuosa de la mezcla y el comportamiento visco-elástico de la masa y lograr una mayor retención de gas durante su fermentación y horneado.
  - Modificar la formulación usando harinas o almidones que aporten una mayor suavidad al producto.
- Garantizar la inocuidad del producto mediante la realización de un análisis microbiológico.
- Determinar la digestibilidad *in vivo* y contenido de micronutrientes para complementar la información nutrimental del producto.
- Finalmente, se recomienda realizar un análisis técnico – financiero, que permita conocer si el producto es viable para su producción a nivel industrial.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- A.I.B., 1999. AIB Standard Procedure. White Pan Bread. American Institute of Baking, Research Department, USA.
- A.O.A.C. (2005). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. Cunnif, P., AOAC International, USA.
- Alvarez, J.L., Arendt, E.K. and Gallagher E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*. 21:106-113
- Anderson, L; Dibble, M.V; Turkki, P.R; Mitchel, H.S; Rynbergentt. (1988) *Nutrición y dieta del cuerpo*. Ed. Interamericana. pp 730.
- Archivos digitales de la ciudad de Chillicothe. 2003. Una rebanada de historia (en línea). Ohio, USA. Consultado 10 mayo, 2015. Disponible en <http://www.chillicothe.org/bread/breadnews1.html>.
- ASCE, (2001) Asociación de Celiacos de España, La enfermedad Celiaca; Manual del Celiaco de España. Madrid. Disponible en: <[www.celiacoonline.com](http://www.celiacoonline.com)>
- Asociación de celíacos de Madrid. (2007). Todo sobre la enfermedad celíaca. España, 1º edición, ed. Consejería de Sanidad y Consumo, 159 pp.
- Asociación de Celiacos de México. Acelmex. (2007), Disponible en: <[www.directoalpaladar.com](http://www.directoalpaladar.com)>
- Astiasáran, A.I y Martínez, H.A. (2000). *Alimentos Composición y propiedades* Ed. Mc Graw Hill Interamericana. España. 364 pp.
- Badui, D.S. (2006). *Química de los alimentos*. México, 4º edición, ed. Pearson Educación, 716 pp.
- Barros, Cristina y Del Villar, Mónica. (1992). "El Santo olor de la Panadería". México, ed. CONACULTA. 95 pp.
- Bender, A.D (1995). *Introducción a la Nutrición y el Metabolismo*. Department of Biochemistry and Molecular Biology; University College London. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 347 pp.
- Bernabé, Carlos J. (2009). Influencia de los componentes de la harina en la panificación (2009). INDESPAN SL, 2-5.
- Bryant, R. J.; Kadan, R. S.; Champagne, E.T; Vinyard, B.T.; Boykin, D.; Functional and digestive characteristics of extruded rice flour, *Cereal Chemistry*: 78(2), 131-137 (2011).
- Buitrón, P.M.A. (2006). Principales aditivos usados en panificación: Parte I. *Industria Alimentaria*. 28(5): 26-29.

- Buitrón, P.M.A. (2006). Principales aditivos usados en panificación: Parte II. *Industria Alimentaria*. 28(26): 36-39.
- Cabrera-Chávez F, Calderón dela, Barca AM (2010). Trends in wheat technology and modification of gluten proteins for dietary treatment of coeliac disease patients. *J. Cereal Sci.* 52: 337-341.
- Calaveras, J. (2004), *Nuevo Tratado de Panificación y bollería*. 2da. Edición AMV Ediciones Multiprensa, Madrid. pp 622.
- Calvel, R. 1983. *La Panadería Moderna*. Ed. América Lee, Buenos Aires.
- Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo [CANIMOLT]. (2011). *Estructura del grano* (en línea). Distrito Federal, MX. Consultado 17 abril, 2015. Disponible en <http://www.canimolt.org/trigo/estructura-del-grano>.
- Cámara Nacional de la Industria Panificadora y Similares de México [CANAINPA]. (2009). *Situación actual de la industria de la panificación en México* (en línea). México. Consultado 21 abril, 2015. Disponible en <http://www.canainpa.com.mx/>
- Catássi, C; Fasano A. (2008). Manifestaciones clínicas y funcionales de la enfermedad celiaca. Disponible en: <http://www.celiac.org/spanish-brochure.php>
- Cauvain, S.P. y Young L.S. (2008). *Productos de panadería. Ciencia, tecnología y práctica*. 1° edición, editorial Acribia, España.
- Champagne, E. T.; Current applications of rice starch, *Cereal Foods World*: 41(11), 833-838 (1996).
- Charley, H. (2009). *Tecnología de Alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos*. México, Limusa, 767 pp.
- Chávez, B.J.A. (2010). Enfermedad celiaca en México. *Revista de Gastroenterología de México* (75): 238-240.
- Cheftel, J.C; CUQ, J.L; Lorien, D. (1989) *Proteínas Alimentarias, Bioquímicas propiedades funcionales- valor nutricional- modificaciones químicas*. Ed. Acribia ,España. pp 346.
- Codex Alimentario (1983). *Proyecto de norma revisada para alimentos exentos de gluten (CÓDEX STAN 118-1983)*.
- Codex Alimentario (1985). *CÓDEX STAN 146-1985 Norma General para el Etiquetado- Declaración de Propiedades de Alimentos preenvasados para régimen Especial*.
- CreatiVegan. 2010. *Los arroces* (en línea). España. Consultado 2 mayo, 2015. Disponible en <http://www.creativegan.net/archives/los-arroces/>.

Cuomo, A; Romano, M; Rocco, A; Budillon, G; Del Vecchio, B.C; Nardone. (2003) Reflux oesophagitis in adults coeliac disease: beneficial effects of gluten free diet. BMJ Publishing Group & British Society of Gastroenterology (MedLine), pp 514 - 517.

Dendy, D. y Dobraszczyk, B.J. (2001). Cereal and cereal products: Chemist and Technology. USA, An Aspen Publication, 537pp.

El Economista. 2012. Consumo de pan cayó 13% en 10 años por cambios en dieta (en línea). Distrito Federal, MX. Consultado 21 abril, 2015. Disponible en <http://eleconomista.com.mx/industrias/2012/08/12/consumo-pan-cayo-13-10-anos-cambios-dieta>

El Financiero. (2014). Importado, el 80% de arroz que se consume en México. Distrito Federal, MX. Consultado 13 agosto, 2015. Disponible en <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/importado-el-80-de-arroz.html>

Eliasson, A.CH; Larsson, K. 1993. Cereals in Breadmaking: A Molecular Colloidal Approach. Ed. Marcel Dekker, New York.

En Forma 180. 2011. 5 pros y contras de consumer gluten (en línea). Distrito Federal, MX. Consultado 13 abril, 2015. Disponible en <http://enforma.salud180.com/nutricion-y-ejercicio/5-pros-y-contras-de-consumir-gluten>

Farahnaky, A.; Askari, H.; Majzoobi, M.; Mesbahi, G. (2010). The impact of concentration, temperature and pH on dynamic rheology of psyllium gels. Journal of Food Engineering, 100(2), 294-301.

Fennema O.R. (2010). Química de los alimentos. Zaragoza, 3° edición, ed. Acribia, 1154 pp.

Financiera Rural. (2011). Monografía del trigo grano. Fecha de consulta: 13 de Septiembre de 2013. Disponible en: [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaTrigo\(abr11\)vf.pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaTrigo(abr11)vf.pdf)

Financiera Rural. (2011). Monografía del trigo grano (en línea). México. Consultado 20 abril, 2015. Disponible en [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaTrigo\(abr11\)vf.pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaTrigo(abr11)vf.pdf).

Fox, B.A y Cameron, G.A. (2000). Ciencia de los Alimentos, Nutrición y Salud. México, Ed. Limusa; Grupo Noriega Editores, pp 457.

Gallagher, E., Gormley, T., Arendt, E. 2003. Crust and crumb characteristics of gluten free breads. Journal of Food Engineering. 56:153–161.

Gerrard, J.A y Sutton, K.H. (2005) Addition of transglutaminase to cereal products may generate the epitope responsible of Celiac Disease. Trends in food Science and Technology; 16 (111): 510-512.

Gímenez, S; Isola, M; Boerr, A L; Luna, P; Moahidle, A. (2002). Enfermedad Celiaca en el adulto. Prevalencia en una población de riesgo. Estudio descriptivo y retrospectivo de pacientes del Hospital Alemán de Buenos Aires. Curso de Investigación AMA, Servicio de Gastroenterología del Hospital Alemán de Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <[http://www.ama-med.org.ar/curso\\_articulos.asp](http://www.ama-med.org.ar/curso_articulos.asp) >

Gómez, M y Bonastre, O. (2005) Elaboración de productos para enfermos celíacos. Revista Tecnológica e Higiene de los Alimentos, 365: 40-45.

Grupo Bimbo. 2013. Pan sin gluten (en línea). España. Consultado 21 abril, 2015. Disponible en <http://www.bimbo.es/productos/sin-gluten/bimbo-pan-sin-gluten>.

Gujral, H.S. y Rosell, C.M. (2004) Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. Food Research International 34, 75 – 81.

Gutiérrez, D. y Villanueva, O. (2003). La información al consumidor en los productos dietéticos. Una aportación a la Seguridad Alimentaria. España, Díaz de Santos, pp. 175, 217.

Hager, A. S.; Arendt, E. K. (2013). Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. Food Hydrocolloids, 32(1), 195-203.

Hamer, R.J. (2005), Coeliac Disease: Background and biochemical aspect Biotechnology Advances; 23(6): 401-408.

Haque, A.; Richardson, R. K.; Morris; E. R.; Gidley, M. J.; Caswell, D. C. (1993). Thermogelation of methylcellulose. Carbohydrate Polymers. 22(3), 175-186.

He, H., Hosney, R.C. (1991). Gas retention of different cereal flours. Cereal Chemistry, 68, 334-336.

Hsu, H.W., Vavak D.L., Satterlee I. D., Miller G.A., (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. Journal Food Science. 42(5):1269-1273.

Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zuribán (INNSZ) (1999). Dieta Designada para Enfermedad Celiaca del Departamento de Dietología del INNSZ. Material elaborado para Enfermos Celíacos.

Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zuribán (INNSZ) (2007). Datos de incidencia de la enfermedad celiaca y tratamientos. (Datos no publicados del departamento de Gastroenterología).

ISPCH, (2006). Instituto de Salud Pública de Chile. Especial de Enfermedad Celiaca. Disponible en: <[www.ispch.cl/documentos/tenga/celiaca.pdf](http://www.ispch.cl/documentos/tenga/celiaca.pdf)>

Juliano, B. O. 1985. Rice Chemistry and Technology. 2nd Edition. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA; 774 p.

Kadan, R. S. y A. B. Pepperman. (2002). Physicochemical properties of starch in extruded rice flours. Cereal Chemistry: 79(4), 476-480.

Kent, N.L. (1971). Tecnología de los cereales. España. Acribia, 267 pp.

Lazariduo, A; Duta, D; Papageorgiou, M; Belc, N; Biliaderis, C.G. (2006) Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. Journal of food Engineering. 79:1033-1047.

Mazza, G. (2000) Alimentos Funcionales Aspectos Bioquímicos y de Procesado, Ed. Acribia. España. 457 pp.

Mena, M. C.; Lombardía, M; Hernando A.; Méndez, E; Albar, J.P. (2012). Comprehensive analysis of gluten in processed foods using a new extraction method and a competitive ELISA based on the R5 antibody. Talanta, 91, 33-40.

Merino S., Cristina. (2013). Mejora de la calidad de panes sin gluten a través de la mezcla de almidones y harinas. Universidad de Valladolid. España. 33 pp.

Murray, J.A; Watson, T; Clearman, B; Mitros, F. (2004) Effect of a gluten –free diet on gastrointestinal symptoms in Coeliac Disease. American Journal of Clinical Nutrition. 79 (4):669-673.

Mustalahti, K. (2002). Gluten- free diet and quality of life in patients with screendetected Celiac Disease. Effective Clinical Practice, American College of Physicians - American Society of International Medicine, pp. 105-113.

Norma mexicana, NMX-F-159-S-1983. Alimentos. Pan blanco de caja.

Norma Oficial Mexicana, NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Producción y productos lácteos (en línea). Estados Unidos. Consultado 12 octubre, 2015. Disponible en <http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/leche-y-productos-lacteos/composicion-de-la-leche/es>

Ovando, Maribel. Digestibilidad in vitro del almidón en espagueti adicionado con almidón de plátano, en Congreso de Ciencia de los alimentos (9º, 2007, Morelos, México). pp. 71-77.

Oxford University Press. 2015. Definición de arroz en español (en línea). Oxfordshire, Inglaterra. Consultado 2 mayo, 2015. Disponible en <http://www.oxforddictionaries.com/es/definicion/espanol/arroz>.

Phillips, G.O.; Williams, P.A. (2009). Handbook of hydrocolloids. Estados Unidos. CRC Press, 450 p.

Phimolsiripol, Y., Mukprasirt, A., y Schoenlechner, R. (2012). Quality improvement of ricebased gluten-free bread using different dietary fiber fractions of rice bran. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 389-395.

Polanco, A.I. (2008). Libro blanco de la enfermedad celíaca. Madrid, editorial ICM, 157pp.

Quaglia, G. (1991). Ciencia y tecnología de la panificación. España. Acribia, 85 pp.

Rern, D. (1971). Tecnología de Cereales. Primera Edición. Editorial Perfamon Press. Inglaterra, Oxford. 181-186, 241-243.

Rodríguez, M.Y. (2003). Calidad en las organizaciones. Evaluación sensorial como herramienta para el control de calidad en una industria alimenticia. Tesis Licenciatura Ingeniería Química, FESC.

Ruiz J. (2005). Textura de músculos de cerdo y de jamón curado con distintos niveles de NaCl, pH y contenido de agua” Tesis de Doctorado (Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos). Universidad Autónoma de Barcelona. pp. 170.

San Miguel, M. A. (2013). Influencia de la hidroxipropilmetilcelulosa, el psyllium y su combinación en las propiedades morfogeométricas y texturales de panes sin gluten elaborados con harinas de arroz. Tesis de Maestría, Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos, Universidad de Valladolid, Valladolid, España.

Sánchez, H. D.; González, R. J.; Osella, C. A.; Torres, R. L.; De la Torre, M. A. G. (2008). Elaboración de pan sin gluten con harinas de arroz extrudidas. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 6:2, 109-116.

Schuppan, D. (2000). Current concepts of celiac disease pathogenesis. *Gastroenterology* 119: 234-242.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Plan Rector Sistema Productivo Nacional Trigo (en línea). Distrito Federal, MX. Consultado 20 abril, 2015. Disponible en <http://www.amsda.com.mx/PRNacionales/Nacionales/PRNtrigo2.pdf>

Serna, S. (2003). Química, almacenamiento e industrialización de cereales. Ed. AGT EDITOR, México. pp. 521.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2015. Cierre de la producción agrícola por cultivo (en línea). México. Consultado 21 mayo, 2015. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.

Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera – Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SIAP-SAGARPA]. (2012). Producción agrícola nacional. Fecha de consulta: 27 de Febrero de 2015. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>

Specher, S.M.A. (2005). Desarrollo de un producto de panificación apto para ser consumido por personas con esprue celíaco. Tesis maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala.

Stepniak, D. y Koning, F. (2006), Enzymatic gluten detoxification: the proof of the pudding is in the eating Trends in Biotechnology, 24 (10):433-434.

Universidad Nacional del Santa. 2013. Anatomía, Morfología y Fisiología de granos y semillas (en línea). Santa, Perú. Consultado 20 abril, 2015. Disponible en [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/tercer\\_clase.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/curzoz/tercer_clase.pdf)

Vergara, H.J. (2004). Guías Clínicas para la Enfermedad Celiaca; Centro de Salud de Polígono; SAS, Sevilla España.

Yepez, G.J.R., (2003). Evaluación de propiedades físicas y texturales del pan grande de Acambaro tipo tallado de siete diferentes fabricantes, Tesis Licenciatura Ingeniería en Alimentos, FESC.

Quaglia, G. (1991) Ciencia y Tecnología de la panificación. Ed. Acribia, S.A, España. pp 485.

Zandonadi, R. P., Assuncao Botelho, R. B., & Coelho Araujo, W. M. (2009). Psyllium as a Substitute for Gluten in Bread. Journal of the American Dietetic Association, 109(10), 1781-1784.

## 7. ANEXOS

- ANEXO 1. CUESTIONARIO PARA LA PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO

<b>PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO</b>		<b>No.____</b>
<b>EDAD:</b> _____	<b>SEXO:</b> Hombre    Mujer	<b>FECHA:</b> _____
<b>INSTRUCCIONES:</b> Pruebe el pan y sobre la línea indique con una <b>X</b> su nivel de agrado. Posteriormente, explique brevemente por qué tomó esta decisión.		
ME DISGUSTA MUCHO   -5	ME ES INDIFERENTE 0	ME GUSTA MUCHO +5
<b>¿Por qué?</b> _____		
<b>¡GRACIAS!</b>		

- ANEXO 2. HOJA DE VACIADO DE DATOS

Prueba de nivel de agrado para el pan de caja libre de gluten realizado con la formulación seleccionada.

Escala de calificación: -5 = ME DISGUSTA MUCHO a 5 = ME GUSTA MUCHO

#	EDAD	SEXO	EVALUACIÓN
1	24	H	8.1
2	22	M	8.5
3	24	H	6.2
4		H	7.2
5	22	H	6.4
6	26	M	9.5
7	28	M	5.9
8	50	M	6.7
9	45	M	5
10	48	M	8.9
11	28	H	7.5
12	25	M	7.3
13	51	M	5
14	21	H	8.5
15	22	H	9.2
16	24	H	5
17	27	H	10
18	18	M	10
19	18	M	7.7
20	18	H	8.8
21	20	M	10
22	19	M	7.2
23	20	M	9
24	20	M	8.6
25	18	M	10
26	19	M	4.2
27	19	H	4.8
28	23	M	5
29	18	H	5
30	24	H	5
31	18	M	7.4
32	22	H	5
33	18	H	6.9
34	21	H	6
35	18	H	7.8
36	19	M	8.5
37	21	M	0
38	18	H	7.7
39	19	H	6.9
40	20	M	5
41	18	H	5
42	18	M	5
43	28	M	6.6
44	20	M	5.6
45	19	M	5
46	21	M	7
47	18	H	8.2
48	22	M	8.8
49	19	H	8
50	20	H	8
51	22	H	10
52	19	M	5
53	20	M	8.5
54	19	H	6.2
55	24	M	3
56	19	M	7.5
57	18	H	8.3
58	19	H	6.9
59	18	H	6.4
60	19	M	5
61	19	M	10
62	18	H	9
63	22	H	9.4
64	20	H	9
65	26	H	8.3
66	20	H	5
67	21	H	7.4
68	27	M	5.4
69	19	H	6.3
70	22	H	5
71	21	M	8
72	23	H	7.5
73	20	H	6.8
74	27	M	7
75	22	H	5
76	21	H	6.9
77	21	H	7.2
78	20	M	8.9
79	20	M	9.4
80	20	H	8
81	20	H	8.9
82	18	M	8.8
83	19	M	8
84	18	M	7.3
85	19	M	9.1
86	21	M	9
87	21	H	8.5
88	26	M	5
89	26	M	5.7
90	25	M	8.8
91	25	M	8.7
92	20	H	7.5
93	17	M	5.5
94	21	M	7.7
95	22	M	10
96	19	H	7.5
97	23	M	5.5
98	22	H	8.3
99	18	H	8.5
100		H	6.4

% ACEPTACIÓN = 74 CALIFICACIÓN GENERAL = 7.2

• ANEXO 3. DESCRIPTORES OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL

ASPECTOS POSITIVOS		ASPECTOS NEUTROS		ASPECTOS NEGATIVOS	
Sabor agradable	19	Sabor a bolillo	1	Corteza dura	1
Frescura	4	Sabor a levadura	1	Textura seca	2
Textura suave	7	No sabe a leche	1	Ligero resabio	2
Sabor a pan blanco convencional	7	Sabor diferente a otros panes	2	Ligero sabor crudo	1
Mejor sabor que otros panes de caja	1	Sabor natural /neutro / "light"	2	Harinosa	1
No se pega en el paladar	3			Granuloso	1
No se siente grasoso	1			Falta esponjosidad	9
Consistencia agradable	1			Un poco gomoso	2
Color agradable	1			Le falta sabor	24
No es demasiado dulce	1			Falta suavidad	6
Esponjoso	1			Chicloso	1
				Le falta sal	12
				Le falta azúcar	5
				Le falta consistencia	4
				Pastoso	1
				Le falta firmeza	1
				Un poco húmedo	1
				Cocimiento irregular	1
				Un poco seco	2
				Insípido	2
				Duro	1
				Sabor extraño	1
				Le faltó cocción	1
				Le sobra sal	1