



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



# DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PANES LIBRES DE GLUTEN ADICIONADOS CON DIFERENTES LEGUMINOSAS.

## TESIS

Que para obtener el Grado de  
Maestro en Ciencias en Ingeniería Bioquímica

**PRESENTA**

**IBQ. Lorena Mondragón Reinoso**

Dra. María Eva Rodríguez Huevo, Directora de Tesis

Dra. María Aurora Martínez Trujillo, Asesora

Dra. Lilia Arely Prado Barragán, Asesora

Ecatepec de Morelos, Estado de México, Noviembre 2017

© Derechos reservados Lorena Mondragón Reinoso y María Eva Rodríguez Huevo, MMXVII.  
Este material puede ser utilizado respetando la atribución de la autoría de acuerdo a la licencia de Atribución-No  
Derivadas de Creative Commons

<http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.5/mx/>



DIRECCIÓN ACADÉMICA  
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA  
PROGRAMA DE POSGRADO: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA

Folio: **MCIBQ/2015/MORL870509**

Fecha: 07 de Noviembre del 2017

Después de las revisiones, observaciones y seguimiento de recomendaciones hechas al proyecto de tesis: Diseño y evaluación de panes libres de gluten adicionados con diferentes leguminosas, que como requisito para obtener el grado de maestría presenta

<b>MONDRAGÓN</b>	<b>REINOSO</b>	<b>LORENA</b>
Apellido paterno	Apellido materno	Nombres (s)

Matrícula: 201521094

El Director de Proyecto **Dra. MARÍA EVA RODRÍGUEZ HUEZO** da por concluido su desarrollo para proceder a la impresión del trabajo correspondiente y la defensa pública del mismo.

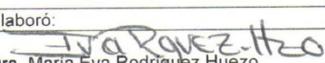
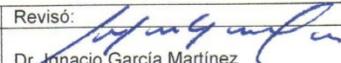
Vo. Bo. COMITÉ TUTORIAL

  
**Dra. María Eva Rodríguez Huevo**  
 Director

  
**Dr. Lilia Arely Prado Barragán**  
 Asesor

  
**Dra. María Aurora Martínez Trujillo**  
 Asesor



Elaboró:  Dra. María Eva Rodríguez Huevo Director de Proyecto	Revisó:  Dr. Ignacio García Martínez Coordinador de Posgrado	Vo. Bo.:  M. en IQ. Judith Cervantes Ruiz Jefe de División
--	---	---

DIRECCIÓN ACADÉMICA  
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA  
PROGRAMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA BIOQUÍMICA

Fecha: 6 de Noviembre del 2017

Datos generales  
Nombre del alumno:

<b>MONDRAGÓN</b>	<b>REINOSO</b>	<b>LORENA</b>
Apellido paterno	Apellido materno	Nombres (s)

Matrícula: 201521094

PROYECTO: Diseño y evaluación de panes libres de gluten adicionados con diferentes leguminosas

DIRECTOR: Dra. María Eva Rodríguez Huezco

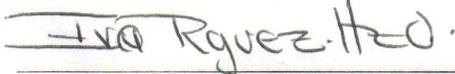
**Dictamen:**

Con base en el registro No. MCIBQ/2015/MORL870509 correspondiente al periodo escolar 2015-02, asignado al proyecto de tesis Diseño y evaluación de panes libres de gluten adicionados con diferentes leguminosas y presentado por el alumno referido; y después de haber sido desarrolladas las actividades requeridas, el Comité Tutorial, conformado por los integrantes que firman al calce, ha determinado que SI ( X ) NO ( ) han sido cubiertos en su totalidad los requisitos que permitan a esta División Académica liberar al alumno de los trámites académicos para tal efecto e iniciar el trámite de obtención de grado de maestría en la Unidad de Registro y Certificación de este Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec.

Observaciones:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Comité Tutorial

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. María Eva Rodríguez Huezco**  
Director

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Lilia Arely Prado Barragán**  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. María Aurora Martínez Trujillo**  
Asesor



<p>Elaboró:</p> <p style="font-size: small;">Dr. Ignacio García Martínez Coordinador de Posgrado</p>	<p>Revisó y Visto Bueno:</p> <p style="font-size: small;">M. en IQ. Judith Cervantes Ruiz Jefe de División</p>	<p>Enterado:</p> <p style="font-size: small;">M. en C. Armando Alcalde Martínez Director Académico</p>
--	--	--



El Posgrado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec está incluido en el Padrón Nacional de Posgrado, con categoría de Alto Nivel, con el número de referencia 1665-0.

Esta Tesis fue realizada con el apoyo de la Beca 583730 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

**Agradecimientos**

Agradezco el apoyo económico brindado por parte del **CONACyT** sin el cual no hubiera sido posible la realización y conclusión de este proyecto.

Agradezco a la **Dra. María Eva Rodríguez Huevo** del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec por la oportunidad de trabajar bajo su dirección, por su paciencia, apoyo, consejos y aportación de conocimientos durante la realización de este proyecto.

Al **Dr. Alfonso Totosaus Sánchez** del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec por permitir realizar las pruebas de textura dentro del Laboratorio de Alimentos 6.

Al **Dr. Jaime Vernon Carter** de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa por permitirme realizar las pruebas reológicas y la utilización de equipos dentro del laboratorio de Bioprocesos.

A **Héctor Carrillo y Samuel** por el apoyo brindado en las mediciones de reología.

Gracias a la **Dra. Keiko Shirai Matsumoto** de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa por permitirme realizar la determinación de proteína dentro de sus laboratorios ubicados en la planta piloto 10. Gracias a **Carmen Hernández y Angélica Espíndola**.

A **Lluvia Mendoza Hernández** por compartir su tiempo, amistad, apoyo y consejos durante el posgrado.

Gracias a los revisores de tesis, la **Dra. María Aurora Martínez Trujillo** del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec y la **Dra. Lilia Arely Prado Barragán** de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa por el tiempo dedicado a la lectura y aportación de conocimientos durante este proyecto.

**Dedicatorias**

*Este trabajo lo dedico principalmente a mis hijas **Fernanda y Natalia** para que siempre recuerden que “el querer, es poder”. Que no se limiten, que se fijen metas en esta vida, pero sobre todo que cumplan sus sueños.*

*A mi esposo **Aurelio** por su apoyo durante estos años de estudio, gracias por alentarme a seguir adelante, por el compromiso y ayuda; sin duda alguna una pieza fundamental.*

*A mi madre (**Petra Reinoso**) ya que sin su ayuda no hubiera podido realizar el posgrado. Gracias por cuidar a mis hijas, por los consejos, la motivación, fortaleza, apoyo, cariño, por eso y tantas cosas más muchas gracias.*

*A mi hermano **Gerardo** por su cariño, consejos y apoyo incondicional.*

**Índice**

0	RESUMEN Y ABSTRACT .....	2
0.1	Resumen .....	2
0.2	Abstract .....	4
1	INTRODUCCIÓN .....	6
2	JUSTIFICACIÓN.....	9
3	OBJETIVOS.....	11
3.1	Objetivo general .....	11
3.2	Objetivos particulares .....	11
4	ANTECEDENTES.....	12
4.1	Introducción a la enfermedad celíaca .....	12
4.1.1	Modelo de Iceberg .....	12
4.1.2	Mecanismos de la enfermedad .....	13
4.1.3	Tratamiento.....	15
4.2	Clasificación de las proteínas del gluten.....	15
4.3	Antecedentes de alimentos sin gluten.....	17
4.4	Pan sin gluten.....	19
4.4.1	Ingredientes y su función en el pan.....	20
4.4.1.1	Harina.....	20
4.4.1.2	Agua.....	20
4.4.1.3	Levadura .....	21
4.4.1.4	Edulcorantes.....	21
4.4.1.5	Sal.....	22
4.4.1.6	Materia grasa.....	22
4.4.1.7	Leche en polvo .....	22
4.4.1.8	Emulsionantes .....	23
4.4.1.9	Gomas e hidrocoloides .....	23
4.4.1.10	Agentes conservantes .....	24
4.5	Cereales.....	24
4.5.1	Maíz.....	27
4.5.1.1	Estructura del maíz.....	28

4.5.1.2	Almidón de maíz.....	29
4.5.1.3	Producción de maíz.....	30
4.5.2	Arroz.....	30
4.5.2.1	Estructura del arroz.....	31
4.5.2.2	Composición nutricional de arroz.....	32
4.5.2.3	Producción de arroz.....	32
4.6	Leguminosas.....	33
4.6.1	Promotores de flatulencia.....	36
4.6.2	Lenteja ( <i>Lens culinaris</i> L.).....	37
4.6.2.1	Composición nutricional de lenteja.....	38
4.6.2.2	Producción de lenteja.....	38
4.6.3	Soya ( <i>Glycine max</i> L.).....	39
4.6.3.1	Composición nutricional de soya.....	39
4.6.3.2	Producción de soya.....	41
4.6.4	Alberjón ( <i>Vicia narbonensis</i> L.).....	42
4.6.4.1	Composición nutricional del alberjón.....	42
4.6.4.2	Producción de alberjón.....	43
5	MATERIALES Y MÉTODOS.....	44
5.1	Materiales.....	45
5.2	Métodos.....	45
5.2.1	Elaboración de harinas.....	45
5.2.1.1	Harina de arroz.....	46
5.2.1.2	Harina de leguminosas.....	46
5.2.2	Análisis fisicoquímico de harinas.....	48
5.2.2.1	Humedad.....	48
5.2.2.2	Cenizas.....	49
5.2.2.3	Grasa.....	50
5.2.2.4	Proteína.....	52
5.2.3	Diseño de formulaciones.....	54
5.2.4	Elaboración de panes libres de gluten.....	55
5.2.5	Análisis fisicoquímico de los panes.....	57
5.2.5.1	Humedad.....	57

---

5.2.5.2 Cenizas .....	58
5.2.5.3 Grasa.....	58
5.2.5.4 Proteína.....	58
5.2.6 Determinación de volumen específico.....	58
5.2.7 Pérdida de peso por horneado y rendimiento (%) .....	60
5.2.8 Descripción de la estructura de la miga .....	61
5.2.9 Análisis de Perfil de Textura (APT) .....	62
5.2.10 Reología de las masas.....	64
5.2.11 Evaluación de color.....	65
5.2.12 Análisis microbiológico.....	67
5.2.13 Análisis sensorial .....	68
5.2.14 Análisis estadístico .....	69
<b>6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>70</b>
6.1 Análisis fisicoquímico de harinas.....	70
6.2 Análisis fisicoquímico de los panes .....	71
6.3 Determinación de volumen específico .....	73
6.4 Pérdida de peso por horneado y rendimiento (%).....	76
6.5 Descripción de la estructura de la miga .....	77
6.6 Análisis de Perfil de Textura (APT).....	80
6.7 Reología de las masas .....	86
6.7.1 Propiedades de flujo .....	86
6.7.2 Propiedades de oscilación .....	88
6.8 Evaluación de color .....	91
6.9 Análisis microbiológico .....	95
6.10 Análisis sensorial.....	96
<b>7 CONCLUSIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>8 ANEXOS .....</b>	<b>100</b>
8.1 Formato utilizado en la evaluación sensorial prueba de aceptación (Acceptance Test).....	100
8.2 Reconocimiento de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, A.C.....	101
<b>9 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>108</b>

**Índice de Tablas**

Tabla 1. Síntomas de la enfermedad celíaca ..... 12

Tabla 2. Contenido de prolaminas de diferentes cereales..... 16

Tabla 3. Valor nutricional de algunos cereales..... 26

Tabla 4. Contenido nutrimental del arroz (*Oryza sativa*) ..... 33

Tabla 5. Contenido nutrimental de lenteja (*Lens culinaris L.*) ..... 38

Tabla 6. Composición de aminoácidos presentes en Harina de soya (*Glycine max L.*)... 40

Tabla 7. Contenido nutrimental de soya (*Glycine max L.*) ..... 41

Tabla 8. Contenido nutrimental de alberjón (*Vicia narbonensis L.*)..... 43

Tabla 9. Contenido de ácidos grasos de *Vicia narbonensis*. ..... 43

Tabla 10. Tiempo de cocción de las leguminosas..... 47

Tabla 11. Tiempo de secado de las leguminosas ..... 47

Tabla 12. Formulación de panes expresado en % Base harina ..... 54

Tabla 13. Formulación de panes con mezcla de leguminosas en %Base harina. .... 55

Tabla 14. Análisis fisicoquímicos de harinas ..... 71

Tabla 15. Análisis fisicoquímicos en panes ..... 73

Tabla 16. Pérdida de peso por horneado y rendimiento en panes libres de gluten ..... 77

Tabla 17. Análisis de Perfil de Textura (APT) ..... 85

Tabla 18. Análisis de color en corteza y miga de panes libres de gluten..... 94

Tabla 19. Análisis microbiológico (cuenta de hongos y levaduras) en panes libres de gluten..... 96

**Índice de Figuras**

Figura 1. Modelo de iceberg en la enfermedad celíaca (Celicidad, 2016) ..... 13

Figura 2. Mucosa del intestino delgado (Asociación de Celiacos de Castilla, 2014)..... 14

Figura 3. Pan libre de gluten (Foro de celiacos y relacionados, 2016) ..... 19

Figura 4. Diagrama general de un grano (Araneda M., 2015) ..... 26

Figura 5. Principales cereales utilizados en la alimentación (KidsPress Magazine, 2015) 27

Figura 6. Cultivo de maíz (Imagen editada de Dreamstime, 2016)..... 28

Figura 7. Estructura del grano de maíz (*Zea mays*) (Enciclopedia Británica, 2016) ..... 29

Figura 8. Cultivo de arroz (*Oryza sativa*) (Boilley, D., 2015 )..... 31

Figura 9. Estructura del grano de arroz (*Oryza sativa*) (Enciclopedia Británica, 2016)..... 31

Figura 10. Leguminosas pertenecientes a la familia Leguminosae (Araneda M., 2016) . 34

Figura 11. Semillas de oleaginosas (Green raw cuisine, 2015)..... 35

Figura 12. Estructura química de carbohidratos complejos ..... 37

Figura 13. Protocolo experimental empleado para el desarrollo de ésta investigación..... 44

Figura 14. Muestra de harinas HL, HS, HA y HZ..... 48

Figura 15. Determinación de humedad en harinas..... 49

Figura 16. Calcinación de harinas hasta obtener cenizas ..... 50

Figura 17. Equipo Goldfish utilizado en la extracción de grasa ..... 51

Figura 18. Equipo digestor BÜCHI 426, BÜCHI 412 y BÜCHI 323..... 53

Figura 19. Titulación con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N ..... 53

Figura 20. Elaboración de panes libres de gluten ..... 57

Figura 21. Determinación de volumen en panes..... 60

Figura 22. Texturómetro Brookfield LFRA (Texture Analyzer)..... 62

Figura 23. Curva típica para Análisis de Perfil de Textura (APT) (Banjare *et al.*, 2015). 63

Figura 24. Reómetro compacto modular Physica MCR 300..... 65

Figura 25. Colorímetro AccuProbe HH06..... 66

Figura 26. Incubadora Lab-line ..... 68

Figura 27. Muestras de pan presentadas en la evaluación sensorial ..... 69

Figura 28. Panelistas realizando la evaluación sensorial ..... 69

Figura 29. Volumen específico del pan libre de gluten sin leguminosas y los adicionados (cm<sup>3</sup>/g)..... 76

Figura 30. Estructura de la miga de panes con una sola leguminosa (PA, PS y PL)..... 78

Figura 31. Estructura de la miga de panes con mezcla de leguminosas (PL-A, PS-L y PS-A)..... 79

Figura 32. Estructura de la miga de pan sin adición de leguminosas (PSL)..... 79

Figura 33. Curvas de flujo de las masas ..... 88

Figura 34. Comportamiento reológico de las masas G' y G'' ..... 91

Figura 35. Color de corteza y miga de los panes libres de gluten ..... 93

Figura 36. Aceptabilidad de los panes libres de gluten mediante análisis sensorial..... 98

*Deja que la comida sea tu medicina  
y la medicina sea tu alimento.*

*Hipócrates*

# **DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PANES LIBRES DE GLUTEN ADICIONADOS CON DIFERENTES LEGUMINOSAS**

## **0 RESUMEN Y ABSTRACT**

### **0.1 Resumen**

Se utilizaron harinas de arroz (HZ), lenteja (HL), soya (HS), alberjón (HA) y almidón de maíz (AM); y combinaciones binarias de las harinas de leguminosas (HS-HL, HS-HA y HL-HA) en proporción 1:1 para formular panes libres de gluten. La cantidad total de harina (base harina, BH) en la formulación para producir la masa para panificación fue del 35.14%. Se elaboró un pan control sin leguminosas (PSL) en base a AM:HZ en una proporción 70:30, y seis panes con cada una de las harinas de leguminosas o sus combinaciones binarias, en donde éstas sustituían parcialmente a la BH en un 15%. Los panes resultantes se codificaron como pan de lenteja (PL), pan de soya (PS), pan de alberjón (PA), pan de soya con lenteja (PS-L), pan de soya con alberjón (PS-A) y pan de lenteja con alberjón (PL-A). Se realizaron los análisis fisicoquímicos (humedad, ceniza, grasa y proteína), volumen específico, pérdida de peso por horneado, rendimiento, análisis descriptivo de la miga, análisis de perfil de textura (APT), análisis de color, microbiológico y sensorial a los panes y análisis reológico a las masas.

Los resultados mostraron que los panes adicionados con leguminosas tendieron a disminuir su contenido de humedad respecto al PSL (54.55%), pero presentaron aumento significativo en el contenido de grasa, proteína y cenizas. El volumen específico de los panes presentó diferencia significativa entre los adicionados con leguminosas pero no entre ellos y el PSL. PA tuvo la mayor pérdida de peso por

horneado 17.63% y PS-L la menor con 15.62%. PS-L presentó el mayor rendimiento 84.39% y PA 82.37%. En el Análisis de Perfil de Textura (APT), el PS-L, PS-A y PL-A presentaron mayor elasticidad; PSL y PA mostraron mayor cohesividad y resiliencia pero mayor dureza; los panes PA, PS-L, PSL y PL presentaron masticabilidad más alta (116.49, 115.91, 113.30 y 112.91 Nmm, respectivamente), mientras el PS obtuvo la menor masticabilidad con 70.80 Nmm. La miga de PSL es mucho más compacta, con menor número de celdas y no son homogéneas en tamaño y forma. La corteza de PS y PA presentaron mayor luminosidad ( $L^*$ ), sin embargo, en la miga fue PSL. Todos los panes tendieron a valores positivos de  $b^*$  (amarillo). Respecto a la reología todas las masas presentaron valores mayores del módulo elástico que del viscoso. De acuerdo con el análisis sensorial la aceptación de los panes fue del 95% para PS-A y PL-A, 92.5% para PS-L y PS, 87.5% para PA y PL con 60%. Los panes PL, PS y PA no presentaron crecimiento microbiológico para ningún tiempo de almacenamiento.

## 0.2 Abstract

In this work seven free-gluten breads were produced using rice flour (HZ), lentil flour (HL), soybean flour (HS), broadbean flour (HA) and maize starch (AM), and a binary combination of the legume flours (HS-HL, HS-HA y HL-HA) in a 1:1 proportion. The total amount of flour (Flour base, BH) used for producing the dough was 35.14 % in all cases. To this end, a control bread without legumes flour (PSL) was made with a AM:HZ blend in a proportion of 70:30, and six breads containing legumes flour were made by partially substituting (15 %) of the HZ:AM blend. The resulting breads containing legumes were coded as: lentil bread (PL), soybean bread (PS), broadbean bread (PA), soybean-lentil bread (PS-L), lentil-broadbean bread (PS-A), and lentil-broadbean bread (PL-A). The following bread characteristics were determined: moisture, ash, fat and protein contents, specific volume, weight loss during baking, yield, descriptive analysis of crumb, Texture Profile Analysis (TPA), color analysis, microbiological and sensory analysis. The doughs were characterized rheologically.

The breads containing legumes flour tended to exhibit lower moisture content than PSL (54.55%), but significant higher fat, protein and ash contents. The breads containing legume flour showed significant differences among themselves, but not with respect to PSL. PA suffered the highest weight loss upon baking (17.63%), while PS-L showed the lowest weight loss (15.62%). The highest yield was obtained for PS-L (84.39%) and lowest for PA (82.37%). TPA results indicated that PS-L, PS-A and PL-A displayed higher elasticity; PSL and PA higher

cohesiveness, resilience and hardness; PA, PS-L, PSL and PL higher chewiness (116.49, 115.91, 113.30 and 112.91 Nmm, respectively), while PS showed the lowest chewiness (70.80 Nmm). The crumb of PSL was more compact, showing a lower number of air cells, which were non-homogeneous in size and shape. The crust of PS and PA presented higher luminosity ( $L^*$ ), but highest crumb luminosity was shown by PSL. All the breads tended to display positive  $b^*$  (yellow) values. All the doughs were characterized for showing a higher elastic modulus than loss modulus. Sensory analysis indicated that the acceptability was of 95% for PS-A and PL-A, 92.5% for PS-L and PS, 87.5% for PA, and 60% for PL. PL, PS and PA did not present any kind of microbiological growth during storage.

## 1 INTRODUCCIÓN

El pan de trigo ha sido considerado por siglos como uno de los principales productos alimenticios y se encuentra dentro de los más populares. Es nutricionalmente pobre debido a que las proteínas de cereales son deficientes en aminoácidos esenciales tales como lisina, triptófano y treonina; sin embargo, es ampliamente consumido por la sociedad (Sabanis y Tzia, 2007).

En los últimos años se ha incrementado la producción de panes libres de gluten principalmente por el aumento de personas con enfermedad celíaca, es decir, personas que son intolerantes a las proteínas encontradas en cereales como el trigo, centeno, cebada y avena (Heller, 2009; Demirkesen *et al.*, 2010). Esta enfermedad se caracteriza por ser un trastorno digestivo que daña las vellosidades del intestino delgado encargadas de absorber varios nutrientes como son el hierro, ácido fólico, vitaminas solubles, entre otros (Miñarro *et al.*, 2012). Esta sensibilidad al gluten puede ser causada por factores genéticos, inmunológicos o condiciones ambientales (Demirkesen *et al.*, 2010).

La enfermedad celíaca es una enfermedad autoinmune, se deduce que hay otras enfermedades autoinmunes asociadas con ella. De tal manera que la diabetes, enfermedad de la tiroides, anemia, artritis reumatoide, sacroileitis, sarcoidosis, vasculitis, enfermedad pulmonar, miositis, inflamación de los ojos y esquizofrenia están vinculadas con la intolerancia al gluten (Arendt *et al.*, 2002). Se ha encontrado que el factor patogénico responsable de la enfermedad es la fracción

gliadina del gluten y las prolaminas presentes en cereales como avena, cebada y centeno debido a que los pacientes celíacos no la pueden tolerar (Sivaramakrishnan *et al.*, 2004).

La única solución a este padecimiento es seguir una dieta estricta de productos libres de gluten para toda la vida. Por tal motivo, se debe asegurar la aceptabilidad de los panes libres de gluten, éstos deben de contar con características similares a los panes elaborados a partir de harina de trigo. Sin embargo, actualmente los panes libres de gluten son de mala calidad, su miga es seca y desmoronadiza; y en consecuencia se tiene un sabor pobre y una sensación bucal desagradable (Miñarro *et al.*, 2012). Una alternativa para elaborar pan libre de gluten es mediante la incorporación de almidones, hidrocoloides, diferentes fuentes de proteína animal y vegetal, pero principalmente, de harina libre de gluten.

El gluten es esencial para formar una red fuerte de proteínas requerida para mejorar las características reológicas y viscoelásticas de la masa. Además se encarga de retener el CO<sub>2</sub> producido en la fermentación de la masa y ayudar a obtener el volumen, estructura de la miga y textura deseada en el pan (Lazaridou *et al.*, 2007). La glutenina y prolamina son las principales fracciones del gluten; la prolamina proporciona viscosidad y extensibilidad a la masa, mientras la glutenina se encarga de las propiedades elásticas y cohesivas (Demirkesen *et al.*, 2010; Gujral *et al.*, 2004).

Debido a que la producción de pan libre de gluten presenta grandes dificultades tecnológicas porque sus proteínas carecen de la habilidad para formar una red

fuerte, se han encontrado beneficios asociados a la elaboración de alimentos a partir de leguminosas; lo que ha llevado a sugerir su estudio como una alternativa de harinas comunes para productos libres de gluten. Sin embargo, muy poco se ha podido realizar dentro de los productos horneados (Miñarro *et al.*, 2012).

Las leguminosas son fuente importante de proteínas en los alimentos. Contienen grandes cantidades de lisina, leucina, ácido aspártico, ácido glutámico y arginina, carbohidratos tales como almidón y fibra, vitaminas y minerales; son bajas en grasa y no contienen colesterol (de la Hera *et al.*, 2012). Además proporcionan un perfil equilibrado de aminoácidos esenciales cuando son consumidos con cereales y otros alimentos ricos en aminoácidos sulfurados y triptófano (Miñarro *et al.*, 2012).

Uno de los cereales más adecuados para preparar productos libres de gluten es el arroz; principalmente por la ausencia de gluten, bajos niveles de sodio, proteína, grasa, fibra y alto contenido de carbohidratos fácilmente digeribles, los cuales son deseables en ciertas dietas especiales. Además de tener un sabor suave, color blanco y contar con propiedades hipoalergénicas (Demirkesen *et al.*, 2010).

En este proyecto se pretende diseñar formulaciones de panes de características sensoriales aceptables a partir de una mezcla de cereales libres de gluten, tales como harina de arroz, almidón de maíz y leguminosas como lenteja (*Lens culinaris*), soya (*Glycine max*) y alberjón (*Vicia narbonensis L.*); así como mezclas binarias entre las leguminosas para la evaluación reológica de las masas, caracterización fisicoquímica y textura de los panes.

## **2 JUSTIFICACIÓN**

Actualmente, entre la población existe mayor conciencia sobre la influencia que ejercen los alimentos en la salud y gracias a los avances tecnológicos cada día se encuentra alguna función benéfica o dañina de muchas sustancias que son ingeridas como parte de una dieta normal, como ocurre con el gluten.

De acuerdo con el informe del INEGI 2015, México cuenta con una población de 112.3 millones de personas, de los cuales la organización civil de Celíacos de México, A.C, estima que potencialmente el 0.68% (816 mil mexicanos) están en condición de celíacos; y sólo el 9% de éstos (73 mil 440) han sido diagnosticados con el padecimiento; el 2% (mil 468) se supone son celíacos refractarios, es decir, que no responden a la dieta sin gluten.

A pesar de existir dicha enfermedad, no es muy común encontrar productos para este grupo de personas; en el caso de la producción de pan libre de gluten se debe principalmente a dificultades tecnológicas relacionadas con la poca habilidad de sus proteínas para formar una red semejante a la formada por el gluten, necesaria para retener el gas (CO<sub>2</sub>) producido durante la fermentación y responsable de las propiedades viscoelásticas necesarias en la producción de panes de buena calidad. En México, el pan es considerado como un alimento básico cerca del 90% de la población es consumidora de pan.

Debido al creciente número de pacientes con enfermedad celíaca y a la falta de conocimiento sobre ella, pero principalmente por la carencia de productos libres de

gluten de calidad, es que surge la inquietud de diseñar panes con harinas libres de gluten que cumplan con calidad nutricional y sensorial aceptables.

Por tanto, en este proyecto, la base harina a utilizar en la elaboración del pan libre de gluten se elaboró en base a la adición de cereales (harina de arroz y almidón de maíz) y leguminosas como lenteja, soya y alberjón, así como una mezcla de ellas. Además de aumentar el consumo de leguminosas en la población, el valor proteico de las leguminosas y cereales se ve equilibrado; ya que las proteínas de leguminosas son ricas en lisina, pero deficiente en aminoácidos que contienen azufre; mientras que las proteínas de cereales son deficientes en lisina, pero tienen niveles adecuados de aminoácidos que contienen azufre.

Al combinar cereales y leguminosas se incrementa el valor nutritivo del pan y se tiene un mejor equilibrio de aminoácidos esenciales, obteniendo una harina altamente nutritiva con niveles óptimos de proteína, aminoácidos y minerales necesarios para satisfacer los requerimientos nutricionales de la población celíaca.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Diseñar y evaluar panes libres de gluten con características sensoriales aceptables a partir de harina de leguminosas.

#### **3.2 Objetivos particulares**

Diseñar formulaciones de panes de características sensoriales aceptables a partir de una mezcla de cereales (arroz) libres de gluten y leguminosas (lenteja, soya y alberjón).

Elaborar las harinas de arroz (cereal) y de lenteja, soya y alberjón (leguminosas).

Evaluar el contenido de humedad, cenizas, grasa y proteína de las harinas.

Determinar el módulo elástico y viscoso de las masas preparadas.

Evaluar características fisicoquímicas (humedad, cenizas, grasa, proteína) a los panes.

Evaluar las características de textura y color de los panes.

Cuantificar la presencia de hongos y levaduras en los panes libres de gluten.

Evaluar la aceptación sensorial de los panes.

## 4 ANTECEDENTES

### 4.1 Introducción a la enfermedad celíaca

La enfermedad celíaca (EC), también conocida en otras partes del mundo como enteropatía sensible al gluten, celiarquía, esteatorrea idiopática, mala absorción primaria, enfermedad celíaca adulta, entre otros; es una condición donde el organismo de las personas reacciona a la fracción proteica del gluten, provocando algunos de los síntomas relacionados en la Tabla 1, según la edad.

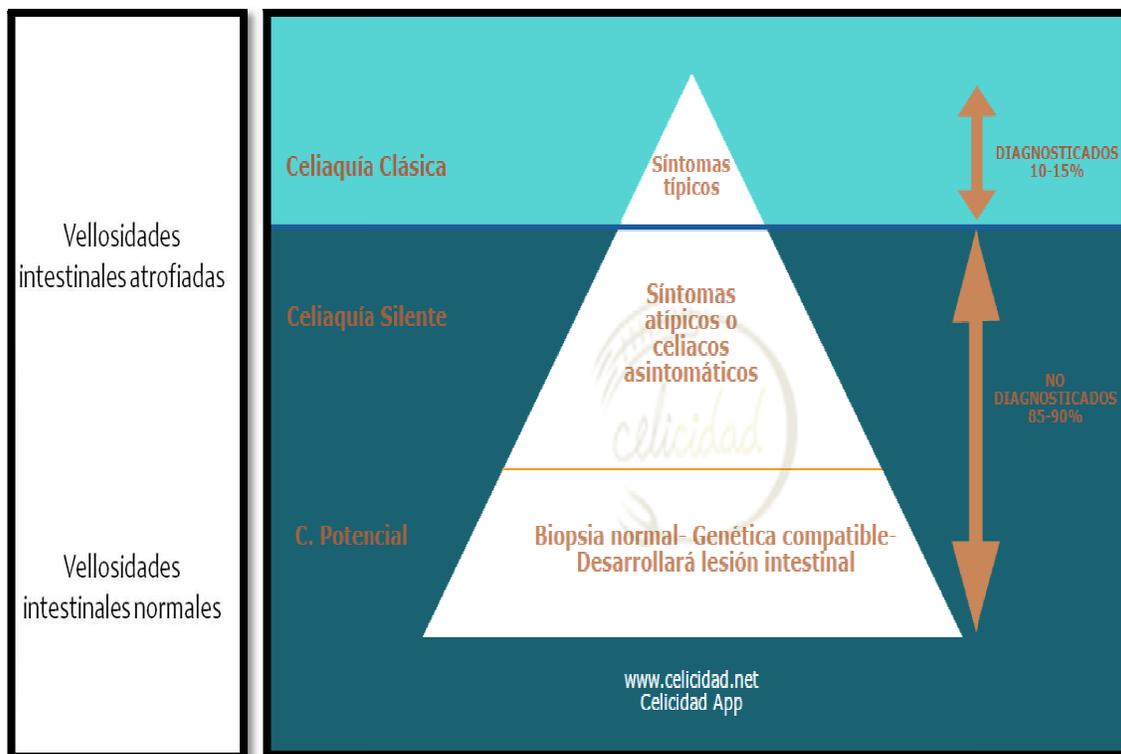
**Tabla 1.** Síntomas de la enfermedad celíaca (Arendt *et al.*, 2002).

Edad	Síntomas y signos relacionados
<i>Niños</i> 0-2 años	Diarrea, distensión abdominal, anorexia, vómito, retraso en el desarrollo (peso bajo, falta de grasa y adelgazamiento del cabello) y deterioro psicomotor (pérdida de masa muscular).
<i>Jóvenes</i>	Diarrea, anemia, pérdida de apetito (estatura baja y osteoporosis)
<i>Adultos</i>	Diarrea, anemia, dolor en lengua y la boca (aftas, glositis, estomatitis), distensión abdominal, fatiga, infertilidad, síntomas neuropsiquiátricos (ansiedad, depresión), dolor en los huesos (osteoporosis) y debilidad.

#### 4.1.1 Modelo de Iceberg

La enfermedad celíaca está muy bien representada por el modelo de iceberg (Figura 1), que conserva la validez en diferentes poblaciones del mundo. El iceberg representa las distintas formas de presentación de la sensibilidad al gluten. La punta del iceberg está formada por pacientes con la enfermedad, la cual

ya ha sido diagnosticada por medio de una biopsia que muestra una mucosa plana. La punta está formada por pacientes que han sido recientemente diagnosticados, los cuales ahora viven libres del gluten y su intestino muestra una mucosa normal. Por debajo de estos pacientes, existe un gran grupo de casos “silenciosos” los cuales no han sido identificados y su mucosa del intestino delgado es plana (sin vellosidades); pueden permanecer sin el diagnostico porque su condición no presenta síntomas.



**Figura 1.** Modelo de iceberg en la enfermedad celíaca (Celicidad, 2016)

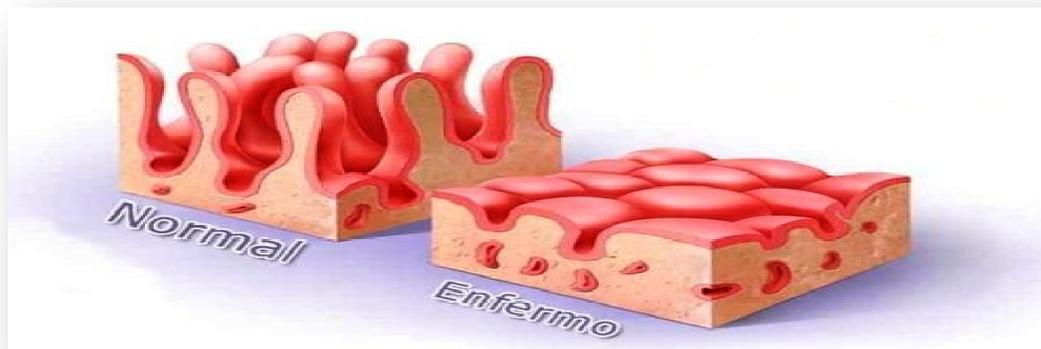
#### 4.1.2 Mecanismos de la enfermedad

Toda la superficie del intestino delgado está cubierta por una capa de células epiteliales, las cuales son renovadas cíclicamente cada cuatro días; a medida que

las células maduran se incrementa su actividad enzimática y capacidad de transporte. Muchas de las enzimas que completan la digestión de los alimentos están asociadas con microvellosidades, éstas incluyen proteasas y disacáridasas (Arendt *et al.*, 2002).

Al consumir trigo, los celíacos sufren una respuesta inmunológica en el intestino delgado, donde se destruyen células epiteliales maduras de la superficie durante su absorción. La destrucción de las células disminuye la altura de las vellosidades (Figura 2), lo que conduce a la mala absorción de nutrientes como son el hierro, ácido fólico, vitaminas solubles, entre otros (Miñarro *et al.*, 2012; Arendt *et al.*, 2002).

La mucosa asume una apariencia plana con la desaparición de las vellosidades y engrosamiento de la superficie, lo que resulta en una disminución de la superficie de absorción. La respuesta inmunológica al gluten también puede ocurrir en otros tejidos del cuerpo, por ejemplo en la dermatitis herpetiformis.



**Figura 2.** Mucosa del intestino delgado de una persona normal y una enferma de celíasis. (Asociación de Celíacos de Castilla, 2014)

---

### **4.1.3 Tratamiento**

El establecimiento de un régimen sin gluten constituye el problema terapéutico fundamental, y una vez confirmado el diagnóstico, deberá mantenerse a lo largo de toda la vida (Polanco, 2015). Por lo tanto, el único tratamiento recomendado para la enfermedad celíaca es eliminar completamente de la dieta el trigo, centeno, cebada y avena; seguido de todos los productos que se elaboran a partir de dichos cereales. El tratamiento con una dieta libre de gluten mejora de manera significativa la mucosa del intestino y su función de absorción.

## **4.2 Clasificación de las proteínas del gluten**

El gluten es una proteína esencial para la formación de una buena estructura de la miga en productos horneados; se encuentra junto con el almidón, en la semilla de los cereales más consumidos a nivel mundial como son el trigo, cebada, centeno y algunas variedades de avena. Existe un amplio número de cereales libres de gluten como maíz, arroz, mijo, sorgo, amaranto y quínoa (Arranz y Garrote, 2011).

Las proteínas de gluten constituyen entre 80-85% de las proteínas de almacenamiento de los cereales y pueden ser separados según su solubilidad en etanol al 40-70%, prolaminas (solubles) y gluteninas (insolubles). Mientras que la función principal de las prolaminas es ofrecer viscosidad y extensibilidad a la masa de harina, las gluteninas son las responsables de la elasticidad y cohesividad, de forma que ambas determinan la calidad del producto final. Las prolaminas (Tabla 2) se caracterizan por tener una composición rica en residuos de prolina y

glutamina; éstas prolaminas reciben diferentes nombres según el cereal que las contenga (Goesaert *et al.*, 2005; Arranz y Garrote, 2011).

**Tabla 2.** Contenido de prolaminas de diferentes cereales (Arranz y Garrote, 2011).

<b>Cereal</b>	<b>Prolamina</b>	<b>Contenido (%)</b>
Trigo	Gliadina	69
Cebada	Hordeína	46-52
Centeno	Secalina	30-50
Avena	Avenina	16

El gluten se forma durante el proceso de amasado, mediante una red tridimensional que brinda elasticidad a la mezcla. Esta red atrapa las burbujas de CO<sub>2</sub> formadas durante la fermentación y con ello provoca que la masa aumente su volumen.

Finalmente, cuando la masa es horneada, la red se solidifica y contribuye a la estabilización final del producto. Esta propiedad hace que el gluten sea casi indispensable para la formulación de productos horneados, especialmente en panes.

Actualmente, el gluten ha sido identificado como el principal causante de la enfermedad celíaca, una condición autoinmune que a pesar de no causar peligro de muerte puede afectar gravemente la calidad de vida ya que es una condición para toda la vida; puede ser manejada evitando productos que contienen gluten dentro de la dieta (Heller, 2009).

---

### **4.3 Antecedentes de alimentos sin gluten**

La producción de alimentos, especialmente pan, con cereales sin gluten tienen una amplia variedad de granos para trabajar, tales como el mijo, teff (planta comestible que se asemeja a los cereales), arroz, sorgo, maíz de grano entero, alforfón, amaranto y quinua. La mayor parte estos granos son buena fuente de fibra, hierro y algunas vitaminas del complejo B (Thompson, 2009).

Se han desarrollado varias investigaciones de pan libre de gluten en torno a la calidad nutricional, mejoramiento de la miga, aspectos sensoriales y texturales principalmente. Entre ellos se encuentra la investigación de Miñarro *et al.* (2012) con panes elaborados a partir de harinas obtenidas de garbanzo, aislado de chícharo, germen de algarrobo y de soya, todas utilizadas como fuente de proteína; los autores evaluaron el volumen específico, dureza, elasticidad y cohesividad; color de la miga y corteza; ellos encontraron que las mejores características fisicoquímicas, texturales y sensoriales las obtuvo el pan formulado con harina de garbanzo, así como el mejor volumen específico. También ha sido empleada, con gran frecuencia, la harina de arroz con la adición de diferentes gomas y emulsificantes para mejorar la calidad del pan (Demirkesen *et al.*, 2010; Gujral *et al.*, 2004; Sivaramakrishnan *et al.*, 2004; Torbica *et al.*, 2010). Así mismo, Sabanis y Tzia (2007) realizaron trabajos con la adición de harina de arroz, maíz y soya.

De acuerdo a las investigaciones para mejorar la calidad del pan libre de gluten, se ha demostrado que algunas sustancias capaces de retener agua denominadas

---

hidrocoloides, podrían reemplazar el gluten en la masa. Algunas de ellas son: hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), metilcelulosa (MC), carboximetilcelulosa (CMC), goma de algarrobo, guar y xantana; esto se debe a que la incorporación de hidrocoloides es de gran importancia en la formación de la estructura. Por su parte, Sivaramakrishnan *et al.* (2004) y Demirkesen *et al.* (2010) coinciden en que la goma xantana es la mejor para la elaboración de pan, debido a que mejora enormemente la calidad, favoreciendo el volumen.

También se realizó un estudio sobre la formación de la estructura de pan a partir de almidón en ausencia de gluten. El almidón de maíz ha mostrado resultados positivos en la elaboración de pan a partir de leguminosas y cereales libres de gluten, obteniendo panes con buenas características fisicoquímicas y un adecuado perfil sensorial (Miñarro *et al.*, 2012; Lazaridou *et al.*, 2007).

Además de hidrocoloides, también se han utilizado emulsionantes para ayudar a la mezcla e integración de los ingredientes, ya que mejoran las propiedades de la materia grasa e interactúan con los componentes de la harina y otros ingredientes en la mezcla para formar una miga más blanda. Los emulsionantes pueden interactuar y forman complejos con el almidón, proteína, grasa y agua. La interacción de un emulsionante con la proteína puede mejorar la fuerza y permitir una mejor retención de CO<sub>2</sub> (Demirkesen *et al.*, 2010).

#### 4.4 Pan sin gluten

Debido al aumento en la demanda de productos libres de gluten, la industria de alimentos se ha visto en la necesidad de hacer cambios relacionados con la sustitución de proteína de gluten en las formulaciones de masas panaderas (Heller, 2009). La sustitución de gluten en la masa es uno de los desafíos más grandes, esto se ve reflejado al evaluar los productos donde generalmente la calidad sensorial es inferior, como se puede observar en las rebanadas de pan de la Figura 3.

La mayoría de las harinas sin gluten, así como productos libres de gluten actualmente se basan en almidón de trigo y, por tanto, pueden poner en peligro la salud del paciente celíaco, debido a las pequeñas cantidades de gluten que pudieran estar presentes. Una alternativa es el elaborar masas panaderas a partir de almidones libres de gluten, tales como, maíz, papa, soja, trigo sarraceno y arroz. Estos almidones se combinan con hidrocoloides (gomas) y los ingredientes lácteos para producir un pan sin gluten de calidad similar al pan de harina de trigo (Arendt *et al.*, 2002).



**Figura 3.** Pan libre de gluten (Foro de celíacos y relacionados, 2016)

---

#### **4.4.1 Ingredientes y su función en el pan**

Los ingredientes básicos para la producción de pan leudado son harina, agua y levadura. Sin embargo, la mayoría de las fórmulas también contienen sal, azúcar y manteca. Con el fin de cumplir con las expectativas de vida útil y elaborar productos de alta calidad, otros ingredientes como conservadores, agentes emulsionantes, levadura y leche descremada en polvo son utilizados.

##### **4.4.1.1 Harina**

La harina es el ingrediente más importante de las formulaciones, afecta a la funcionalidad, parámetros de fabricación y propiedades del producto terminado. Se requiere de otros ingredientes como agua y el gluten, que es vital. La función de la harina está dada principalmente por el contenido de proteína y las propiedades del gluten, tanto el agua como el trabajo mecánico se requieren para desarrollar apropiadamente las proteínas de la masa. La masa resultante debe formar una red elástica continua, capaz de retener el dióxido de carbono producido por la levadura en la fermentación y por los gases generados por los agentes químicos, como el polvo para hornear. Las características más importantes son la capacidad de la harina para absorber el agua, el mezclado o tiempo de desarrollo de la masa y la estabilidad o tolerancia de mezcla (Serna Saldivar, 2010).

##### **4.4.1.2 Agua**

El agua es fundamental en cualquier operación de pan, ya que es el medio para la solubilización de otros ingredientes; activa la levadura e hidrata los hidrocoloides,

---

los gránulos de almidón se hinchan y es absolutamente necesaria para la formación de la red fuerte de proteínas. Con el fin de formar la red de gluten, harina, agua, y energía mecánica de la mezcla son fundamentales (Serna Saldivar, 2010).

#### **4.4.1.3 Levadura**

Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) es un agente de fermentación biológica. Es un microorganismo quimiosintético, unicelular, nucleado e inmóvil, que se reproduce asexualmente por gemación. El tamaño de la célula de levadura varía de 4-8 $\mu$  de ancho y de 5-16 $\mu$  de longitud.

La levadura fermenta los azúcares simples (es decir, glucosa, fructosa, manosa, galactosa, sacarosa, maltosa, maltotriosa) y produce etanol, dióxido de carbono y energía. Los subproductos de su metabolismo o de la fermentación alcohólica son compuestos clave que imparten el sabor del pan y aroma típicos (Serna Saldivar, 2010).

#### **4.4.1.4 Edulcorantes**

Varios tipos de edulcorantes se usan frecuentemente en formulaciones de pan. El más popular es el azúcar cristalizado, seguido del invertido y los jarabes que contengan fructosa. Independientemente del tipo, estos hidratos de carbono tienen tres funciones básicas: dar sabor y color, contribuir a una vida útil prolongada y regular la actividad de la levadura. Los azúcares también afectan en gran medida el color del pan, sobre todo el color de la corteza, por las reacciones de Maillard o

---

pardeamiento no enzimático cuando se expone a altas temperaturas de horneado (Serna Saldivar, 2010).

#### **4.4.1.5 Sal**

La sal es uno de los cuatro ingredientes esenciales, ya que el gluten se fortalece a través de las modificaciones iónicas de las proteínas, además estabiliza la velocidad de fermentación de levadura, mejora el sabor del producto final y aumenta ligeramente el tiempo de mezclado de la masa. También reduce la actividad de agua y por lo tanto actúa sinérgicamente como conservante para mejorar la vida útil (Serna Saldivar, 2010).

#### **4.4.1.6 Materia grasa**

La grasa vegetal tiene una función importante, ya que actúa como lubricante que mejora la textura de la masa y la manejabilidad. Su función principal es mejorar la textura de productos para hornear, mediante la formación de películas delgadas entre la red de gluten y otros componentes de la masa, sirve para retardar la retrogradación del almidón. Este fenómeno es el más asociado con la pérdida progresiva de la textura del pan durante el almacenamiento (Serna Saldivar, 2010).

#### **4.4.1.7 Leche en polvo**

La leche aumenta ligeramente la absorción de agua, mejora el color de corteza (color dorado) y el sabor. Es de destacar que la levadura no es capaz de descomponer la lactosa y por lo tanto, este disacárido permanece inalterado hasta

---

que el proceso de cocción, donde contribuye al color de la miga. La leche también mejora el valor nutricional debido a que su proteína complementa el patrón de aminoácidos de las proteínas y suministra cantidades importantes de calcio, magnesio y otros nutrientes esenciales (Serna Saldivar, 2010).

#### **4.4.1.8 Emulsionantes**

Los emulsionantes son compuestos químicos que tienen grupos hidrófilos o lipófilos en los extremos; son ampliamente utilizados debido a que los grupos polares y no polares se unen a componentes de la masa y actúan como acondicionadores disminuyendo la tasa de enranciamiento. Los emulsionantes más populares son estearoil-2-lactato de sodio, monoglicéridos y lecitina.

Los emulsionantes mejoran la formación de enlaces entre los compuestos polares y no polares; su función más importante es retrasar la retrogradación y mejorar la textura del pan. Químicamente, los emulsionantes se unen a hélices de amilosa libre o gelatinizadas; el lado lipofílico se une al interior de la hélice y el lado hidrófilo hacia el agua (Serna Saldivar, 2010).

#### **4.4.1.9 Gomas e hidrocoloides**

En panificación, los hidrocoloides favorecen la manejabilidad de la masa, retienen humedad, mejoran la apariencia y retardan el endurecimiento porque se unen grandes cantidades de agua e interactúan con el almidón. En productos sin gluten, son ingredientes fundamentales para obtener una estructura similar a la que proporciona el gluten.

---

Se utilizan frecuentemente goma xantana, goma guar, CMC, HPMC y almidones modificados (Angioloni A., 2013).

#### **4.4.1.10 Agentes conservantes**

El pan es atacado principalmente por mohos que pertenecen al género *Aspergillus*, *Penicillium* o *Fusarium*. Estos mohos pueden ser inhibidos mediante la reducción del pH y Actividad de agua (Aw) (uso de sal, azúcar y polioles), así como por el uso de atmósfera controlada, embalaje y conservantes.

Con el fin de inhibir el moho del pan, la industria de la panificación utiliza sales de propionato (principalmente propionato de calcio). El propionato de calcio inhibe fuertemente mohos sin afectar la actividad de la levadura. Los ácidos orgánicos generados durante la fermentación bajan el pH y transforman gradualmente la sal de propionato en ácido propiónico activo. Generalmente, los panes con valores de pH más ácidos tienen expectativas de vida útil más larga. Otros conservantes que se utilizan en productos sin levadura son sorbato de potasio y en algunos casos, el benzoato de sodio. El sorbato de potasio es altamente eficiente a valores de pH relativamente más altos en comparación con benzoato de sodio. El benzoato de sodio es el conservador preferido para los rellenos (Serna Saldivar, 2010).

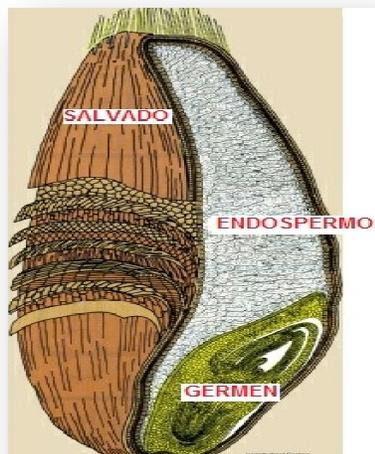
#### **4.5 Cereales**

Los cereales son los frutos de plantas cultivadas que pertenecen a la familia de las gramíneas, también identificados como granos o semillas, está formada por 635 géneros y 10,000 especies cuyos granos se emplean para la alimentación

---

humana y de animales, generalmente en forma de harina (Mendoza y Calvo, 2010). El término cereal, proviene de *Ceres*, nombre de la Diosa romana de la agricultura; incluye granos de trigo, avena y centeno (provenientes de Europa y Medio Oriente), arroz (proveniente de Asia), maíz (originario de América); además de cebada, sorgo y mijo (Badui, 2012).

Todos los granos tienen una estructura similar, aunque la forma y tamaño de semilla son diferentes. Cada semilla o grano está formada por diferentes capas superpuestas, cada una con diferente estructura y composición nutricional (Figura 4). Está formado por el *germen o embrión* (2.5%), se localiza en el centro de la semilla y a partir de éste se puede desarrollar una nueva planta, contiene gran cantidad de lípidos, proteínas y vitaminas del complejo B. El *endospermo* (83%) es una estructura harinosa que envuelve al embrión y proporciona los nutrimentos necesarios para su desarrollo, es rico en hidratos de carbono, especialmente almidón; esta fracción es la empleada en la elaboración de harina refinada. La *testa* es la capa exterior laminar que recubre al grano y proporciona los nutrimentos y vitaminas. *Cáscara o pericarpio* (14%) es la capa externa que proporciona dureza y protege a la semilla, formada de fibras vegetales y forma parte del salvado, es alto en fibra y vitaminas del complejo B (Araneda, 2015; Badui, 2012; Mendoza y Calvo, 2010).



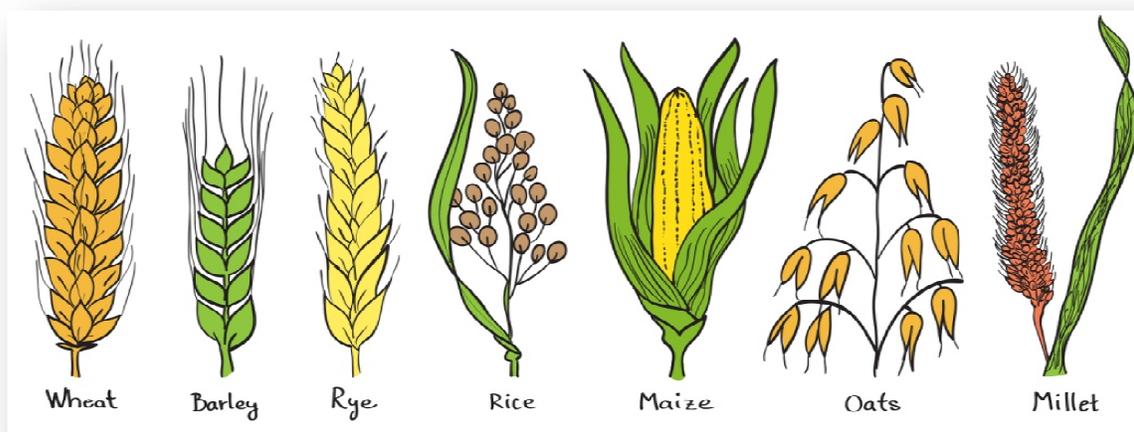
**Figura 4.** Diagrama general de un grano (Araneda, 2015)

La importancia de los cereales dentro de la alimentación es reconocida en todo el mundo. Debido a su ingesta relativamente elevada, son considerados como fuente de energía; además suministran cantidades importantes de varios nutrimentos (Tabla 3) (Mendoza y Calvo, 2010). En general, los granos de cereal tienen una baja concentración de proteínas y su calidad está limitada por la deficiencia de algunos aminoácidos esenciales, principalmente lisina y triptófano.

**Tabla 3.** Valor nutricional de algunos cereales (Pellini, 2014)

<b>COMPOSICIÓN Y VALOR NUTRICIONAL DE LOS CEREALES (por 100g)</b>							
<b>Cereal</b>	<b>Agua</b>	<b>Proteína</b>	<b>Lípidos</b>	<b>Hidratos de Carbono</b>	<b>Fibra</b>	<b>Valor Energético</b>	
						<b>Kcal</b>	<b>KJ</b>
Avena	13.0	13.0	7.5	63.7	1.4	374	1566
Trigo Duro	11.5	13.0	2.9	70.8	3.3	361	1511
Trigo Blando	12.0	12.3	2.6	71.5	2.8	359	1503
Maíz	12.5	9.2	3.3	73.0	2.2	363	1520
Cebada	12.2	10.5	1.4	74.0	0.7	347	1453
Arroz	12.9	7.0	0.6	77.9	0.2	345	1444
Centeno	13.7	11.6	1.7	11.7	11.7	346	1449

Los principales cereales utilizados en la alimentación humana son: arroz (*Oryza sativa*), avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*), centeno (*Secale cereale*), maíz (*Zea mays*), mijo (*Panicum millaceum*), sorgo (*Sorghum vulgare*), trigo (*Triticum aestivum* y *triticum durum*) y triticale (híbrido de centeno y trigo), mismos que se presentan en la Figura 5 (Araneda, 2015).



**Figura 5.** Principales cereales utilizados en la alimentación (KidsPress Magazine, 2015)

#### 4.5.1 Maíz

En México, el cultivo de maíz es la base de la alimentación y se consume de diversas formas (Figura 6), casi todas a partir del grano nixtamalizado; aporta el 60% de las calorías de la población, así como el 40% de las proteínas y es la principal fuente de calcio. El almidón representa el principal componente del maíz (70-74%), está localizado en el endospermo; éste contribuye a la obesidad de muchos mexicanos. Sirve de materia prima para fabricar jarabes de glucosa y fructosa, dextrinas, almidones modificados, entre otros. Contiene entre 7-12% de

proteína, principalmente prolaminas llamadas zeínas. El perfil de aminoácidos del maíz se puede complementar con el de las leguminosas, de ahí la mezcla de maíz-frijol (Badui, 2012).



**Figura 6.** Cultivo de maíz (Imagen de Dreamstime (2016) modificada)

#### 4.5.1.1 Estructura del maíz

El grano de maíz (Figura 7) se denomina en botánica cariósida o cariopsis, cada grano contiene el revestimiento de la semilla y la semilla. Las partes principales del grano son: pericarpio 5-6% (caracterizado por su elevado contenido en fibra como hemicelulosa, celulosa y lignina), endospermo 80-85% (alto contenido en almidón) y germen o embrión 10-12% (rico en grasa, proteína y minerales) (Moita *et al.*, 2007).



---

#### **4.5.1.3 Producción de maíz**

En México el maíz es el cultivo más importante, debido principalmente a que es un alimento básico consumido principalmente en forma de tortilla. Existen veinticuatro estados productores: Jalisco, México, Guanajuato, Chiapas, Michoacán, Chihuahua, Guerrero, Querétaro, Campeche, Sinaloa, Puebla, Durango, Zacatecas, Tlaxcala, Veracruz, Hidalgo, Nayarit, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas, Yucatán, Aguascalientes, Baja California Sur y Morelos; la superficie sembrada en el año 2015 fue de 7.6 millones de hectáreas aproximadamente, de acuerdo con el reporte presentado por SIAP-SAGARPA (Servicio de información agroalimentaria y pesquera y Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación) la producción de maíz en 2015 fue de 24.7 millones de toneladas (SIAP, 2016).

#### **4.5.2 Arroz**

El arroz (*Oryza sativa*) es nativo del sureste asiático donde se cultiva desde hace más de 7000 años (Figura 8), es el principal nutriente en países asiáticos (Mendoza y Calvo, 2010). Es un cereal muy versátil que se utiliza para preparar alimentos salados o dulces y hasta bebidas. Su endospermo contiene 80% de almidón y 7% de proteínas, mientras que la cascarilla o salvado es fuente de celulosa, vitaminas del grupo B y minerales, además de antioxidantes como los tocotrienoles y orizanol. El arroz no contiene gluten y se usa para fabricar productos para celíacos (Badui, 2012). Se clasifica por el tamaño del grano,

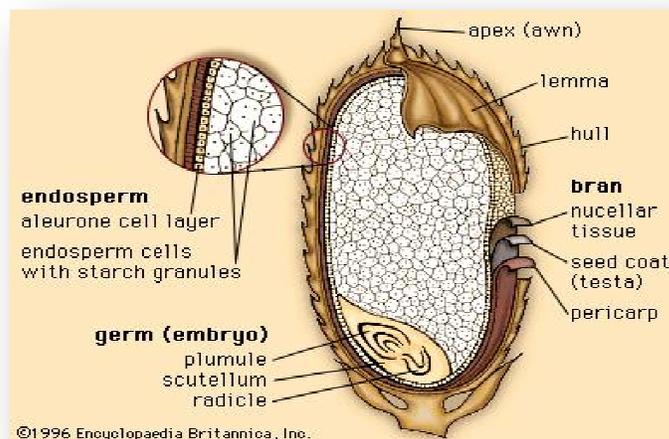
contenido y características del almidón y culinarias como: arroz largo, medio y corto, arroz newrex, toro, japonico, hindú, negro, entre otros (Mendoza y Calvo, 2010).



**Figura 8.** Cultivo de arroz (*Oryza sativa*) (Boilley, 2015)

#### 4.5.2.1 Estructura del arroz

Las estructuras fundamentales del grano son: pericarpio, cáscara o salvado, endospermo, el germen o embrión (Figura 9) (Mendoza y Calvo, 2010).



**Figura 9.** Estructura del grano de arroz (*Oryza sativa*) (Enciclopedia Británica, 2016)

---

#### **4.5.2.2 Composición nutricional de arroz**

El arroz tiene una cantidad elevada de hidratos de carbono, entre los que destaca el almidón. El tipo particular de almidón presente en el arroz se digiere fácil y rápidamente. El contenido de lípidos presentes en el arroz es muy bajo. No contiene gluten y por lo tanto, es aconsejable para los pacientes celíacos y para personas que deban seguir una dieta libre de gluten. El nivel de calcio es elevado y es bajo en contenido de sodio. La cáscara es rica en celulosa 25%, lignina 30%, pentosanos 15% y cenizas 21%, de las cuales el 95% son sílice. Cuando se combina con otros alimentos como leche o leguminosas, surge la combinación de aminoácidos esenciales de los dos alimentos para brindar un mayor valor nutricional que el que tendrían ambos alimentos ingeridos por separado (Tabla 4) (Mendoza y Calvo, 2010).

#### **4.5.2.3 Producción de arroz**

La producción nacional de arroz reportada para el año 2015 por SIAP-SAGARPA osciló alrededor de 236 mil toneladas (SIAP, 2016).

**Tabla 4.** Contenido nutrimental del arroz (*Oryza sativa*) (Mendoza y Calvo, 2010).

Nutrimento	Unidad	Arroz pulido	Arroz precocido
Energía	kcal	354	380
Humedad	%	11.20	11.20
Fibra dietética	g	1.90	1.90
Hidratos de carbono	g	78.80	82.23
Proteínas	g	7.40	7.82
Lípidos totales	g	1.00	0.94
Calcio	mg	10.00	5.00
Fósforo	mg	104	---
Hierro	mg	1.10	6.30
Magnesio	mg	28.00	---
Sodio	mg	9.00	1.00
Potasio	mg	214	---
Zinc	mg	0.02	1.48
Tiamina	mg	0.23	0.44
Riboflavina	mg	0.03	1.20
Niacina	mg	1.60	3.50
Piridoxina	mg	0.30	0.30
Ácido fólico	µg	6.00	10.00

#### 4.6 Leguminosas

El nombre proviene del latín *legere*, que significa “juntar”, y se refiere a plantas con vainas que contienen varias semillas como alubia, chícharo, frijol, garbanzo, haba, alberjón y lenteja (Figura 10), y otras que por su alto contenido de aceite (20-40%). También se clasifican como oleaginosas: algodón, ajonjolí, cacahuate, canola, girasol y soya (Figura 11). Las leguminosas son las especies pertenecientes a la familia *Fabaceae* o *Leguminosae*, cuya utilidad primaria reside en las semillas (Torres *et al.*, 2014). Al fruto seco de las leguminosas también se le conoce como legumbre y en general a cualquier semilla o fruto proveniente de una vaina.

Su cascarilla representa del 7-9% del total del grano y está integrada por celulosa, hemicelulosa y pectina (Badui, 2012).



**Figura 10.** Leguminosas pertenecientes a la familia Leguminoseae (Araneda, 2016)

La familia *Leguminoseae*, es una de las más abundantes en el reino vegetal, está constituida por más de 18 mil especies, comprendidas en 650 géneros. Comprende tres subfamilias: *Papilionoideae*, *Caesalpinioideae* y *Mimosoideae*; de éstas, *Papilionoideae* es la de mayor importancia para el consumo humano, dentro de la que se encuentran: frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), garbanzo (*Cicer arietinum* L.), chícharo o guisante (*Pisum sativum* L.), haba (*Vicia faba* L.), lenteja (*Lens culinaris* o *esculenta* L.), soya o soja (*Glycine max* L.) y cacahuate o maní (*Arachis hypogaea* L.) (Mendoza y Calvo, 2010).



**Figura 11.** Semillas de oleaginosas (Green raw cuisine, 2015)

Las leguminosas constituyen el grupo de plantas más importante para el hombre, ya que aportan alrededor del 20% de la proteína alimenticia consumida en todo el mundo (Charley, 2009; Mendoza y Calvo, 2010). Las proteínas son ricas en aminoácidos esenciales como fenilalanina, isoleucina, lisina, leucina, treonina y valina; pero pobres en metionina, a diferencia de los cereales y por eso se complementan. Dado que contienen menos almidón que los cereales, las leguminosas no sufren grandes modificaciones y mantienen su integridad una vez cocidas. La cocción de las leguminosas gelatiniza el almidón, altera la textura y mejora el sabor; además, el calor moderado aumenta la disponibilidad de las proteínas en la mayoría de las leguminosas (Charley, 2009). Además de la cocción, se ha demostrado que los tratamientos tradicionales como remojo y fermentación, mejoran la calidad nutricional de las leguminosas (Khattab *et al.*, 2009). Por su alto contenido en fibra presentan bajo índice glucémico y se

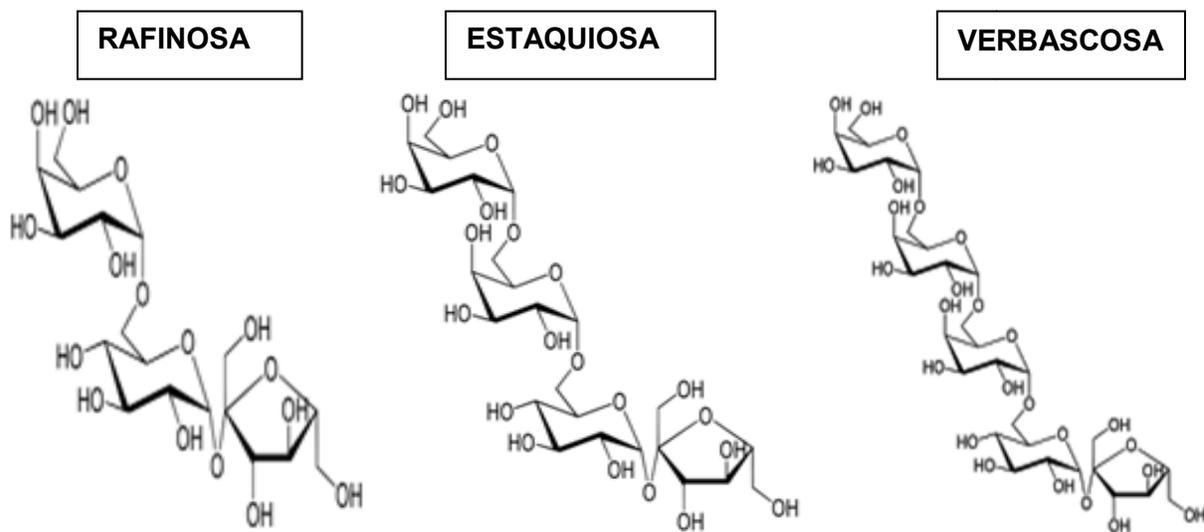
---

caracterizan por la presencia de rafinosa, estaquiosa y verbascosa, azúcares productores de flatulencias (Badui, 2012).

Desde el punto de vista nutricional, las leguminosas son un valioso componente de la dieta, debido a su elevado contenido de proteínas, carbohidratos, fibra dietética, minerales como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , P,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ; además de vitaminas, destacando tiamina, riboflavina, niacina,  $\text{B}_6$  y ácido fólico. Además, la vida de anaquel de estos granos es prolongada, lo que facilita su disponibilidad por largos periodos (Mendoza y Calvo, 2010).

#### **4.6.1 Promotores de flatulencia**

Las flatulencias que presentan muchos individuos de 5 a 7 horas después de la ingesta de leguminosas, se debe principalmente al contenido de oligosacáridos y otros compuestos no biotransformables. Con relación a los carbohidratos, el ser humano no posee actividad enzimática de  $\alpha$ -galactosidasa y  $\beta$ -fructosidasa; es decir, no tiene la capacidad de aprovechar azúcares que no son metabolizables, por ejemplo: rafinosa, estaquiosa y verbascosa (Figura 12). Los oligosacáridos pasan al intestino delgado, donde al ser degradados por microorganismos de la microbiota intestinal se producen gases con elevados niveles de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), especialmente bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ), lo que ocasiona este malestar (Badui, 2013; Charley, 2009; Abdel, 1993).



**Figura 12.** Estructura química de carbohidratos complejos

Al investigar la posibilidad de eliminar parte de estos oligosacáridos se probó en frijol de soya donde se extrajo una tercera parte de ellos durante la cocción (20 min.) en una proporción de agua-frijoles de 10:1. Sin embargo, la pérdida de proteína fue del 1%. La adición de bicarbonato de sodio 0.5%, incrementa la extracción de los oligosacáridos, pero sufre casi 3 veces más pérdida de proteína (Charley, 2009).

#### 4.6.2 Lenteja (*Lens culinaris* L.)

El nombre de lenteja (*Lens culinaris* L.) se basó en el término *lente*, referido al cristal pulido que se utiliza en óptica (Badui, 2012). La lenteja es nativa del Medio Oriente y se considera como uno de los alimentos más antiguos, pertenece a la familia *Leguminosae* y subfamilia *Papilionoideae* (Mendoza y Calvo, 2010).

#### 4.6.2.1 Composición nutricional de lenteja

La lenteja es rica en proteínas, carbohidratos, minerales tales como sodio, potasio, magnesio, hierro (Tabla 5); vitaminas A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> y B<sub>6</sub>. Además, sus brotes son una buena fuente de vitamina C y ácido fólico (Mendoza y Calvo, 2010). Contiene azúcares flatulentos y 20% de proteína; tiene una alta capacidad de retención de agua y aumentan hasta 2.5 veces su peso durante la cocción (Badui, 2012).

**Tabla 5.** Contenido nutrimental de lenteja (*Lens culinaris* L.) (Mendoza y Calvo, 2010; Charley, 2009).

<b>Nutrimento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Energía	kcal	331
Humedad	%	11.10
Hidratos de carbono	g	58.7
Proteínas	g	22.7
Lípidos totales	g	1.6
Calcio	mg	74
Fósforo	mg	454
Hierro	mg	5.8
Sodio	mg	10
Potasio	mg	905
Tiamina	mg	0.37
Riboflavina	mg	0.22
Niacina	mg	2.0

#### 4.6.2.2 Producción de lenteja

La producción nacional de lenteja reportada en el 2016 por SIAP-SAGARPA osciló alrededor de 4,298 toneladas (SIAP, 2016).

---

### 4.6.3 Soya (*Glycine max* L.)

La soya o también conocida como soja (*Glycine max* L.) es nativa de Asia Oriental, pertenece a la familia *Leguminosae* y subfamilia *Papilionoideae* (Mendoza y Calvo, 2010; Desrosier, 1998). Es la oleaginosa más cultivada, ya que además de ser básica en la dieta de una buena parte de la población, sirve de materia prima para la extracción de aceite, siendo el aceite de soya el más popular en el mundo; además de contener lecitina y fitoesteroles, es utilizada para fabricar diversas harinas (Badui, 2012).

#### 4.6.3.1 Composición nutricional de soya

La soya es fuente importante de vitamina E, vitaminas del complejo B, ácido fólico, calcio, hierro y fibra dietética (15%); tiene baja concentración de grasa saturada (15%) y es alta en grasa poliinsaturada y monoinsaturada, 61 y 24%, respectivamente. También es una excelente fuente de ácidos grasos  $\omega$ -3 (ácido linoleico) y  $\omega$ -6 (ácido linolénico). Los ácidos grasos con insaturaciones  $\omega$ -3 y  $\omega$ -6 tienen funciones protectoras en la prevención de coágulos de sangre y reducen el riesgo de cardiopatía coronaria (Mendoza y Calvo, 2010). El contenido de proteína es elevado (36%), del cual, se ha demostrado que cumple con los aminoácidos recomendados para los seres humanos (Tabla 6); su calidad proteica es comparable con la de la carne de res, leche y en 80% con el huevo entero (Mendoza y Calvo, 2010; Badui, 2012). Con esta composición la soya proporciona 32% de sus calorías con las proteínas y 40% con la grasa, cantidades que están

por arriba de lo recomendable; sin embargo, el consumo de esta oleaginosa por lo general va acompañada de cereales ricos en almidones que compensan esta situación. Sus hidratos de carbono constan principalmente de celulosa y oligosacáridos productores de flatulencia, los cuales se reducen mediante la cocción del frijol de soya. También contiene 2% de lecitina y tocoferoles como antioxidantes (Badui, 2012).

**Tabla 6.** Composición de aminoácidos presentes en Harina de soya (*Glycine max* L.) (Desrosier, 1998).

<b>Aminoácidos esenciales</b>	<b>Gramos de aminoácido por 1g de nitrógeno</b>	<b>Aminoácidos No esenciales</b>	<b>Gramos de aminoácido por 1g de nitrógeno</b>
Lisina	6.9	Arginina	8.4
Metionina	1.6	Histidina	2.6
Cisteína	1.6	Tirosina	3.9
Triptófano	1.3	Serina	5.6
Treonina	4.3	Ácido glutámico	21.0
Isoleucina	5.1	Ácido aspártico	12.0
Leucina	7.7	Glicina	4.5
Fenilalanina	5.0	Alanina	4.5
Valina	5.4	Prolina	6.3

La composición de soya varía como resultado de las diferencias climáticas y de las variedades, pero, en general tendrá una composición aproximada a lo que se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Contenido nutrimental de soya (*Glycine max* L.) (Mendoza y Calvo, 2010; Charley, 2009).

<b>Nutrimento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Energía	kcal	403
Humedad	%	10.0
Hidratos de carbono	g	33.5
Proteínas	g	34.1
Lípidos totales	g	17.7
Calcio	mg	226
Fósforo	mg	730
Hierro	mg	8.4
Sodio	mg	2.0
Potasio	mg	1797
Tiamina	mg	1.10
Riboflavina	mg	0.31
Niacina	mg	2.2

#### 4.6.3.2 Producción de soya

La producción de soya en algunos países de América Latina se debió en parte a una lucha contra la desnutrición de niños que provenían de familias que no podían adquirir fuentes de proteína animal, como leche y huevo (Mendoza y Calvo, 2010).

La producción nacional de soya reportada para el año 2015 por SIAP-SAGARPA osciló alrededor de 341 mil toneladas (SIAP, 2016).

---

#### 4.6.4 Alberjón (*Vicia narbonensis* L.)

Esta especie pertenece a la tribu *Vicieae* al igual que la haba, algarroba y veza común; se conoce también con el nombre de alberjones, alverjón, averijón y haba loca (Mateo, 2005); es originario del Mediterráneo (Nadal *et al.*, 2004 y 2012).

##### 4.6.4.1 Composición nutricional del alberjón

La composición química del alberjón es la típica de una leguminosa (Tabla 8), en promedio el contenido de proteína cruda es del 23-28%, carbohidratos 53%, contenido de grasa de 1.5-3% (Nadal., 2004).

El contenido de ácidos grasos es importante para la identificación química de las especies, por lo tanto, es importante resaltar que la composición de ácidos grasos de *Vicia narbonensis* (Tabla 9) es diferente de otras especies *Vicia*. Específicamente los ácidos grasos más representativos son poliinsaturados 58.39%, siguiendo los monoinsaturados 29.64% y saturados 11.9%. Entre los ácidos grasos identificados se encuentra el ácido linoleico 51.03%, oleico 27.89%, linolénico 5.03%, palmítico 7.80% y otros de menor concentración (Presti *et al.*, 2008).

**Tabla 8.** Contenido nutrimental de alberjón (*Vicia narbonensis* L.) (Badrzadeh *et al.*, 2008; Presti *et al.*, 2008).

<b>Nutrimento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Materia seca	%	90.04
Fibra cruda	%	8.60
Hidratos de carbono	%	32.0
Cenizas	%	2.92
Proteína cruda	%	25.8
Lípidos	%	3.1
Calcio	g/kg	13.7
Fósforo	g/kg	1.04
Potasio	g/kg	24.5
Lignina	mg	0.97

**Tabla 9.** Contenido de ácidos grasos de *Vicia narbonensis* (Presti *et al.*, 2008).

<b>Nombre común</b>	<b>Estructura</b>	<b>%</b>	<b>Ácido graso</b>	<b>Estructura</b>	<b>%</b>
Ac. Palmítico	C 16	7.80	Ac. Linolénico ( $\omega$ -3)	C 18:3n3	5.03
Ac. Palmitoleico	C 16:1	0.1	Ac. Araquídico	C 20	1.48
Ac. Esteárico	C 18	2.19	Ac. Gadoleico	C 20:1n9	1.08
Ac. Oleico ( $\omega$ -9)	C 18:1	27.89	Ac. eicosapentaenoico	C 20:5n3	1.09
Ac. Linoleico ( $\omega$ -6)	C 18:2n6	51.03	Ac. Clupanodónico	C 22:5n3	0.98

#### 4.6.4.2 Producción de alberjón

En México, los estados productores de alberjón son Hidalgo, Puebla y Estado de México. La superficie sembrada en 2015 fue de aproximadamente 2 mil hectáreas y su producción nacional reportada para ese año por SIAP-SAGARPA osciló alrededor de 3,043 toneladas (SIAP, 2016).

5 MATERIALES Y MÉTODOS

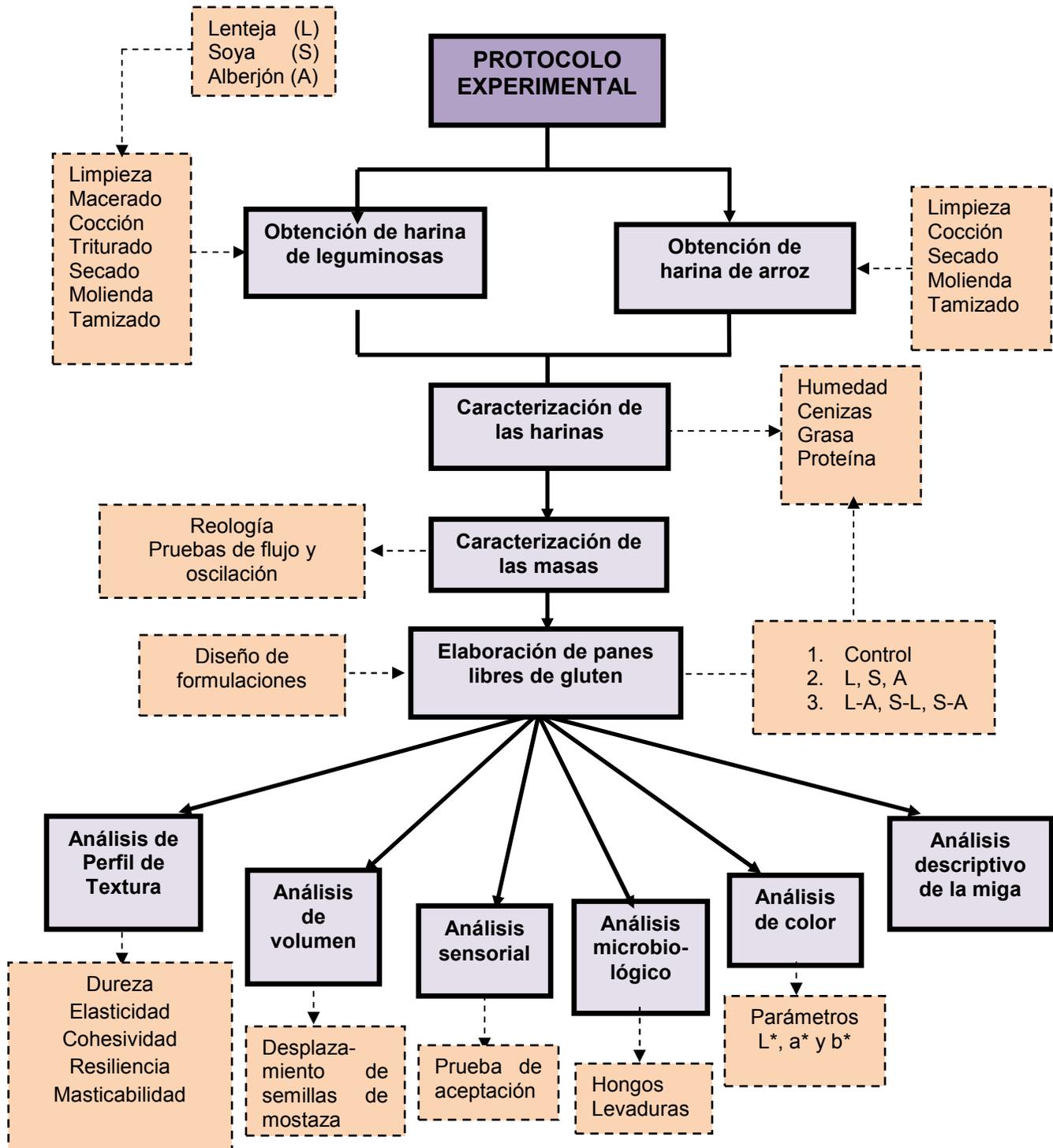


Figura 13. Protocolo experimental general empleado en el desarrollo de ésta investigación.

## **5.1 Materiales**

Las harinas libres de gluten fueron elaboradas utilizando arroz (humedad 5.81%, cenizas 0.34%, grasa 0.5% y proteína 7.03%) y lenteja comerciales (Verde Valle, Productos Verde Valle, S.A de C.V.), frijol de soya (Cerepak) y alberjón (producto a granel). El almidón de maíz fue adquirido en Ingredion México, S.A. de C.V. (84.69% almidón, Ciudad de México, México). Azúcar morena (Zulka MR), manteca vegetal (Inca MR), sal yodada fluorurada (La Fina MR), levadura en polvo *Saccharomyces cerevisiae* (Tradi-Pan MR), polvo para hornear (ROYAL MR), agua para consumo humano (BONAFONT MR). Los emulsificantes monodiglicéridos fueron adquiridos en Danisco México, S.A. de C.V. (Ciudad de México, México). La goma xantana fue adquirida en Dannova Química (viscosidad de 1200-1700 cps, en solución KCl al 1%; Ciudad de México, México). Proteína concentrada de suero (Hilmar 8000, 93 % proteína en base seca, Hilmar Ingredients MR, Hilmar, CA, EUA). Propionato de sodio (Sigma-Aldrich MR, USA, >99%).

## **5.2 Métodos**

### **5.2.1 Elaboración de harinas**

Para llevar a cabo la elaboración de los panes libres de gluten, primeramente se elaboraron las harinas de arroz (HZ), lenteja (HL), soya (HS) y alberjón (HA).

**5.2.1.1 Harina de arroz**

El proceso para elaborar la harina HZ fue el siguiente:

- 1.- Limpieza y selección: se descartaron los granos dañados y se realizó enjuague por triplicado del arroz.
- 2.- Cocción: se coció durante 15 min. a ebullición. Posteriormente el arroz se escurrió y fue colocado en charolas de aluminio.
- 3.- Secado: se colocaron en las charolas de aluminio de 30x19 cm en un horno de convección marca San-Son MR a 110°C durante 2 horas.
- 4.- Molienda: se realizó molienda fina en un Molino de cereales (MOULIN A CEREALES SAMAP MR)
- 5.- Tamizado: se utilizó la malla N° 40 (0.038 mm) y la harina obtenida fue almacenada en un lugar fresco y seco para su posterior utilización.

**5.2.1.2 Harina de leguminosas**

El proceso para elaborar las harinas de HL, HS y HA fue el siguiente:

- 1.- Limpieza y selección: se retiraron los granos dañados y se realizó enjuague por triplicado de la lenteja, soya y alberjón.

2.- Maceración: con la finalidad de disminuir el efecto de las flatulencias provocadas por los carbohidratos complejos presentes en las leguminosas, se remojaron en agua en relación 1:3 durante 20 horas.

3.-Cocción: las condiciones de cocción para cada leguminosa se indica en la Tabla 10, se escurrieron y se continuó con el proceso.

**Tabla 10.** Tiempo de cocción de las leguminosas

<b>Leguminosa</b>	<b>Tiempo de cocción (min)</b>	<b>Tipo de cocción</b>
Lenteja	25	Ebullición
Soya	60	Olla de presión (1.16 kg/cm <sup>2</sup> )
Alberjón	20	Olla de presión (1.16 kg/cm <sup>2</sup> )

4.-Trituración: Todas las leguminosas fueron trituradas para favorecer el secado, posteriormente se colocaron en charolas de aluminio de 30x19 cm.

5.- Secado: cada una de las charolas con leguminosas fueron secadas a 110°C en horno de convección marca San-Son MR, como se muestra en la Tabla11.

**Tabla 11.** Tiempo de secado de las leguminosas

<b>Leguminosa</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>
Lenteja	2
Soya	4
Alberjón	2

6.- Molienda: se realizó molienda fina en un Molino de cereales (MOULIN A CEREALES SAMAP MR)

5.- Tamizado: se utilizó malla N° 40 (0.038 mm) y la harina obtenida fue almacenada en un lugar fresco y seco para su utilización (con excepción de la harina de soya, que fue almacenada a refrigeración a 5 °C para evitar la oxidación de los ácidos grasos).

### **5.2.2 Análisis fisicoquímico de harinas**

La determinación del análisis fisicoquímico se realizó con muestras de harina de HS, HL, HA y HZ (Figura 14). Cada prueba fue realizada por triplicado.



**Figura 14.** Muestra de harinas HL, HS, HA y HZ.

#### **5.2.2.1 Humedad**

El contenido de humedad se determinó por el método gravimétrico de secado en estufa (AOAC 925.10, 2000), el cual se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Se pesaron muestras de 3 g de cada tipo de harina en charolas de aluminio (previamente puestas a peso constante durante 2 h a  $100 \pm 2$  °C), las charolas se colocaron en la estufa a  $100 \pm 2$  °C hasta obtener un peso

constante (Figura 15). Finalmente, el contenido de humedad se determinó por diferencia de peso mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Humedad} = \left( \frac{P - P_1}{P_2} \right) \times 100$$

Donde:  $P$ = Peso de recipiente con muestra húmeda (g),  $P_1$ = Peso de recipiente con muestra seca (g) y  $P_2$ = Peso de la muestra húmeda (g)



**Figura 15.** Determinación de humedad en harinas

### **5.2.2.2 Cenizas**

El porcentaje de cenizas fue determinado por el método de calcinación (AOAC 923.03, 2000), se pesaron muestras de 3 g de cada tipo de harina en crisoles (puestos previamente a peso constante). Después se calcinó la muestra, primeramente con un mechero en la campana hasta que las muestras dejaron de desprender humos y posteriormente se introdujeron a la mufla a  $550 \pm 5$  °C durante 4 h, hasta conseguir cenizas blancas o ligeramente grises (Figura 16). Finalmente, los crisoles se dejaron enfriar en desecador y posteriormente se pesaron para calcular el porcentaje de cenizas mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{P_2 - P_1}{m} \times 100$$

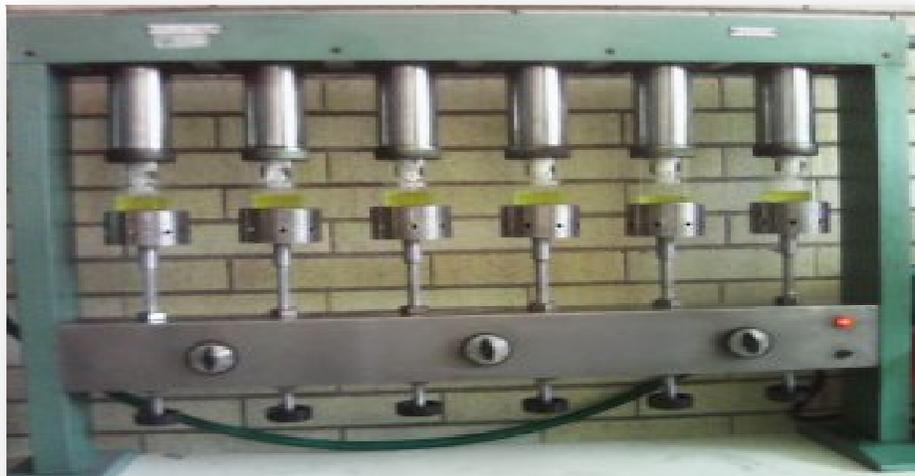
Donde:  $P_1$ = Peso del crisol vacío (peso cte. en gramos),  $P_2$ = Peso del crisol con las cenizas (g) y  $m$ = Peso de la muestra (g)



**Figura 16.** Calcinación de harinas hasta obtener cenizas

### **5.2.2.3 Grasa**

El porcentaje de grasa en las harinas fue extraído por el método AOAC 922.06 (2000) en el equipo Goldfish MR mediante extracción continua por disolvente. El contenido graso se cuantificó por diferencia de peso de la grasa removida. Para ello se pesaron 3 g de muestra seca, se colocaron en cartuchos de celulosa para ser colocados en el porta-cartucho del equipo de extracción (Figura 17).



**Figura 17.** Equipo Goldfish utilizado en la extracción de grasa

En los vasos Goldfish (llevados previamente a peso constante) se adicionaron 40 ml de éter de petróleo, se colocaron en el equipo y se calentaron hasta la extracción completa de la grasa. Posteriormente, se colocó el recolector del equipo para remover el solvente de la grasa y facilitar el secado de los vasos. Finalmente, los vasos se secaron en estufa a  $100 \pm 5$  °C por 1 h, pasado el tiempo se enfriaron en el desecador y al alcanzar la temperatura ambiente se pesaron para determinar el porcentaje de grasa con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{P - p}{m} \times 100$$

Donde:  $P$ = Peso final del vaso (g),  $p$ = Peso inicial del vaso (g) y  $m$ =Peso de la muestra en base seca (g)

#### 5.2.2.4 Proteína

El porcentaje de proteína cruda presente en las harinas fue cuantificado por el método Kjeldahl de acuerdo al método AOAC 920.87 (2000), el cual determina el porcentaje de nitrógeno orgánico y posteriormente el contenido de proteína.

Para la digestión se pesó 1g de muestra, se colocó en el tubo Kjeldahl, se adicionaron 4 g de mezcla reactiva de selenio y 20 ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) al 97.8%, finalmente se colocaron en el equipo digestor BÜCHI 426 y BÜCHI 412 como extractor de gases (Figura 18). Después de hora y media de calentamiento en el equipo digestor, la solución del tubo presentó un color translúcido indicando que ya estaba digerida la muestra, se dejó enfriar a temperatura ambiente.

Para la destilación, se añadieron en un matraz Erlenmeyer 60 ml de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) al 2% y 3 gotas de indicador Shiro Tashiro. Se colocó el matraz Erlenmeyer y el tubo Kjeldahl con la muestra digerida en el equipo de destilación BÜCHI 323 (Figura 18), el cual adicionó 50 ml de agua destilada y 120 ml de hidróxido de sodio (NaOH) al 32% en el tubo Kjeldahl para realizar la destilación durante 5 min.

La muestra obtenida en el matraz se tituló con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N (Figura 19). Se calculó el porcentaje de proteína mediante las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{gasto de HCl al titular (ml)}) (N) (0.014)}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Proteína} = (\% \text{ Nitrógeno}) (F)$$

Donde:  $N$ =Normalidad de HCl, 0.014=Miliequivalente del nitrógeno,  
 $F$ =Factor de conversión a proteína, 5.95 arroz, 5.71 soya, 6.25 leguminosas.



**Figura 18.** Equipo digester BÜCHI 426 y extractor de gases BÜCHI 412 (izquierda) y Unidad de destilación BÜCHI 323 (derecha)



**Figura 19.** Titulación con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N

### 5.2.3 Diseño de formulaciones

El proceso de elaboración de pan libre de gluten se realizó de acuerdo a 7 formulaciones distintas; pan de soya (PS), pan de lenteja (PL), pan de alberjón (PA), lenteja-alberjón (PL-A), soya-lenteja (PS-L), soya-alberjón (PS-A) y pan sin leguminosa (PSL).

El contenido de cada leguminosa en panes corresponde al 15% base harina, como se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Formulación de panes expresado en % Base harina

INGREDIENTE	%BASE HARINA				% PESO
	PSL	PS	PL	PA	
Almidón maíz	70	60	60	60	21.08
Harina arroz	30	25	25	25	8.78
Harina de leguminosa	-----	15	15	15	5.28
Azúcar morena	5.7	5.7	5.7	5.7	2.00
Manteca vegetal	6	6	6	6	2.11
Levadura	4.89	4.89	4.89	4.89	1.72
Sal	2.45	2.45	2.45	2.45	0.86
Emulsificantes	1.95	1.95	1.95	1.95	0.69
Polvo para hornear	2.45	2.45	2.45	2.45	0.86
Goma Xantana	1.95	1.95	1.95	1.95	0.69
Proteína conc. de suero	8	8	8	8	2.81
Propionato de sodio	0.42	0.42	0.42	0.42	0.15
Agua	150.77	150.77	150.77	150.77	52.98

Se realizaron también panes con la mezcla de leguminosas L-A, S-L y S-A con 15% base harina para cada pan, como se muestra en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Formulación de panes con mezcla de leguminosas en %Base harina.

INGREDIENTE	% BASE HARINA			% PESO
	PL-A	PS-L	PS-A	
Almidón maíz	60	60	60	21.08
Harina arroz	25	25	25	8.78
Harina de soya	----	7,5	7,5	----
Harina de lenteja	7,5	7,5	----	2.64
Harina de alberjón	7,5	----	7,5	2.64
Azúcar morena	5,7	5,7	5,7	2.00
Manteca vegetal	6	6	6	2.11
Levadura	4,89	4,89	4,89	1.72
Sal	2,45	2,45	2,45	0.86
Emulsificantes	1,95	1,95	1,95	0.69
Polvo para hornear	2,45	2,45	2,45	0.86
Goma Xantana	1,95	1,95	1,95	0.69
Proteína conc. de suero	8	8	8	2.81
Propionato de sodio	0.42	0.42	0.42	0.15
Agua	150,77	150,77	150,77	52.98

#### **5.2.4 Elaboración de panes libres de gluten**

El proceso de elaboración del pan libre de gluten se llevó a cabo de acuerdo al método directo, como menciona Serna Saldívar (2003), que comprende varias etapas (Figura 20), que inician por el pesado de los ingredientes (Tabla 12 y 13) y la hidratación de la goma xantana con la proteína concentrada de suero

(aproximadamente 45 minutos a 25°C). La levadura *Saccharomyces cerevisiae* se hidrató para su activación a 25°C durante 15 minutos.

Los ingredientes secos (harinas, almidón de maíz, azúcar, sal, esteres mono-diglicéridos como emulsificantes, polvo para hornear y propionato de sodio) se pasaron a través de un cernidor, después se agregó la manteca vegetal, la levadura previamente activada y la mezcla de la goma xantana con la proteína concentrada de suero que fue hidratada previamente. Una vez cernidos todos los ingredientes en un recipiente se mezclaron con la ayuda de una batidora de 6 velocidades (Hamilton Beach MR). Primero 1 minuto a velocidad 1, para la incorporación de los ingredientes; y después 3.5 minutos a velocidad 3, para la formación de la masa. Después se engrasó cada molde (11 x 6 x 3.5 cm) y se pesaron 100g de masa en cada uno. La fermentación se llevó a cabo a 30°C durante 45 minutos, al finalizar se procedió a hornear el pan en horno de convección (San-Son MR) a 180°C durante 15 minutos. Una vez horneados se dejaron enfriar, se desmoldaron y se pesaron, finalmente se almacenaron en bolsas de plástico para posteriores estudios.





**Figura 20.** Elaboración de panes libres de gluten

### **5.2.5 Análisis fisicoquímico de los panes**

La determinación del análisis fisicoquímico se realizó en muestras de todos los panes (PS, PL, PA, PL-A, PS-L, PS-A y PSL). Cada prueba fue realizada por triplicado.

#### **5.2.5.1 Humedad**

El contenido de humedad en pan se determinó por el método de secado en estufa, tal y como se realizó con las muestras de harina descritas en el punto 5.2.2.1, igualmente fue calculada por medio de la ecuación correspondiente.

#### **5.2.5.2 Cenizas**

El porcentaje de cenizas en pan se llevó a cabo por el método de calcinación, se pesaron 3 g de muestra y se procedió como se describió en las harinas en el punto 5.2.2.2. El porcentaje de cenizas en pan se calculó con la misma ecuación.

#### **5.2.5.3 Grasa**

El porcentaje de grasa presente en el pan fue extraído en muestras de 3 g mediante el método de Goldfish, el cual se describió en el punto 5.2.2.3 para la determinación de grasa en las harinas. El porcentaje de grasa en pan fue calculado con la misma ecuación.

#### **5.2.5.4 Proteína**

El porcentaje de proteína cruda presente en el pan fue realizado por el método Kjeldahl, tal y como se describe en el punto 5.2.2.4 para las harinas. El porcentaje de proteína en el pan fue calculado con dichas ecuaciones.

#### **5.2.6 Determinación de volumen específico**

La determinación del volumen específico de los panes requirió primeramente la medición del peso y volumen de cada pan. El peso se registró 30 minutos después de haber sido retirados del horno y una vez que alcanzaron la temperatura ambiente.

El volumen específico fue medido empleando una modificación del método 10-05 de la AACC (2000) propuesta por Mongi *et al.* (2011) la cual consiste en

determinar el volumen del pan por medio del desplazamiento de semillas de mostaza en un recipiente de volumen conocido (540 cm<sup>3</sup>) (Figura 21). El método es el siguiente:

En el recipiente vacío se colocaron un poco de semillas sobre la base, se introdujo el pan y se colocaron nuevamente semillas hasta llenarlo, se retiró el exceso. Se vaciaron las semillas en la probeta para medir su volumen.

Finalmente se aplica la siguiente ecuación para conocer el volumen del pan:

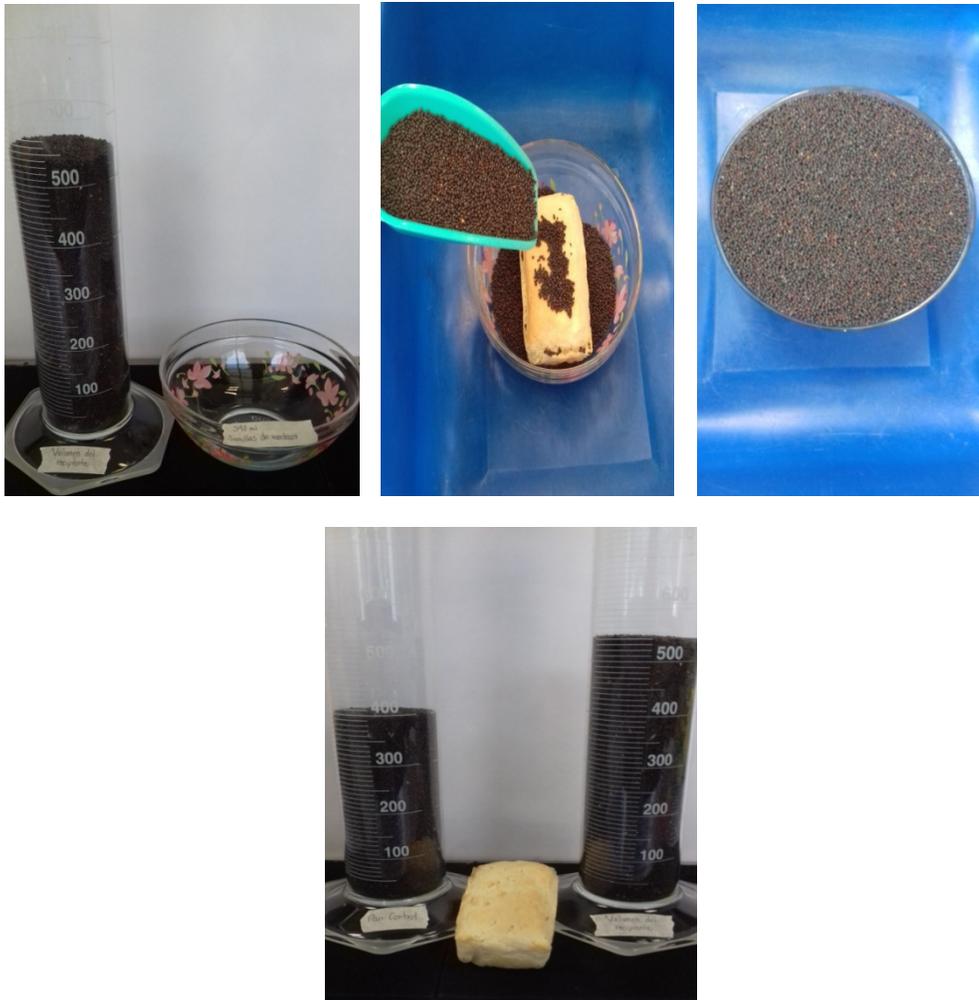
$$Vp = 540cm^3 - rp$$

Donde:  $Vp$ = volumen del pan (cm<sup>3</sup>),  $rp$ = volumen de semillas en el recipiente con pan (cm<sup>3</sup>), 540 cm<sup>3</sup>= volumen total del recipiente.

El volumen específico de los panes fue realizado por triplicado y se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Ve = \frac{Vp}{P}$$

Donde:  $Ve$ = volumen específico del pan (cm<sup>3</sup>/ g),  $Vp$ = volumen del pan (cm<sup>3</sup>),  $P$ = peso del pan (g).



**Figura 21.** Determinación de volumen en panes

### 5.2.7 Pérdida de peso por horneado y rendimiento (%)

Otro parámetro de calidad en el pan es la pérdida de peso por horneado, éste es altamente relacionado con el proceso de endurecimiento de sistemas basados en almidón (Miñarro *et al.*, 2012). Debido a esto, se realizaron los cálculos para conocer la pérdida de peso de cada uno de los panes libres de gluten, utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Pérdida de peso} = \frac{(\text{Peso inicial de masa} - \text{Peso del pan enfriado}) \times 100}{\text{Peso inicial de masa}}$$

Se calculó también el rendimiento de los panes porque, aunque el rendimiento de la masa aumenta a medida que aumenta la absorción de agua, puede producirse o no un aumento en el rendimiento del pan. Por ello, el rendimiento del pan (%) se determinó a partir del peso de la masa inmediatamente después del mezclado contra el peso final del pan.

### **5.2.8 Descripción de la estructura de la miga**

La evaluación de estructura de la miga está directamente relacionada con describir su uniformidad y la distribución del tamaño de las celdas. La estructura celular de la miga es un importante parámetro de calidad utilizado en panificación, éste ocupa el 20% de peso al juzgar la calidad del pan. Los parámetros a examinar en la miga son, finura de la miga (número de celdas abiertas), uniformidad, forma de la celda y grosor de la pared.

El método tradicional para la clasificación de la estructura de la miga es cualitativo y de naturaleza subjetiva, ya que se basa en la visión humana que se sabe que es inconsistente entre diferentes expertos y puede variar durante un período de tiempo incluso para el mismo experto (Scanlon y Zghal, 2001).

Sin embargo, ya existen equipos sofisticados que facilitan la manera de examinar la estructura de la miga, uno de ellos es por medio del análisis de imagen digital.

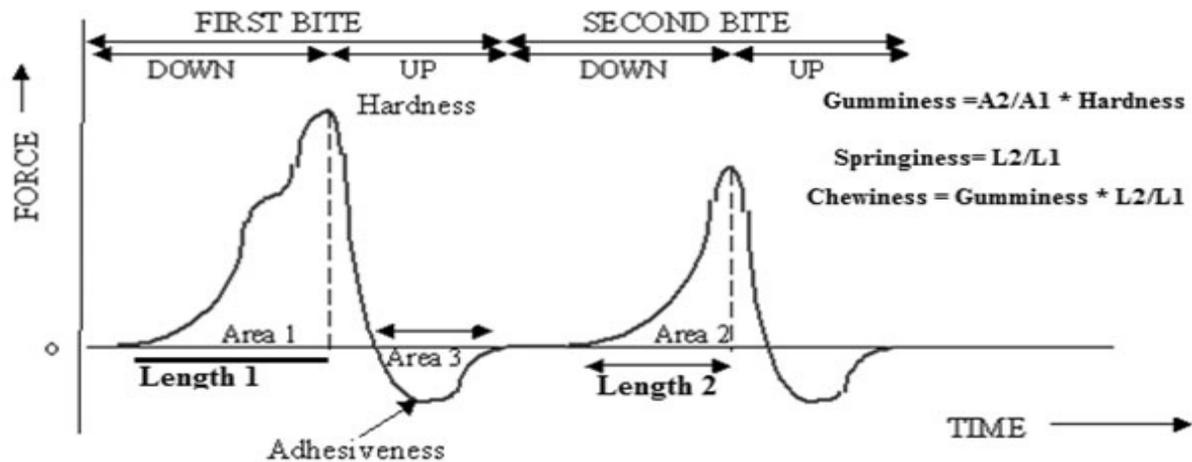
### 5.2.9 Análisis de Perfil de Textura (APT)

El Análisis de Perfil de Textura (APT) de los panes se determinó con un texturómetro (Brookfield LFRA Texture Analyzer, Figura 22) equipado con una carga de 25 kg de peso y una sonda acrílica de 49 mm de diámetro. El pan fue rebanado previamente, cada rebanada de 1.5 cm de grosor aproximadamente, de acuerdo a lo recomendado por Gámbaro *et al.* (2002). Para el análisis se colocaron dos rebanadas del centro del pan en la base del equipo, la sonda comprimió las muestras de pan a velocidad de 1.0 mm/s hasta llegar al 20% de deformación seguido por un segundo ciclo de compresión después de 5 s. Se obtuvo una curva típica de APT de fuerza-tiempo (Figura 23) de la cual se obtienen los parámetros de textura que se correlacionan con la evaluación sensorial (Bourne, 2002).



**Figura 22.** Texturómetro Brookfield LFRA (Texture Analyzer)

Los atributos medidos fueron: dureza, elasticidad, cohesividad, resiliencia y masticabilidad. Dichos atributos se calcularon a partir de las curvas obtenidas por medio del software TexturePro Lite v1.1 Build 4 (Stable Micro Systems). Todos los panes fueron analizados por triplicado, 24 horas después de su elaboración.



**Figura 23.** Curva típica para Análisis de Perfil de Textura (APT) (Banjare *et al.*, 2015)

De la curva fuerza-tiempo se pueden obtener los parámetros texturales los cuales son definidos como sigue: *dureza*, se define como la fuerza máxima durante el primer ciclo de compresión (primer mordida), es decir, es la fuerza requerida para comprimir y deformar el alimento en la boca; *elasticidad*, está relacionada con la altura que el alimento deformado vuelve a su estado original en un lapso de tiempo; *cohesividad*, representa la fuerza de los enlaces internos del cuerpo del producto. En otras palabras, se refiere a cómo un producto alimenticio permanece unido después de la deformación. Es la relación del área de pico del segundo ciclo de compresión entre el área del primer ciclo. *Adhesividad*, es el área negativa que resulta de la primera mordida, representa el trabajo necesario cuando la sonda se

quita de la muestra; *masticabilidad*, definida como la energía requerida para masticar un producto alimenticio sólido a un estado listo para tragarse, es el producto de la gomosidad \* elasticidad; *resiliencia*, es una medida de cómo se recupera la muestra a la deformación en relación a velocidad y fuerza aplicadas, es decir, es la propiedad de un material para regresar a su forma original después de ser estirado, doblado o apretado, sometido bajo una fuerza. Con el fin de obtener un valor significativo de este parámetro, se debe optar por una prueba de velocidad relativamente lenta para permitir que la muestra pueda recuperarse, si es que la muestra posee esta propiedad (Bourne, 2002; Totosaus *et al.*, 2013).

#### **5.2.10 Reología de las masas**

El análisis reológico se realizó en masas fermentadas de acuerdo a la formulación de las Tablas 12 y 13, se siguió el mismo proceso de elaboración del pan como se menciona en el punto 5.2.4. Las muestras fueron analizadas en un reómetro compacto modular Physica MCR 300 (Physica Messtechnik GmbH, Stuttgart, Alemania) Figura 24, y una geometría estriada PP50/P2 (50mm de diámetro/2mm de estriado) a temperatura controlada de 25 °C.

La muestra se colocó sobre el plato y la geometría PP50/P2 fue bajando hasta un gap de 1 mm, posteriormente se retiró el exceso de muestra, se cubrió el plato con tapas metálicas para evitar su desecación. Fue aplicado un periodo de recuperación de 5 min en el cual la muestra se recuperó del estrés debido a la preparación de la prueba. Para asegurar que las mediciones se realizaron dentro

de la región visco-elástica lineal todas las masas fueron sometidas a barridos de amplitud en un rango de deformación de 0.01–100%. Posteriormente, se realizaron curvas de flujo para conocer la viscosidad aparente de las masas con una tasa de corte de  $10^{-6}$  a  $10^3$   $s^{-1}$ . Se calcularon las propiedades reológicas del módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y módulo de pérdida ( $G''$ ) (Miñarro *et al.*, 2012).

Las ecuaciones utilizadas en la evaluación de materiales viscoelásticos toman como base las leyes de Newton y Hooke, siendo necesario que el material se comporte de manera lineal (Magaña-Barajas *et al.*, 2009).



**Figura 24.** Reómetro compacto modular Physica MCR 300

### 5.2.11 Evaluación de color

El color es uno de los parámetros de calidad más importante de los productos alimenticios. Ejerce gran influencia a la hora de elegir un alimento, dado que es el primer atributo que percibe el consumidor y éste permite detectar anomalías o defectos en los alimentos (Nadal *et al.*, 2010). De ahí la importancia de su estudio.

Los panes fueron analizados mediante un colorímetro AccuProbeHH06 (Inc. Pittsford, NuevaYork, EUA, Figura 25), mediante los parámetros triestímulo  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de las coordenadas CIELAB. El parámetro  $L^*$  describe la luminosidad (variando desde 0% para negro y 100% para blanco), los componentes cromáticos son  $a^*$  y  $b^*$ ;  $a^*$  indica del mismo modo variación entre verde ( $-a$ ) y rojo ( $+a$ ),  $b^*$  señala variación entre azul ( $-b$ ) y amarillo ( $+b$ ). Los parámetros  $L^*$  y  $b^*$  se consideran los más importantes como atributos de color.

El color en los panes fue evaluado 30 minutos después del horneado, se tomaron varios puntos de la superficie (corteza) y miga de cada uno de ellos.



**Figura 25.** Colorímetro AccuProbe HH06

### **5.2.12 Análisis microbiológico**

Se realizó el análisis microbiológico a las materias primas (harina de arroz y leguminosas, almidón de maíz, proteína concentrada de suero) y a todos los panes de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-111-SSA1-1994 Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos por conteo en placa. Además de la NOM 247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos; para el conteo en pan blanco de trigo (límite máx. 300 UFC/g), ya que actualmente no existe norma que regule los panes libres de gluten.

Para el análisis en harinas se realizó de manera directa (dilución  $10^{-1}$ ), se pesó 1 g de muestra en 9 ml de solución isotónica, se homogeneizó la muestra y se tomó 0.1 ml para su inoculación en cajas con agar papa dextrosa.

Todos los panes fueron analizados al día 0, 5 y 7 de almacenamiento. Se pesaron 10 g de pan en 90 ml de solución isotónica (dilución  $10^{-1}$ ). A partir de ésta, se realizaron diluciones decimales consecutivas hasta  $10^{-4}$ . Se tomó 0.1 ml de cada dilución para su inoculación.

Todas las diluciones fueron sembradas por triplicado en agar papa dextrosa y colocadas en la incubadora Lab-line (Figura 26) a temperatura controlada de  $30 \pm 1$  °C durante 72 h.



**Figura 26.** Incubadora Lab-line

### **5.2.13 Análisis sensorial**

La evaluación sensorial realizada a los panes libres de gluten consistió en una prueba de aceptación (Acceptance Test), con el fin de evaluar si la muestra de panes es aceptable o rechazable para su consumo (Pedrero y Pangborn, 1989). La evaluación se realizó el mismo día de su elaboración, las muestras fueron rebanadas y codificadas (Figura 27); se presentó una muestra a la vez para evitar comparación entre ellas. Se utilizó agua natural como medio de neutralización.

El panel fue conformado por 40 jueces, los cuales son consumidores habituales (Figura 28).



**Figura 27.** Muestras de pan presentadas en la evaluación sensorial



**Figura 28.** Panelistas realizando la evaluación sensorial

#### **5.2.14 Análisis estadístico**

Los resultados fueron analizados utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XV.I (Statistical Graphics Corp., Manugistics, Inc, Cambridge, MA, EE.UU.) para evaluar la diferencia que existe entre los panes libres de gluten por medio de un análisis de varianza (ANOVA). Además se realizó la prueba de comparación de medias mediante la técnica de diferencia mínima significativa (LSD) con un nivel de confiabilidad del 95%.

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Análisis fisicoquímico de harinas

La harina es el ingrediente más importante dentro de la panificación, afecta la funcionalidad de las masas, parámetros de fabricación y propiedades del producto terminado. Las características más importantes son la capacidad de la harina para absorber el agua, el mezclado o tiempo de desarrollo de la masa y la estabilidad o tolerancia de mezcla (Serna Saldivar, 2010).

En la Tabla 14 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico realizado a las harinas. Todas las variables medidas muestran diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ).

El contenido de humedad de HA (3.32%) fue mayor que el resto de las harinas, HL (2.49%) y HS (1.30%); sin embargo, cumplen con los requerimientos permitidos en la Norma Oficial Mexicana vigente NOM-247-SSA1-2008, límite máximo 15%.

En contenido de cenizas, la HS presentó el mayor contenido (2.72%), seguido de HA y HL (2.11 y 1.72%, respectivamente). En cuanto al contenido de proteína, al igual que en cenizas, la HS presentó el mayor contenido (41.13%), seguido de HL (25.05%) y HA (21.53%). En contenido de grasa, también la HS fue mayor (29.32%) debido principalmente a que contiene ácidos grasos monoinsaturados (24%) y poliinsaturados (61%), los cuales su consumo es benéfico para la salud.

En general, el comportamiento observado en el análisis fisicoquímico de las harinas muestra que todas representan una buena alternativa para ser utilizadas en el proceso de elaboración del pan libre de gluten.

**Tabla 14.** Análisis fisicoquímicos de harinas

HARINAS	HUMEDAD (%)	CENIZAS (%)	GRASA (%)	PROTEÍNA (%)
HL	2.49 ± 0.06 <sup>c</sup>	1.72 ± 0.03 <sup>c</sup>	2.41 ± 0.30 <sup>b</sup>	25.05 ± 0.39 <sup>b</sup>
HS	1.30 ± 0.05 <sup>d</sup>	2.72 ± 0.03 <sup>a</sup>	29.32 ± 0.42 <sup>a</sup>	41.13 ± 0.06 <sup>a</sup>
HA	3.32 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.11 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.84 ± 0.55 <sup>b</sup>	21.53 ± 0.13 <sup>c</sup>

HZ: harina de arroz, HL: harina de lenteja, HS: harina de soya y HA: harina de alberjón. Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa ( $p < 0.05$ ). Resultados expresados como la media de tres repeticiones ± SD.

## 6.2 Análisis fisicoquímico de los panes

En la Tabla 15 se observan los resultados del análisis fisicoquímico realizado a las 7 formulaciones: PS, PL, PA, PL-A, PS-L, PS-A y PSL. Todas las variables medidas mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ).

El comportamiento observado para el análisis fisicoquímico de los panes se debe principalmente al efecto de la leguminosa adicionada, siendo la principal función el aporte de proteína al sistema. El contenido de humedad de los panes tendió a disminuir con respecto al PSL (PSL: 54.55%, PL: 51.07%, PS-A: 49.39%, PA: 48.36%, PS: 47.55%, PL-A: 47.10%, PS-L: 46.63%); sin embargo, se encuentra en

un alto contenido respecto a un pan convencional (máx. 38%), esto se debe principalmente a que las harinas de arroz y leguminosas requieren mayor hidratación para formar la masa comparada con la harina de trigo (Torbica *et al.*, 2010; Totosaus *et al.*, 2013). De acuerdo con Torbica *et al.* (2010) la adición de gran cantidad de agua conduce a mejorar el comportamiento de la masa durante el mezclado mostrando alta estabilidad. Así mismo, Gallagher *et al.* (2003) reportaron que al incrementar el contenido de agua fue reducida la dureza, además de servir como regulador del volumen del pan y la textura de corteza y miga.

En contenido de cenizas, los panes adicionados de leguminosas se encontraron con mayor contenido (arriba de 2%), mientras que el PSL en 1.87%. Al hablar de un mayor contenido de ceniza, se entiende que es mayor en contenido de minerales. La norma NMX-159-S-1983 para pan blanco de caja establece mín. 1.8% y máx. 2.5%, encontrándose dentro de estos límites.

El contenido de grasa de los panes fue incrementando de acuerdo con la leguminosa adicionada, siendo para PSL el menor contenido (1.71%); mientras que para los demás panes fueron PS-A (2.46%), PL-A (2.51%), PS-L (2.72%), PA (2.82%), PL (3.19%) y PS (4.47%). Se observa relación con el contenido de grasa de las harinas.

El contenido de proteína total siguió la misma tendencia, el PSL fue el de menor contenido (4.45%), y los demás panes incrementaron su valor dependiendo de la leguminosa o de la combinación de leguminosas adicionadas, para PA (5.61%),

PL-A (5.97%), PL (6.28%), PS-A (6.31%), PS-L (6.74%) y PS (7.33%). El contenido de proteína en PS es más elevado que los otros panes ya que cuenta con una mayor cantidad de aminoácidos disponibles, los cuales son recomendados para los seres humanos (Badui, 2012).

Con base a estos resultados el PS mostró mejores características que el resto de las formulaciones, siendo una opción que puede competir con un pan convencional.

**Tabla 15.** Análisis fisicoquímicos en panes

PANES	HUMEDAD (%)	CENIZAS (%)	GRASA (%)	PROTEÍNA (%)
PSL	54.55 ± 0,87 <sup>a</sup>	1.87 ± 0,03 <sup>c</sup>	1.71 ± 0,16 <sup>d</sup>	4.45 ± 0,04 <sup>e</sup>
PL	51.07 ± 0,84 <sup>b</sup>	2.14 ± 0,04 <sup>a,b</sup>	3.19 ± 0,29 <sup>b</sup>	6.28 ± 0,19 <sup>c</sup>
PS	47.55 ± 0,76 <sup>d</sup>	2.13 ± 0,10 <sup>a,b</sup>	4.47 ± 0,24 <sup>a</sup>	7.33 ± 0,08 <sup>a</sup>
PA	48.36 ± 0,27 <sup>c,d</sup>	2.21 ± 0,02 <sup>a</sup>	2.82 ± 0,05 <sup>c</sup>	5.61 ± 0,06 <sup>d</sup>
PS-A	49.39 ± 0,43 <sup>c</sup>	2.12 ± 0,12 <sup>a,b</sup>	2.46 ± 0,13 <sup>c</sup>	6.31 ± 0,25 <sup>c</sup>
PS-L	46.63 ± 0,49 <sup>d</sup>	2.06 ± 0,07 <sup>b</sup>	2.72 ± 0,24 <sup>c</sup>	6.74 ± 0,04 <sup>b</sup>
PL-A	47.10 ± 0,28 <sup>d</sup>	2.05 ± 0,09 <sup>b</sup>	2.51 ± 0,24 <sup>c</sup>	5.97 ± 0,26 <sup>c,d</sup>

PSL: pan sin leguminosas, PL: pan de lenteja, PS: pan de soya, PA: pan de alberjón, PS-A: pan de soya + alberjón, PS-L: pan de soya + lenteja, PL-A: pan de lenteja + alberjón. Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) Resultados expresados como la media de tres repeticiones ± SD

### 6.3 Determinación de volumen específico

El volumen específico del pan es considerado como uno de los criterios más importantes en la evaluación de la calidad, ya que proporciona mediciones

cuantitativas con respecto al rendimiento del horneado (Miñarro *et al.*, 2012). Las proteínas del gluten son responsables no sólo de la cohesividad y propiedades viscoelásticas, sino también de la interacción proteína-almidón que está directamente relacionada con la habilidad para retener el gas producido durante la fermentación.

Además del gluten, la adición de gomas y emulsificantes mejoran el volumen de los panes permitiendo la retención de burbujas de aire en la masa y proporcionan estabilidad durante el horneado (Demirkesen *et al.*, 2010). La adición de emulsificantes (Esteres del ácido diacetil tartárico de mono y diglicéridos) a productos leudados mejora la tolerancia al mezclado, permite mayor retención de gas y favorece el volumen (Ribotta *et al.*, 2004).

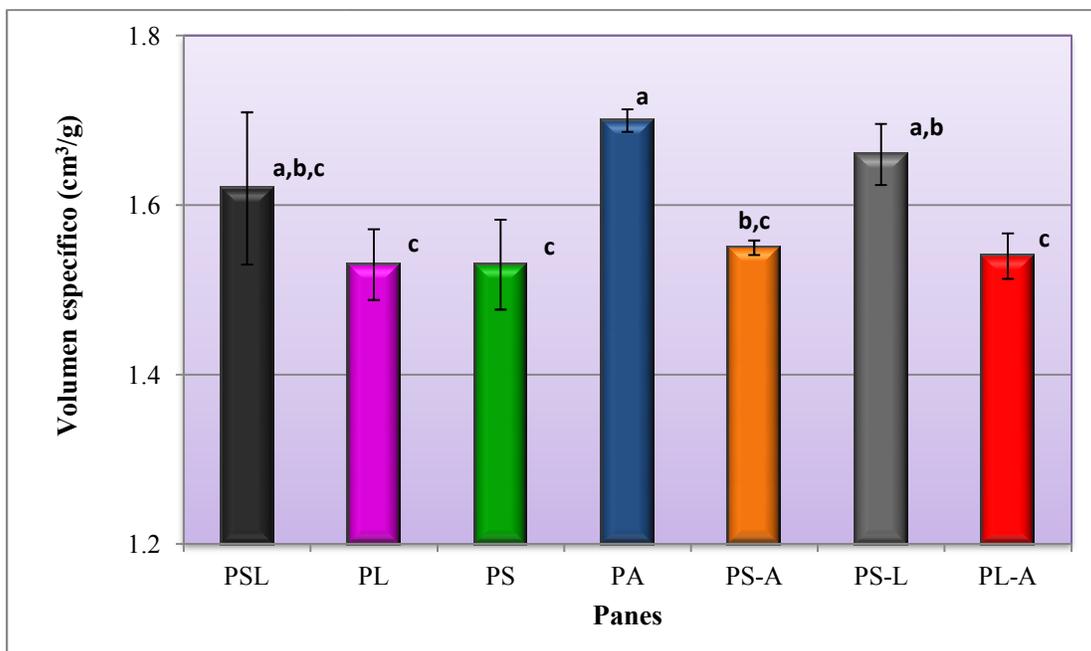
En la Figura 29 se observan los resultados del volumen específico realizado a las 7 formulaciones. Todas las variables medidas mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ).

El volumen específico de los panes resultó con diferencias entre los adicionados con leguminosas y las combinaciones entre ellas, sin embargo, no entre éstos y el PSL (Figura 33). El pan que presentó mayor volumen fue PA ( $1.70 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) seguido de las combinaciones PS-L ( $1.66 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), PSL ( $1.62 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), PS-A ( $1.55 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), PL-A ( $1.54 \text{ cm}^3/\text{g}$ ), PS y PL ( $1.53 \text{ cm}^3/\text{g}$ ).

De acuerdo con el trabajo de Demirkesen *et al.* (2010) al utilizar goma xantana como hidrocoloide, el volumen específico observado en sus panes ( $0.8\text{-}1.3 \text{ cm}^3/\text{g}$ )

fue menor al presentado en este trabajo. Sin embargo, Demirkesen *et al.* (2010) trabajaron con diferentes hidrocoloides y encontraron que a pesar de que la goma xantana presenta altas propiedades viscoelásticas, el volumen específico de los panes no fue alto. Esto es debido a que el sistema generado en la masa es muy rígido para la incorporación de gas provocando que el volumen específico tenga valores bajos. Por su parte, Lazaridou *et al.* (2007) también reportaron que la goma xantana tuvo el más pronunciado efecto en propiedades viscoelásticas en masas de trigo y que el volumen de los panes incrementó con la adición de hidrocoloides estudiados, excepto la goma xantana.

En un estudio realizado por Álvarez *et al.* (2010) en panes libres de gluten a base de amaranto, quinoa y alforfón se encontró que el volumen específico de dichos panes es de 1.31, 1.40 y 1.63 (ml/g) respectivamente, lo cual nos indica que los panes realizados en el presente trabajo se encuentran dentro de los valores reportados en otras investigaciones.



**Figura 29.** Volumen específico del pan libre de gluten sin leguminosas y los adicionados (cm<sup>3</sup>/g)

PSL: pan sin leguminosas, PL: pan de lenteja, PS: pan de soya, PA: pan de alberjón, PS-A: pan de soya + alberjón, PS-L: pan de soya + lenteja, PL-A: pan de lenteja + alberjón. Letras diferentes representan diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) Resultados expresados como la media de tres repeticiones  $\pm$  SD

#### 6.4 Pérdida de peso por horneado y rendimiento (%)

En la Tabla 16 se observan los resultados del porcentaje de pérdida de peso y rendimiento de cada uno de los panes libres de gluten, sólo dos panes mostraron diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) para cada caso.

La mayor pérdida de peso la presentó el PA, con 17.63%; seguida de PSL, PL, PS, PL-A y PS-A (16.83, 16.74, 16.69, 16.46 y 16.33 %, respectivamente). El pan PS-L presentó la menor pérdida de peso por horneado de las 7 formulaciones, con 15.62%.

El mayor rendimiento lo obtuvo el pan PS-L, con 84.39%; seguido de PS-A, PL-A, PS, PL y PSL (83.67, 83.55, 83.32, 83.26 y 83.17 %, respectivamente). El pan con el menor rendimiento fue PA, con 82.37%.

Finalmente, tanto la pérdida de peso como el rendimiento se relacionan con la capacidad de retención de agua de las harinas, siendo PA el que eliminó la mayor cantidad de agua libre. Los panes que presentaron diferencia estadística significativa entre ellos son el PA y PS-L.

**Tabla 16.** Pérdida de peso por horneado y rendimiento en panes libres de gluten

PANES	PÉRDIDA DE PESO (%)	RENDIMIENTO (%)
PSL	16.83 ± 0.24 <sup>a,b</sup>	83.17 ± 0.24 <sup>a,b</sup>
PL	16.74 ± 0.06 <sup>a,b</sup>	83.26 ± 0.06 <sup>a,b</sup>
PS	16.69 ± 0.59 <sup>a,b</sup>	83.32 ± 0.59 <sup>a,b</sup>
PA	17.63 ± 0.66 <sup>a</sup>	82.37 ± 0.66 <sup>b</sup>
PS-A	16.33 ± 0.44 <sup>a,b</sup>	83.67 ± 0.44 <sup>a,b</sup>
PS-L	15.62 ± 1.83 <sup>b</sup>	84.39 ± 1.83 <sup>a</sup>
PL-A	16.46 ± 0.62 <sup>a,b</sup>	83.55 ± 0.62 <sup>a,b</sup>

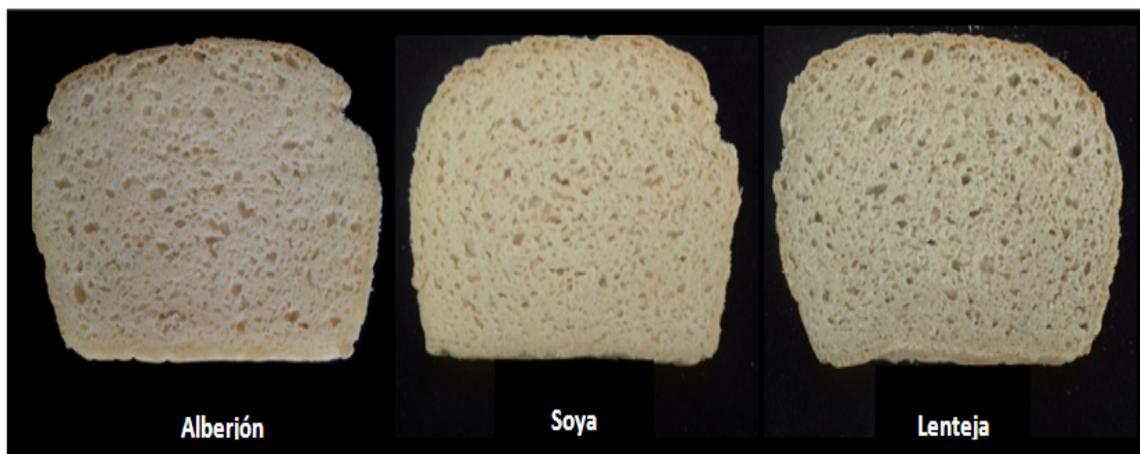
PSL: pan sin leguminosas, PL: pan de lenteja, PS: pan de soya, PA: pan de alberjón, PS-A: pan de soya + alberjón, PS-L: pan de soya + lenteja, PL-A: pan de lenteja + alberjón. Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa (p<0.05) Resultados expresados como la media de tres repeticiones ± SD

### 6.5 Descripción de la estructura de la miga

De acuerdo con Scanlon y Zghal (2001) se realizó la descripción de la estructura de la miga por el método tradicional, el cual se basa en la visión humana.

La estructura de la miga de cada uno de los panes libres de gluten se observan en las Figuras 30, 31 y 32.

Al analizar las rebanadas de pan de alberjón (PA), soya (PS) y lenteja (PL) en la Figura 30, se puede mencionar que PS y PL presentan mayor número de celdas, además de una miga mucho más uniforme que PA; este último presenta un menor número de celdas y estas no son homogéneas. Corroborando esta información con el parámetro de textura (dureza), se puede confirmar que la miga para PA fue más compacta con una distribución en la miga menos homogénea, lo que se ve reflejado en un pan mucho más duro (dureza 27.73N ver Tabla 17).



**Figura 30.** Estructura de la miga de panes con una sola leguminosa (PA, PS y PL).

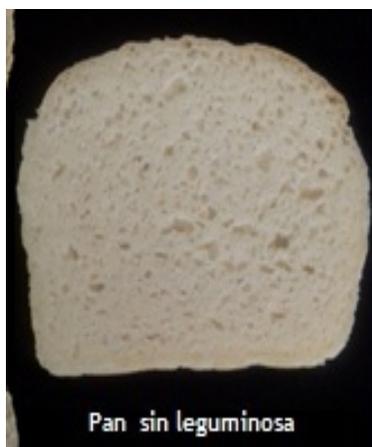
Los panes de mezcla de leguminosas (PL-A, PS-L y PS-A) se observan en la Figura 31, su estructura de la miga presenta buen número de celdas aunque no son homogéneas; algunas celdas son grandes pero la mayoría son de menor tamaño. Para PL-A y PS-A las celdas pudiera decirse que son más homogéneas que en PS-L.



**Figura 31.** Estructura de la miga de panes con mezcla de leguminosas (PL-A, PS-L y PS-A).

En la rebanada de pan sin leguminosas (PSL) Figura 32, se presenta una miga mucho más compacta, con menor número de celdas y no son homogéneas en tamaño y forma.

Un mayor número de celdas en la miga nos indica que el  $\text{CO}_2$  producido en la fermentación quedó atrapado en la red tridimensional durante la formación de la masa y estabilizado durante el proceso de horneado. Esto contribuye a mejorar la calidad del pan.



**Figura 32.** Estructura de la miga de pan sin adición de leguminosas (PSL)

## 6.6 Análisis de Perfil de Textura (APT)

En la Tabla 17 se muestran los resultados obtenidos por el análisis de perfil de textura (APT), todas las variables medidas mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

En el parámetro de dureza, de las 7 formulaciones realizadas los panes que mostraron mayor dureza fueron PA (27.73N) y PSL (27.37N). Mientras tanto, el PS presentó la menor dureza con 19.25 N, seguido de las combinaciones PS-A y PL-A (25.56N y 25.50N respectivamente), aunque estos últimos presentan diferencia significativa con PS. De acuerdo con Miñarro *et al.* (2012) el pan de soya tuvo una dureza de 5.59 N, quiere decir que, presenta una dureza mucho menor al PS realizado en este proyecto y una dureza parecida hasta el día 5 de su estudio 19.23 N. Además, estos valores de dureza se correlacionan con el análisis visual de estructura de la miga donde se apreció que PA, PS-L y PSL presentaron miga más compacta, con menor número de celdas y no homogéneas; indicando que la incorporación y retención de aire en el sistema no fue el adecuado, favoreciendo así la dureza.

Dos aspectos importantes dentro del parámetro de dureza es la capacidad de retención de agua y el porcentaje de proteína, ya que, en la investigación realizada por Totosaus *et al.* (2013) se hace referencia a que la adición de proteína vegetal afecta la hidratación y desarrollo de la red de gluten compitiendo por el agua disponible. Por lo tanto, la dureza del pan es directamente relacionada con el

contenido de humedad, siendo afectada por la capacidad de hidratación de la proteína.

Así mismo, Gallagher *et al.* (2003) sostiene que al incrementar la adición de agua fue reducida la dureza. Sin embargo, es importante mencionar que un elevado contenido de humedad es fuertemente relacionado con la retrogradación del almidón, lo que se traduce al envejecimiento del pan.

Por otro lado, la cohesividad de los panes presentó diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ), las formulaciones que mostraron mayor cohesividad al momento del estudio fueron PSL, PA (0.81 ambas) y PL (0.77). Los panes con menor cohesividad fueron PS y PS-A (0.68 y 0.64 respectivamente). PS mostró menor dureza, una buena opción en el pan libre de gluten. Sin embargo, no resultó tan cohesivo como las otras formulaciones, esto quiere decir que la fuerza de los enlaces internos no es tan grande.

De acuerdo con el estudio realizado por Miñarro *et al.* (2012) su valor de cohesividad es mucho menor (0.56, 0.33 y 0.28) para un pan de soya a diferentes días. Por lo tanto, la fuerza de los enlaces internos se ve afectada por el tiempo.

La elasticidad de los panes también presentaron diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ), siendo los panes PS-L, PS-A y PL-A (6.10, 5.97 y 5.87 mm respectivamente) los que presentaron mayor elasticidad. Esto quiere decir que el pan libre de gluten se vio favorecido por la combinación de leguminosas, ya que los panes con una leguminosa o sin ella, obtuvieron valores por debajo de éstos

(Tabla 17). Según Miñarro *et al.* (2012) el pan de soya presentó el más alto valor de elasticidad; sin embargo, en esta investigación los panes más elásticos fueron los de combinación de leguminosas (PS-L, PS-A y PL-A).

Además de la combinación de leguminosas, la elasticidad de los panes mejoró notablemente con la adición de goma xantana, tal y como sugiere Lazaridou *et al.* (2007), quienes mostraron que la elasticidad y resistencia a la deformación fue mayor cuando se utilizó goma xantana y en menor medida al utilizar carboxi metil celulosa, pectina, agarosa y B-glucano.

En el parámetro de resiliencia los panes mostraron diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ), de las 7 formulaciones realizadas, los panes PSL, PA y PS-L presentaron mayor resiliencia al momento del estudio (0.64, 0.63 y 0.54 respectivamente), lo que significa que estos panes se recuperan mucho mejor a la deformación, esto en relación a la velocidad y fuerza aplicada. Sin embargo, los panes PS, PS-A, PL y PL-A son los menos resilientes (0.48, 0.48, 0.47 y 0.42 respectivamente).

En masticabilidad todos los panes mostraron diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ), de las 7 formulaciones realizadas los panes PA, PS-L, PSL y PL presentaron un valor de masticabilidad más alto que el resto de los panes al momento del estudio (116.49, 115.91, 113.30 y 112.91 Nmm, respectivamente). De manera similar, el parámetro de dureza fue mayor para estos panes, lo que comprueba que éstos son más duros y por lo tanto, requieren más energía para masticarse y dejar el producto listo para tragarse. De manera contraria, el pan que

requirió menos energía para masticarse y cuyo valor de masticabilidad fue el menor fue el PS (70.80 Nmm). Los panes PS-A y PL-A obtuvieron un valor de masticabilidad intermedia dentro de las formulaciones (98.17 Nmm y 96.95 Nmm respectivamente).

En general, de acuerdo con el APT realizado a las 7 formulaciones de pan libre de gluten, la adición de leguminosas ayuda a mejorar la calidad del pan ya que produce panes menos duros, e incrementan su elasticidad; pero los panes son menos resilientes, aunque con mejor masticabilidad. Además, la combinación de leguminosas (PS-L, PS-A y PL-A) produjo panes más elásticos que cuando se utilizó solo una leguminosa (PL, PS y PA).

De acuerdo con el APT y las propiedades fisicoquímicas, podemos decir que un aspecto importante para que los panes libres de gluten presenten características similares al pan de trigo se requiere de un adecuado contenido de agua y una buena interacción entre la proteína-almidón, ya que el almidón tiene la capacidad de retener agua y junto con las proteínas presentes en los ingredientes de cada formulación más la adición de emulsificantes e hidrocoloides, formarán una red polimérica de proteínas y almidón gelatinizado más fuerte, lo que genera la similitud de la red de gluten que otorgará mejores características a las masas.

Otro aspecto importante que no se ha mencionado y que determina la textura de los panes es el proceso de mezclado. Si bien, este proceso facilita la hidratación de las harinas y demás ingredientes favoreciendo el desarrollo de la red de gluten e incorporando aire al sistema, también puede alterar la viscosidad o fluidez de la

masa afectando significativamente la textura de los panes. Una de las propiedades que se ve mayormente alterada es la elasticidad porque afecta la capacidad de retención de aire de la masa.

Tabla 17. Análisis de Perfil de Textura (APT)

PANES	DUREZA (N)	COHESIVIDAD	ELASTICIDAD (mm)	RESILIENCIA	MASTICABILIDAD (Nmm)
PSL	27.37 ± 0.37 <sup>a,b</sup>	0.81 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.12 ± 0.09 <sup>c</sup>	0.64 ± 0.01 <sup>a</sup>	113.30 ± 3.94 <sup>a</sup>
PL	26.46 ± 0.37 <sup>c</sup>	0.77 ± 0.04 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.18 <sup>b</sup>	0.47 ± 0.12 <sup>b,c</sup>	112.91 ± 7.44 <sup>a</sup>
PS	19.25 ± 0.65 <sup>e</sup>	0.68 ± 0.04 <sup>b,c</sup>	5.33 ± 0.16 <sup>b,c</sup>	0.48 ± 0.05 <sup>b,c</sup>	70.80 ± 8.31 <sup>c</sup>
PA	27.73 ± 0.59 <sup>a</sup>	0.81 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.19 ± 0.13 <sup>c</sup>	0.63 ± 0.02 <sup>a</sup>	116.49 ± 5.37 <sup>a</sup>
PS-A	25.56 ± 0.39 <sup>d</sup>	0.64 ± 0.01 <sup>c</sup>	5.97 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.48 ± 0.06 <sup>b,c</sup>	98.17 ± 2.31 <sup>b</sup>
PS-L	26.75 ± 0.20 <sup>b,c</sup>	0.71 ± 0.02 <sup>b</sup>	6.10 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.03 <sup>a,b</sup>	115.91 ± 5.63 <sup>a</sup>
PL-A	25.50 ± 0.17 <sup>d</sup>	0.64 ± 0.03 <sup>c</sup>	5.87 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.06 <sup>c</sup>	96.95 ± 6.02 <sup>b</sup>

PSL: pan sin leguminosas, PL: pan de lenteja, PS: pan de soya, PA: pan de alberjón, PS-A: pan de soya + alberjón, PS-L: pan de soya + lenteja, PL-A: pan de lenteja + alberjón. Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa (P<0.05) Resultados expresados como la media de tres repeticiones ± SD

## **6.7 Reología de las masas**

Una propiedad importante que se asocia con la textura de los panes es su comportamiento reológico. La reología es el estudio de la deformación y flujo de materias primas, productos intermedios y productos terminados. Las propiedades reológicas y texturales están íntimamente relacionadas con las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los ingredientes, determinando así el comportamiento de las masas libres de gluten durante el manejo mecánico, además de su influencia en la calidad del pan libre de gluten (Rodríguez *et al.*, 2005).

### **6.7.1 Propiedades de flujo**

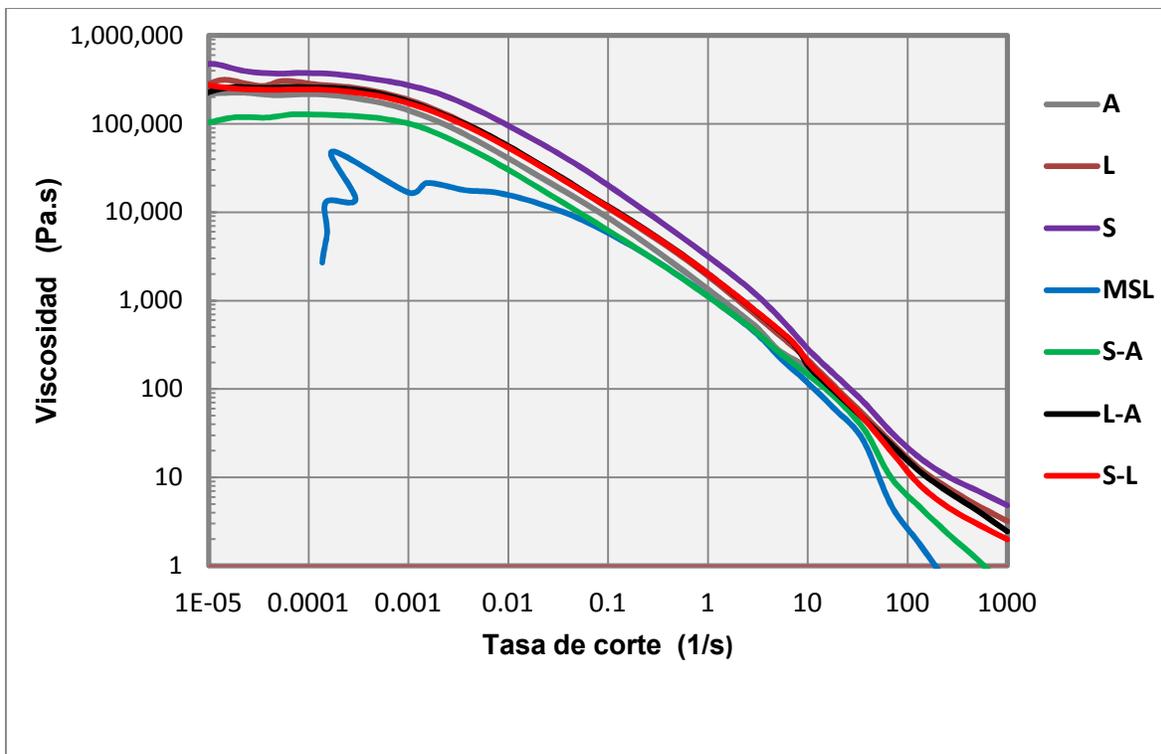
Las propiedades reológicas de las masas dependen de la naturaleza, proporciones e interacciones entre las harinas, almidón, proteína e ingredientes que contiene cada una de las formulaciones realizadas. Por tal motivo, las propiedades reológicas influirán de manera importante en la calidad y características de los panes libres de gluten.

Las propiedades reológicas de las masas dependerán en gran medida de la capacidad que tiene el almidón para retener el agua, ya que, la masa es un sistema complejo e inestable formado por una red polimérica de proteínas y almidón gelatinizado, lo que genera una estructura única que otorga las características texturales y reológicas a los panes (Rodríguez *et al.*, 2005). La interacción que existe entre la proteína-almidón es relacionada con la habilidad de la masa para retener el gas durante la fermentación (Demirkesen *et al.*, 2010).

En la Figura 33 se muestran las curvas de flujo realizadas para conocer la viscosidad aparente de las masas con una tasa de corte de  $10^{-5}$  a  $10^3 \text{ s}^{-1}$ . A tasas de corte menores de  $10^{-3}$  se tiene un comportamiento newtoniano (viscosidad constante), dando como resultado que la masa se deforme, pero podría recuperar su estado original en gran medida; mientras que a tasas mayores de  $10^{-3}$  se comporta como no newtoniano (viscosidad dependiente de la tasa de corte), mostrando un descenso en la viscosidad del sistema llamado comportamiento reo-adelgazante y resultando en un rompimiento de los enlaces.

Para todas las masas que contienen leguminosas (S, L, A, L-A, S-L y S-A) su comportamiento de viscosidad aparente fue muy similar ( $>10^5 \text{ Pa.s}$ ); sin embargo, se puede observar que S, presentó la mayor viscosidad (475,000 Pa.s). Por otra parte, la masa sin leguminosas (MSL) mostró una curva de flujo diferente en todo el intervalo de evaluación al no estabilizarse las mediciones y comportándose como un fluido no newtoniano durante todo el estudio, además presentó los menores valores de viscosidad.

De manera general, las masas mostraron un comportamiento típico de masas utilizadas para panificación, favoreciendo así la calidad y producción de panes libres de gluten (Magaña-Barajas *et al.*, 2009).



**Figura 33.** Curvas de flujo de las masas

### 6.7.2 Propiedades de oscilación

En la Figura 34 se observan los barridos de amplitud (0.01- 100% deformación) mostrando los módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ), los cuales tienen una región de comportamiento viscoelástico lineal (RVEL). La región viscoelástica lineal es importante ya que indica el equilibrio entre el esfuerzo y la deformación aplicada.

Los barridos de amplitud realizados a las masas mostraron diferencias en su comportamiento reológico debido a la leguminosa adicionada. Los valores de  $G'$  indican que la RVEL de las masas se extendieron hasta aproximadamente una deformación de 0.1%. Todas las masas presentaron un comportamiento similar

caracterizado por una región lineal con un valor constante de  $G'$  a deformaciones bajas, seguido por una disminución a altas deformaciones.

El módulo elástico ( $G'$ ) de cada una de las masas fue S ( $4.9 \times 10^4$  Pa), L-A ( $4.30 \times 10^4$  Pa), S-L ( $3.21 \times 10^4$  Pa), A ( $3.17 \times 10^4$  Pa), L ( $3.05 \times 10^4$  Pa), S-A ( $2.99 \times 10^4$  Pa) y MSL ( $1.39 \times 10^4$  Pa). Valores mayores de  $G'$  indican la existencia de interacciones más fuertes entre los elementos de la red tridimensional formada en cada formulación. Estos valores de  $G'$  confirman lo analizado en el APT, ya que el pan PSL presentó mayor dureza y menor elasticidad y su valor de  $G'$  fue el menor en comparación con los adicionados de leguminosas; de manera similar el PS presentó menor dureza y una  $G'$  mayor. Esto confirma que su masa tiene características más elásticas.

De acuerdo con la Figura 34, se puede observar claramente que la masa S presentó valores mayores de  $G'$  que el resto de las masas, esto se debe a que la soya contiene una alta cantidad de proteína, debido a esto, atrapa más agua para su hidratación y por lo tanto se torna más sólida.

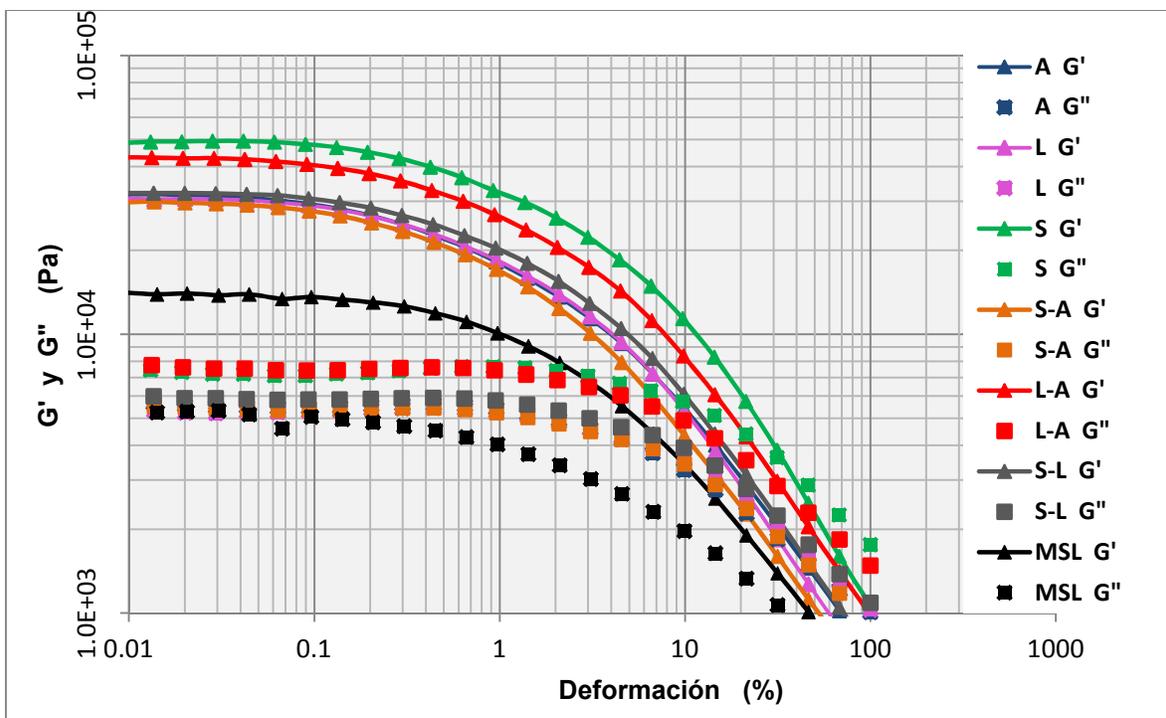
El comportamiento del módulo viscoso ( $G''$ ) de las masas mostró tendencias similares a  $G'$ . La RVEL de todas las masas se extendió hasta aproximadamente una deformación de 2%. Todas las masas presentaron un comportamiento similar, un valor constante a bajo % de deformación y una disminución en el módulo viscoso a deformaciones altas. El valor del módulo viscoso ( $G''$ ) de cada una de las masas fue L-A ( $7.75 \times 10^3$  Pa), S ( $7.44 \times 10^3$  Pa), S-L ( $5.99 \times 10^3$  Pa), A ( $5.66 \times 10^3$  Pa), S-A ( $5.52 \times 10^3$  Pa), L ( $5.32 \times 10^3$  Pa) y MSL ( $5.25 \times 10^3$  Pa).

En la Figura 34 se observa que a mayores % de deformación ambos módulos mostraron una disminución en el valor  $G'$  y  $G''$ , presentando un comportamiento viscoelástico no-lineal.

También se observó que el valor de los módulos elásticos ( $G'$ ) fue mayor que los viscosos, significando que las masas se comportan más como sólidos elásticos que como líquidos.

La RVEL de todas las masas presentó módulos más elásticos ( $G'$ ) que viscosos ( $G''$ ) en el rango de deformación utilizado, lo que confirma que las masas adicionadas con leguminosas presentan un buen comportamiento viscoelástico para la elaboración de panes libres de gluten, ya que de acuerdo con Magaña-Barajas *et al.* (2009) un alto valor de  $G'$  sugiere una fuerza mayor en la masa dada por las proteínas. En la investigación de Torbica *et al.* (2010) mostraron un comportamiento viscoelástico similar, módulos elásticos más altos y viscosos más bajos; esto utilizando harina de arroz y alforfón, ellos observaron un leve incremento al aumentar la frecuencia (1-10Hz) conduciendo a un comportamiento típico de un tipo-gel.

Tanto en el módulo elástico ( $G'$ ) como el viscoso ( $G''$ ) las masas que presentaron un mejor comportamiento son S y L-A, indicando que sus interacciones son más fuertes y al mismo tiempo que los panes formulados bajo esas condiciones presentan mejor perfil de textura (menor dureza, panes más elásticos y mejor masticabilidad) y por consiguiente pueden ser panes más aceptables tanto textural como sensorialmente.



**Figura 34.** Comportamiento reológico de las masas G' (Módulo elástico o de almacenamiento) y G'' (Módulo viscoso o de pérdida)

### 6.8 Evaluación de color

En la Tabla 18 se muestran los resultados del análisis de color realizado al pan sin leguminosas (PSL) y los adicionados (PL, PS, PA, PS-A, PS-L, PL-A) (Figura 35). Todas las variables medidas se vieron afectadas por el tipo de leguminosa y las combinaciones, observando diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). En corteza, los panes PS y PA presentaron mayor luminosidad ( $L^*$ ) que el resto (69.28 y 69.21 respectivamente); sin embargo, la menor  $L^*$  fue para el pan de combinación PS-A (59.12). De manera similar los valores de  $b^*$  fueron mayores para PSL, PS y PA (34.17, 33.01 y 32.46 respectivamente); siendo la corteza de

estos panes más amarilla que PL-A (29.60) y PL (28.68). Los valores de  $a^*$  en la corteza fueron positivos, excepto para PS (-0.51), lo que significa que tiene más tonalidad roja que verde.

El valor más alto de  $L^*$  (más luminoso) presentado en la miga fue para PSL (74.58), mientras que la  $L^*$  más baja (oscura) fue en PL (60.39) y PS-L (59.72). Para los valores de  $b^*$ , los panes con miga más amarilla fueron PS-A, PS y PA (25.14, 24.98 y 24.94). Los valores de  $a^*$  en la miga presentaron el caso contrario a lo observado en la corteza, los valores fueron negativos lo que significa que presentan tonalidades verdes y no rojas.

Los valores bajos de  $L^*$  se deben principalmente a la caramelización y reacciones de Maillard, que están influenciados por la distribución de agua y la reacción entre azúcares reductores y aminoácidos (Gallagher *et al.*, 2003). Dicho de otra manera, el oscurecimiento de la corteza ( $L^*$  bajo) es debido a la adición de polvos lácteos (proporcionan lactosa y aminoácidos esenciales disponibles) que favorecen las reacciones; lo cual es deseable, ya que los panes sin gluten tienden a tener un color de corteza más claro que un pan de trigo. Por su parte, Álvarez *et al.* (2010) elaboraron pan libre de gluten con pseudocereales y evaluaron la luminosidad de los panes presentando valores de  $L^*$  entre 51.4 y 69.7. Estos valores son muy similares a los presentados en el presente trabajo.



**Figura 35.** Color de corteza y miga de los panes libres de gluten

**Tabla 18.** Análisis de color en corteza y miga de panes libres de gluten

PANES	CORTEZA			MIGA		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
PSL	67.53 ± 0.57 <sup>b</sup>	3.25 ± 0.41 <sup>b</sup>	34.17 ± 0.30 <sup>a</sup>	74.58 ± 0.43 <sup>a</sup>	-2.59 ± 0.36 <sup>d</sup>	21.70 ± 0.58 <sup>b</sup>
PL	63.02 ± 0.88 <sup>c,d</sup>	0.47 ± 0.15 <sup>e</sup>	28.68 ± 0.75 <sup>e</sup>	60.39 ± 0.58 <sup>f</sup>	-0.73 ± 0.51 <sup>a</sup>	19.77 ± 0.23 <sup>d</sup>
PS	69.28 ± 0.44 <sup>a</sup>	-0.51 ± 0.60 <sup>f</sup>	33.01 ± 0.69 <sup>b</sup>	71.43 ± 0.46 <sup>c</sup>	-1.80 ± 0.31 <sup>b,c</sup>	24.98 ± 0.06 <sup>a</sup>
PA	69.21 ± 0.44 <sup>a,b</sup>	1.83 ± 0.47 <sup>c</sup>	32.46 ± 0.82 <sup>b,c</sup>	70.27 ± 0.72 <sup>d</sup>	-1.99 ± 0.35 <sup>c,d</sup>	24.94 ± 0.50 <sup>a</sup>
PS-A	59.12 ± 0.81 <sup>e</sup>	7.24 ± 0.30 <sup>a</sup>	30.79 ± 0.56 <sup>d</sup>	72.61 ± 0.20 <sup>b</sup>	-2.22 ± 0.15 <sup>c,d</sup>	25.14 ± 0.24 <sup>a</sup>
PS-L	64.08 ± 0.78 <sup>c</sup>	0.69 ± 0.45 <sup>d,e</sup>	31.52 ± 0.58 <sup>c,d</sup>	59.72 ± 0.40 <sup>f</sup>	-1.16 ± 0.60 <sup>a,b</sup>	20.54 ± 0.22 <sup>c</sup>
PL-A	62.77 ± 0.52 <sup>d</sup>	1.28 ± 0.24 <sup>c,d</sup>	29.60 ± 0.58 <sup>e</sup>	62.72 ± 0.75 <sup>e</sup>	-1.67 ± 0.25 <sup>b,c</sup>	20.46 ± 0.17 <sup>c</sup>

Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa (P<0.05) Resultados expresados como la media de tres repeticiones ± SD

## 6.9 Análisis microbiológico

Los resultados del análisis microbiológico realizado en los panes para detectar la presencia de hongos y levaduras se muestran en la Tabla 19. Dicho análisis fue realizado por triplicado al tiempo 0, 5 y 7 días de almacenamiento (temperatura ambiente), para cada uno de los panes libres de gluten.

Los panes PL, PS y PA no presentaron crecimiento microbiano para ningún tiempo de almacenamiento. Para el pan PSL y PS-A hubo crecimiento a partir del día 7 de almacenamiento con presencia de 333 UFC/g. El PS-L presentó crecimiento de  $6.6 \times 10^3$  UFC/g al día 5, la cual se incrementó a  $1.6 \times 10^4$  UFC/g al día 7 de almacenamiento. Para PL-A también hubo crecimiento a partir del día 7 con presencia de  $1.6 \times 10^3$  UFC/g.

Se estima que 1g de harina puede contener 8,000 esporas. Sin embargo, el pan recién horneado está libre de hongos debido a la destrucción térmica de microorganismos sufrida durante el horneado (Miñarro *et al.*, 2012). Considerando así que llegan a ser contaminados durante el proceso de enfriamiento y la manipulación al ser empacados.

Además en el caso de los panes libres de gluten, éstos son más susceptibles al crecimiento debido principalmente al contenido de agua presente en los panes, sin el cual no sería posible la adecuada hidratación y formación de la masa.

Por otra parte, para la evaluación microbiológica de los panes, se consideraron las NOM establecidas para pan elaborado con harina de trigo, ya que actualmente no

existe norma que regule los panes libres de gluten adicionados con leguminosas. En el análisis a materias primas (harina de arroz y leguminosas, almidón de maíz, proteína concentrada de suero) no se detectó crecimiento microbiano a las 72 horas de incubación a  $30 \pm 1$  °C.

**Tabla 19.** Análisis microbiológico (cuenta de hongos y levaduras) a panes libres de gluten

PANES	UFC / g		
	0 días	5 días	7 días
PSL	ND*	ND*	333
PL	ND*	ND*	ND*
PS	ND*	ND*	ND*
PA	ND*	ND*	ND*
PS-A	ND*	ND*	333
PS-L	ND*	$6.6 \times 10^3$	$1.6 \times 10^4$
PL-A	ND*	ND*	$1.6 \times 10^3$

Resultados expresados como la media de tres repeticiones  
ND\*: No detectado

### 6.10 Análisis sensorial

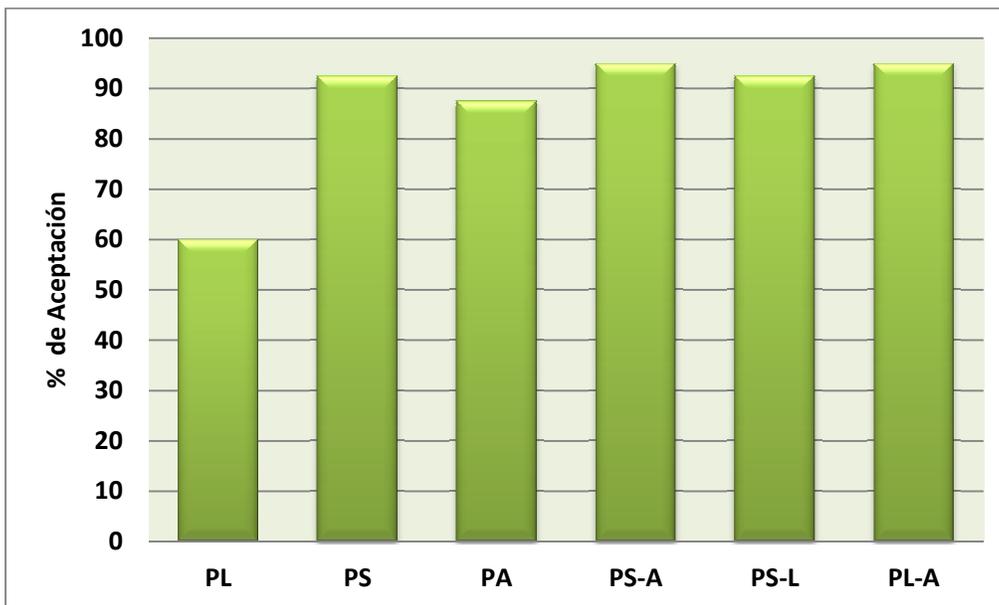
Los resultados de la evaluación sensorial se observan en la Figura 36, en la que se realizó una prueba de aceptación (Acceptance Test) a los panes libres de gluten. Los panes con mayor aceptación fueron los de combinación binaria de leguminosas PS-A y PL-A (ambos con 95% de aceptación), seguidos de PS-L y PS (con 92.5%), y PA (con 87.5%).

El pan PL presentó menor aceptación (solo 60%), por lo que se encuentra en última opción.

Los panelistas mencionaron que los panes PS-A y PL-A presentan un sabor, color y aroma agradables, muy similares a los del pan blanco, además de mejor porosidad y consistencia en la miga. En términos generales, tienen buena textura y apariencia general.

El PL fue de menor aceptación, debido a que los panelistas percibieron un sabor muy fuerte (amargo) causado por la presencia de lenteja, además del color diferente de la miga llegando a observarlo como gris; y al momento de la degustación lo percibieron seco y de consistencia no adecuada.

De acuerdo con el análisis sensorial realizado, en general, la adición de leguminosas en los panes libres de gluten no afecta negativamente a las propiedades sensoriales. Al contrario, su adición ayuda a mejorar la calidad nutricional de éstos. Además se confirmó, mediante este análisis y el APT, que la combinación de leguminosas ayuda considerablemente a la apariencia general de los panes; y que su textura (menor dureza y mayor elasticidad), sabor, color y aroma son más agradables.



**Figura 36.** Análisis sensorial de panes libres de gluten

PL: pan de lenteja, PS: pan de soya, PA: pan de alberjón, PS-A: pan de soya + alberjón, PS-L: pan de soya + lenteja, PL-A: pan de lenteja + alberjón.

## 7 CONCLUSIONES

Las harinas de leguminosas (HL, HS, HA) procesadas para su utilización en la elaboración del pan libre de gluten resultaron de gran utilidad en el mejoramiento de la calidad de los panes formulados. Por su parte, las masas presentaron un buen comportamiento viscoelástico, lo que representa una buena alternativa para que estas harinas sean utilizadas en el proceso de elaboración del pan libre de gluten.

Pese a las grandes dificultades tecnológicas en la producción de pan libre de gluten, los seis panes libres de gluten que fueron adicionados de leguminosas (PL, PS, PA, PS-L, PS-A y PL-A) cumplen con características aceptables de color, sabor, olor y textura; además de contar con un incremento del valor nutritivo del pan debido al mejor equilibrio de aminoácidos esenciales de cereales y leguminosas.

La adición de leguminosas mejoró la calidad del pan, ya que resultaron panes menos duros, más elásticos y con mejor masticabilidad; también se observó que la combinación de leguminosas (PS-L, PS-A y PL-A) produce panes más elásticos que cuando se utiliza solo un tipo de leguminosa (PL, PS y PA).

Los panes PS-A y PL-A presentan un sabor, color y aroma agradables, muy similares al pan blanco; tienen buena textura, calidad de la miga y apariencia. La aceptación fue del 95%, lo que hace que puedan competir con un pan blanco. El PS también presenta buenas características sensoriales y aceptación del 92.5%.

## 8 ANEXOS

### 8.1 Formato utilizado en la evaluación sensorial prueba de aceptación (Acceptance Test)

PAN LIBRE DE GLUTEN				Serie: 1
INSTRUCCIONES: Indique con una "✓" su aceptación al probar cada muestra de pan presentada.				
Muestra	Acepta:	Sí	No	
720		_____	_____	
115		_____	_____	
307		_____	_____	
Describa brevemente ¿Por qué? :				
720:	_____			
	_____			
115:	_____			
	_____			
307:	_____			
	_____			
¡GRACIAS POR TU PARTICIPACION!				

PAN LIBRE DE GLUTEN				Serie: 2
INSTRUCCIONES: Indique con una "✓" su aceptación al probar cada muestra de pan presentada.				
Muestra	Acepta:	Sí	No	
641		_____	_____	
857		_____	_____	
123		_____	_____	
Describa brevemente ¿Por qué? :				
641:	_____			
	_____			
857:	_____			
	_____			
123:	_____			
	_____			
¡GRACIAS POR TU PARTICIPACION!				

Serie 1: panes PS, PL y PA

Serie 2: panes PS-L, PS-A y PL-A

8.2 Reconocimiento de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química, A.C.



Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ  
9 al 12 de Mayo de 2017, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México

## DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PANES LIBRES DE GLUTEN ADICIONADOS CON DIFERENTES LEGUMINOSAS

Lorena Mondragón Reinoso\*, María Aurora Martínez Trujillo\*, María Eva Rodríguez Huevo\*

\*Departamento de Química y Bioquímica, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico S/N, Col. Valle de Anáhuac, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55210, México. eva\_rodriguez\_huevo@hotmail.com

### Resumen

Se diseñaron panes libres de gluten de características sensoriales aceptables, a partir de harina de arroz (HZ), almidón de maíz (AM) y harina de leguminosas como lenteja (L), soya (So) y alberjón (A); así como las combinaciones (So-L, So-A y L-A) y un pan sin leguminosas (PSL). Los panes adicionados de soya y lenteja (PSo, PL) presentaron mayor contenido de grasa (4.46% y 3.19% respectivamente) que PA, PSo-L, PSo-A, PL-A y PSL. PSo tuvo la mayor concentración de proteína 7.33%, seguido de PSo-L, PSo-A, PL y PL-A; PSL fue el de menor concentración 4.44%. El volumen específico de los panes adicionados con leguminosas presentaron diferencia significativa entre ellos, pero no con respecto a PSL. Respecto al Análisis de Perfil de Textura (APT), PSo-L, PSo-A y PL-A presentaron mayor elasticidad; PSL y PA mostraron mayor cohesividad, resiliencia y dureza. Las cortezas de PSo y PA presentaron mayor luminosidad ( $L^*$ ), pero en miga fue PSL. Todos los panes tendieron a valores positivos de  $b^*$  (amarillo). Todas las masas presentaron valores mayores del módulo elástico que del viscoso.

### Introducción

El pan de trigo ha sido considerado por siglos como uno de los principales productos alimenticios. Es nutricionalmente pobre debido a que las proteínas de cereales son deficientes en aminoácidos esenciales tales como lisina, triptófano y treonina; sin embargo, es ampliamente consumido por la sociedad [6]. En los últimos años se ha incrementado la producción de panes libres de gluten principalmente por el aumento de personas con enfermedad celiaca, es decir, personas que son intolerantes a las proteínas encontradas en cereales como el trigo, centeno, cebada y avena [1,3]. Esta enfermedad se caracteriza por ser un trastorno digestivo que daña las vellosidades del intestino delgado encargadas de absorber varios nutrientes como son el hierro, ácido fólico, vitaminas solubles, entre otros [5]; además, porque actualmente existe mayor conciencia sobre la influencia que ejercen los alimentos en la salud. Por tal motivo, se debe asegurar la aceptabilidad de los panes libres de gluten, ya que generalmente son panes de mala calidad, con miga seca y desmoronadiza; con sabor pobre y mala sensación bucal [5]. Una alternativa para elaborar pan libre de gluten de buena calidad es mediante la incorporación de almidones, hidrocoloides, emulsificantes, diferentes fuentes de proteína vegetal y animal, entre otros. Debido a que el gluten es esencial para formar la red de proteínas requerida para mejorar las características reológicas y viscoelásticas de la masa; en su ausencia, se presentan grandes dificultades tecnológicas porque sus proteínas carecen de la habilidad para formar una red fuerte, se han encontrado beneficios asociados a la elaboración de alimentos a partir de leguminosas lo que ha llevado a sugerir su estudio como una alternativa de harinas comunes para productos libres de gluten [4,5].

Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ  
9 al 12 de Mayo de 2017, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México

### Metodología

Los materiales fueron arroz (HZ) y lenteja (L) comerciales (Verde Valle), frijol de soya (So) (Cerepak) y alberjón (A) (producto a granel). El almidón de maíz fue adquirido en Ingredion México, S.A. de C.V. (84.69% almidón). Azúcar morena (Zulka), manteca vegetal (Inca), sal yodada fluorurada (La Fina<sup>MB</sup>), levadura en polvo *Saccharomyces cerevisiae* (Tradi-Pan), polvo de hornear (ROYAL), agua para consumo humano (BONAFONT). Los emulsificantes mono-diglicéridos fueron proporcionados por Danisco México, SA de CV. Goma xantana fue adquirida en Dammova Química. Proteína concentrada de suero (Hilmar<sup>TM</sup> 8000, 93 % proteína en base seca).

La elaboración de harinas se llevó a cabo siguiendo los procesos de limpieza, macerado, cocción, triturado, secado, molienda y tamizado.

Para elaborar el pan se pesaron los ingredientes, se activó la levadura (4.89%), se hidrató la proteína concentrada de suero (PCS) (8%) y goma xantana (GX) (1.95%). Después se mezclaron los ingredientes secos (HZ 25%, AM 60%, harina de leguminosa (15%), azúcar (5.7%), sal (2.45%), esteres mono-diglicéridos (1.95%) y polvo de hornear (2.45%). Se agregó la manteca vegetal (6%), la levadura activada y la mezcla hidratada de GX con la PCS. Se mezcló con una batidora Hamilton Beach® de 6 velocidades; 4.5 min. a velocidad 3. Se fermentaron porciones de 100g de masa a 30 °C durante 45 min. El horneado se realizó en un horno de convección San-Son a 180°C durante 15 min. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente y fueron empacados en bolsas de plástico.

Los análisis fisicoquímicos realizados a las harinas y panes fueron humedad (método AOAC 925.09), cenizas (AOAC 923.03), grasa (método AOAC 922.06), proteína (método Kjeldahl AOAC 920.87).

El volumen específico del pan se realizó empleando una modificación del método 10-05 de la AACC (2000) la cual consiste en determinar el volumen del pan por medio del desplazamiento de semillas de mostaza en un recipiente de volumen conocido. El volumen específico de los panes fue realizado por triplicado y se determinó mediante el cociente del volumen del pan (cm<sup>3</sup>)/peso del pan (g).

En el APT el pan fue rebanado previamente, cada rebanada de 1.5 cm de grosor aproximadamente, de acuerdo a lo recomendado por Gambaro *et al.* (2002); se realizó en el equipo LFRA Texture Analyzer empleando una sonda acrílica de 49mm de diámetro con 2 ciclos de compresión a velocidad de 1.0 mm/s hasta 20% de deformación y un tiempo de recuperación de 5 segundos entre cada compresión.

La reología se realizó en masas fermentadas por medio de un Reómetro Compacto Modular Physica MCR 300 (Physica Messtechnik GmbH, Stuttgart, Alemania) y una geometría estriada PP50/P2 (50mm de diámetro / 2mm de estriado) a temperatura controlada de 25 °C. Todas las masas fueron sometidas a barridos de amplitud en un rango de deformación de 0.01–100% y curvas de flujo con una tasa de corte de 10<sup>-3</sup> a 10<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.

El análisis de color se realizó por triplicado con un colorímetro AccuProbe HH06 (Inc. Pittsford, Nueva York, EUA) obteniendo los parámetros triestímulo L\*, a\* y b\* de las coordenadas CIELAB. Los panes fueron evaluados 30 minutos después de haber sido horneados, tomando varios puntos de la corteza y la miga de cada uno de ellos.

En el análisis estadístico se realizó la comparación de medias mediante la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) con un nivel de significancia del 95%, utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI (Statistical Graphics Corp., Manugistics, Inc, Cambridge, MA, EUA).

Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ  
9 al 12 de Mayo de 2017, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México

**Resultados**

En la Tabla 1 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico realizado a las harinas. Todas las variables medidas muestran diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.05$ ).

El contenido de humedad de la harina de arroz fue mayor (5.81%) que el resto de las harinas, sin embargo, cumple con los requerimientos permitidos en la Norma Oficial Mexicana vigente; tal es el caso del contenido de ceniza y proteína. En el contenido de grasa, la harina de soya fue mayor (29.32%) debido principalmente a que contiene ácidos grasos monoinsaturados (24%) y poliinsaturados (61%), los cuales su consumo es benéfico para la salud. El contenido de proteína fue mayor en la harina de las tres leguminosas que en la harina de arroz.

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos de harinas

Harinas	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Proteína (%)
HZ	5.81 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.004 <sup>d</sup>	0.51 ± 0.19 <sup>c</sup>	7.03 ± 0.05 <sup>d</sup>
L	2.49 ± 0.06 <sup>c</sup>	1.72 ± 0.03 <sup>c</sup>	2.41 ± 0.30 <sup>b</sup>	25.05 ± 0.39 <sup>b</sup>
So	1.30 ± 0.05 <sup>d</sup>	2.72 ± 0.03 <sup>a</sup>	29.32 ± 0.42 <sup>a</sup>	41.13 ± 0.06 <sup>a</sup>
A	3.32 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.11 ± 0.02 <sup>b</sup>	2.84 ± 0.55 <sup>b</sup>	21.53 ± 0.13 <sup>c</sup>

Letras diferentes en la misma columna representan diferencia significativa ( $p < 0.05$ )

En general, el comportamiento observado para el análisis fisicoquímico de los panes se debe al efecto de la leguminosa adicionada, lo que ocasionó una disminución en el contenido de humedad y aumento en el contenido de grasa, proteína y cenizas, respecto al PSL (Tabla 2). Un aspecto importante es la humedad, la cual se encuentra en un alto contenido respecto a un pan convencional, esto se debe principalmente a que las harinas de arroz y leguminosas requieren mayor cantidad de agua para lograr su hidratación y formar la masa.

Tabla 2. Análisis fisicoquímicos en panes

Panes	Humedad (%)	Cenizas (%)	Grasa (%)	Proteína (%)
PSL	54.55 ± 0.87 <sup>a</sup>	1.87 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.71 ± 0.16 <sup>d</sup>	4.45 ± 0.04 <sup>e</sup>
PL	51.07 ± 0.84 <sup>b</sup>	2.14 ± 0.04 <sup>ab</sup>	3.19 ± 0.29 <sup>b</sup>	6.28 ± 0.19 <sup>c</sup>
PSo	47.55 ± 0.76 <sup>d</sup>	2.13 ± 0.10 <sup>ab</sup>	4.47 ± 0.24 <sup>a</sup>	7.33 ± 0.08 <sup>a</sup>
PA	48.36 ± 0.27 <sup>cd</sup>	2.21 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.82 ± 0.05 <sup>c</sup>	5.61 ± 0.06 <sup>d</sup>
PSo-A	49.39 ± 0.43 <sup>c</sup>	2.12 ± 0.12 <sup>ab</sup>	2.46 ± 0.13 <sup>c</sup>	6.31 ± 0.25 <sup>c</sup>
PSo-L	46.63 ± 0.49 <sup>d</sup>	2.06 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.72 ± 0.24 <sup>c</sup>	6.74 ± 0.04 <sup>b</sup>
PL-A	47.10 ± 0.28 <sup>d</sup>	2.05 ± 0.09 <sup>b</sup>	2.51 ± 0.24 <sup>c</sup>	5.97 ± 0.26 <sup>cd</sup>

Letras diferentes en la misma columna representan diferencia significativa ( $P < 0.05$ )

Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ  
9 al 12 de Mayo de 2017, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México

El volumen específico de los panes (Figura 1) presentó diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ ) entre los adicionados con leguminosas y las combinaciones entre ellas, sin embargo, no entre éstos y el PSL. El pan que presentó mayor volumen fue PA (1.70  $\text{cm}^3/\text{g}$ ) seguido de las combinaciones PSo-L, PSL, PSo-A y PL-A.

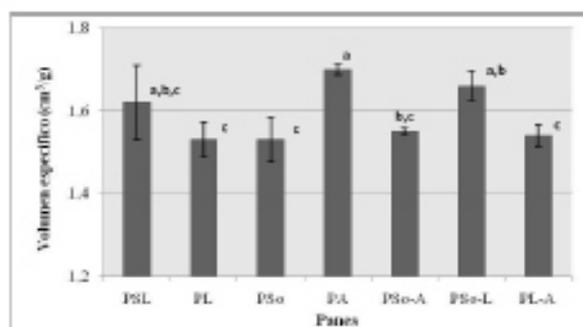


Figura 1. Volumen específico del pan libre de gluten sin leguminosas y los adicionados ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos por el análisis de perfil de textura, todas las variables mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Los panes PSo-L, PSo-A y PL-A presentaron mayor elasticidad; PSL, PA y PL mostraron mayor cohesividad y resiliencia pero mayor dureza. En general, la adición de leguminosas ayuda a mejorar la calidad ya que produce panes menos duros, aumenta su elasticidad pero son menos resilientes. La combinación de leguminosas produjo panes más elásticos que cuando se usa solo una leguminosa.

Tabla 3. Análisis de Perfil de Textura (APT)

Panes	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad (mm)	Resiliencia
PSL	27.37 ± 0.37 <sup>a,b</sup>	0.81 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.12 ± 0.09 <sup>c</sup>	0.64 ± 0.01 <sup>a</sup>
PL	26.46 ± 0.37 <sup>c</sup>	0.77 ± 0.04 <sup>a</sup>	5.51 ± 0.18 <sup>b</sup>	0.47 ± 0.12 <sup>b,c</sup>
PSo	19.25 ± 0.65 <sup>a</sup>	0.68 ± 0.04 <sup>b,c</sup>	5.33 ± 0.16 <sup>b,c</sup>	0.48 ± 0.05 <sup>b,c</sup>
PA	27.73 ± 0.59 <sup>a</sup>	0.81 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.19 ± 0.13 <sup>c</sup>	0.63 ± 0.02 <sup>a</sup>
PSo-A	25.56 ± 0.39 <sup>d</sup>	0.64 ± 0.01 <sup>c</sup>	5.97 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.48 ± 0.06 <sup>b,c</sup>
PSo-L	26.75 ± 0.20 <sup>b,c</sup>	0.71 ± 0.02 <sup>b</sup>	6.10 ± 0.11 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.03 <sup>a,b</sup>
PL-A	25.50 ± 0.17 <sup>d</sup>	0.64 ± 0.03 <sup>c</sup>	5.87 ± 0.16 <sup>a</sup>	0.42 ± 0.06 <sup>c</sup>

Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa ( $P < 0.05$ )

Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ  
9 al 12 de Mayo de 2017, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México

En la Tabla 4 se muestran los resultados del análisis de color realizado al pan sin leguminosas (PSL) y los adicionados (PL, PSo, PA, PSo-A, PSo-L, PL-A). Todas las variables medidas se vieron afectadas por el tipo de leguminosa y las combinaciones, observando diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). En corteza, los panes de PSo y PA presentaron mayor luminosidad que el resto (69.28 y 69.21 respectivamente); sin embargo, el menos luminoso fue el pan de combinación PSo-A. De manera similar a los valores de  $L^*$ , los valores de  $b^*$  fueron mayores para PSL, PSo y PA; siendo la corteza de estos panes más amarilla que PL y PL-A.

La miga más clara la presentó el pan PSL, la más oscura el pan PL y PSo-L. Para los valores de  $b^*$ , los panes con miga más amarilla fueron PSo, PA y PSo-A.

Los valores de  $a^*$  para corteza son positivos, excepto para PSo, lo que significa que tiene más tonalidad roja que verde; sin embargo, para la miga es el caso contrario, los valores son negativos lo que significa tonalidades verdes y no rojas.

Tabla 4. Análisis de color

Panes	Corteza			Miga		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$L^*$	$a^*$	$b^*$
PSL	67.53 ± 0.57 <sup>b</sup>	3.25 ± 0.41 <sup>b</sup>	34.17 ± 0.30 <sup>a</sup>	74.58 ± 0.43 <sup>a</sup>	-2.59 ± 0.36 <sup>d</sup>	21.70 ± 0.58 <sup>b</sup>
PL	63.02 ± 0.88 <sup>c,d</sup>	0.47 ± 0.15 <sup>a</sup>	28.68 ± 0.75 <sup>a</sup>	60.39 ± 0.58 <sup>f</sup>	-0.73 ± 0.51 <sup>a</sup>	19.77 ± 0.23 <sup>d</sup>
PSo	69.28 ± 0.44 <sup>a</sup>	-0.51 ± 0.60 <sup>f</sup>	33.01 ± 0.69 <sup>b</sup>	71.43 ± 0.46 <sup>c</sup>	-1.80 ± 0.31 <sup>b,c</sup>	24.98 ± 0.06 <sup>a</sup>
PA	69.21 ± 0.44 <sup>a,b</sup>	1.83 ± 0.47 <sup>c</sup>	32.46 ± 0.82 <sup>b,c</sup>	70.27 ± 0.72 <sup>d</sup>	-1.99 ± 0.35 <sup>c,d</sup>	24.94 ± 0.50 <sup>a</sup>
PSo-A	59.12 ± 0.81 <sup>e</sup>	7.24 ± 0.30 <sup>a</sup>	30.79 ± 0.56 <sup>d</sup>	72.61 ± 0.20 <sup>b</sup>	-2.22 ± 0.15 <sup>c,d</sup>	25.14 ± 0.24 <sup>a</sup>
PSo-L	64.08 ± 0.78 <sup>c</sup>	0.69 ± 0.45 <sup>d,e</sup>	31.52 ± 0.58 <sup>c,d</sup>	59.72 ± 0.40 <sup>f</sup>	-1.16 ± 0.60 <sup>a,b</sup>	20.54 ± 0.22 <sup>c</sup>
PL-A	62.77 ± 0.52 <sup>d</sup>	1.28 ± 0.24 <sup>c,d</sup>	29.60 ± 0.58 <sup>e</sup>	62.72 ± 0.75 <sup>e</sup>	-1.67 ± 0.25 <sup>b,c</sup>	20.46 ± 0.17 <sup>c</sup>

Letras diferentes en la misma columna representan diferencia significativa ( $P < 0.05$ )

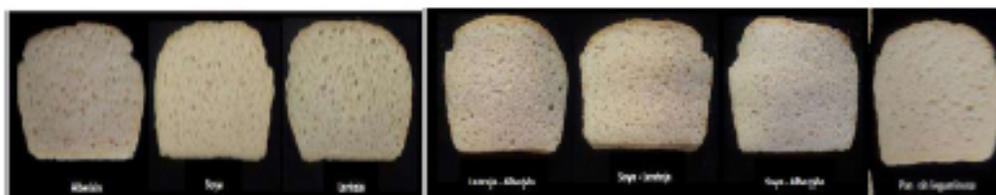


Figura 3. Estructura de la miga de los panes libres de gluten

Las propiedades reológicas de las masas dependen de la naturaleza, proporciones e interacciones entre las harinas, almidones, proteínas e ingredientes que contienen y estas propiedades reológicas influirán en la calidad y características de los panes. En la Figura 2 se muestran las curvas de flujo realizadas para conocer la viscosidad aparente de las masas con una tasa de corte de  $10^{-5}$ - $10^3$   $s^{-1}$ . A tasas de corte menores de  $10^{-3}$  tiene un comportamiento newtoniano, dando como resultado que los enlaces se deformen elásticamente; mientras que a tasas mayores de  $10^{-3}$  se comporta como no newtoniano, dando como resultado que los enlaces se rompan.

Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ  
9 al 12 de Mayo de 2017, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, México

En la Figura 3 se observan barridos de amplitud (0.01- 100% deformación) mostrando los módulos elástico ( $G'$ ) y viscoso ( $G''$ ) los cuales tienen una región de comportamiento viscoelástico lineal, para  $G'$  hasta 0.1% y para  $G''$  hasta 2%. A valores mayores de deformación ambos módulos disminuyen. En general, todas las masas presentaron módulos más elásticos que viscosos.

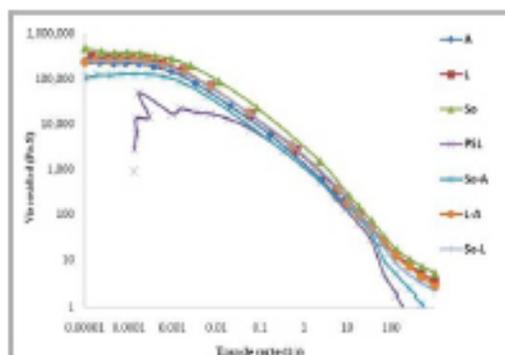


Figura 2. Curvas de flujo de las masas

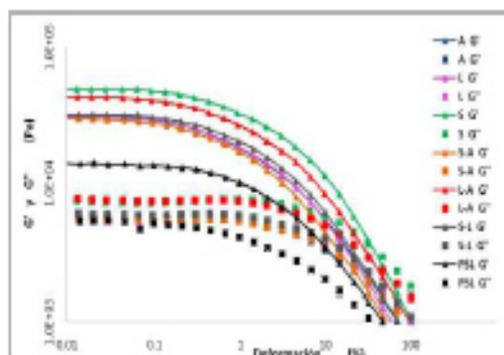


Figura 3. Comportamiento reológico de las masas  $G'$  (Módulo elástico) y  $G''$  (Módulo viscoso)

### Conclusiones

Los panes adicionados de leguminosas presentaron menor dureza que PSL excepto PA. La adición de leguminosas tendió a producir panes menos duros, más elásticos y menos resilientes. No existió diferencia significativa en el volumen de los panes adicionados de leguminosas con respecto al PSL pese a que fueron diferentes respecto al contenido de proteína. En el análisis reológico todas las masas presentaron módulos más elásticos que viscosos. En el análisis de color todos los panes se vieron afectados por el tipo de leguminosa y las combinaciones realizadas, observándose diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) tanto en corteza como miga.

### Referencias

- Demirköken, I., Mert, B., Sumnu, G., Sahin, S., "Rheological properties of gluten-free bread formulations", *Journal of Food Engineering*, 96, 295-303, 2010.
- Ganzaro, A., Varela, P., Giménez, A., Aldrovandi, A., Fizman, S.M., & Hough, G. "Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements". *Journal of Texture Studies*, 33(5), 401-413, 2002.
- Heller, L., "Commercial aspects of gluten-free products". In: E. Gallagher, ed., *Gluten-free Food Science and Technology*. Singapur, Wiley-Blackwell, pp. 99-106, 2009.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., Biliaderis, C. G., "Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations", *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047, 2007.
- Miklerro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guzmán, B., Capellas, M., "Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread", *Journal of Cereal Science*, 56, 476-481, 2012.
- Sabanis, D., & Tzia, C., "Effect to rice, corn and soy flour addition on characteristics of bread produced from different wheat cultivars". *Food Bioprocess Technology*, 2, 68-79, 2007.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

- AACC. (2000). Approved Methods of American Association of Cereal Chemists. 10th Edition, AACC International, Saint Paul, American Ass.
- Abdel-Gawad, A.S. (1993). Effect of domestic processing on oligosaccharide content of some dry legume seeds. *Food Chemistry*, 46, 25-31.
- Agrinews (2014). Agropal y Nutecal buscan alternativas a la soja para alimentar al ganado. Disponible en: <http://nutricionanimal.info/agropal-y-nutecal-buscan-alternativas-a-la-soja-para-alimentar-al-ganado/> Acceso 10 de agosto 2016.
- Álvarez, J.L., Auty, M., Arendt, K.E., Gallagher, E. (2010). Baking properties and microstructure of pseudocereal flours in gluten-free bread formulations. *Eur Food Res Technol*, 230, 437-445.
- Angioloni, A. (2013). Los hidrocoloides, aditivos de alta funcionalidad. TecniFood. *La revista de tecnología alimentaria*, Noviembre/Diciembre, 97-99.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 17 ed. Washington, D.C., USA.
- Araneda, M. (2015). Cereales y derivados. Composición y propiedades. Disponible en: <http://www.edualimentaria.com/cereales-y-derivados-composicion-y-propiedades> Acceso 19 de septiembre 2016.
- Araneda, M. (2016). Legumbres, composición y propiedades. Disponible en: <http://www.edualimentaria.com/legumbres-composicion-y-propiedades> Acceso 12 de septiembre 2016.
- Arendt, E. K., O'Brien, C.M., Gormley, T.R., & Gallagher, E. (2002). Development of gluten-free cereal products. *Food Technology and Nutrition*, 12, 65-72.
- Arranz S. E., & Garrote A. J. A. (2011). Degradación específica del gluten por la mucosa intestinal de los pacientes celíacos: posible papel en la patogenia y en el diagnóstico de la enfermedad. *Tesis de Doctorado*, Universidad de Valladolid, Facultad de medicina, España.

- Asociación de Celiacos de Castilla-La Mancha. (2014). La enfermedad celiaca. Disponible en: <http://celiacosmancha.org/index.php/la-enfermedad-celiaca/que-es-la-enfermead-celiaca> Acceso 10 de marzo 2016.
- Badui, D. S. (2012). Ciencia de los alimentos en la práctica. *Cereales*. 1ª Edición. Pearson Educación. México, pp. 172-189.
- Badui, D. S. (2013). Química de los alimentos. *Nutracéuticos, fitoquímicos y alimentos funcionales*. 5ª Edición. Pearson Educación. México. pp. 701-713.
- Badrzadeh, M., Zaragzadeh, F., & Esmailpour, B. (2008). Chemical composition of some forage *Vicia* spp. In Iran. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 6(2), 178-180.
- Banjare K, Kumar M, Goel B. K, Uprit S. (2015). Studies on Chemical, Textural and Sensory Characteristics of Market and Laboratory Peda Samples Manufactured in Raipur City of Chhattisgarh. *Oriental Journal of Chemistry*, 31(1), 231-238.
- Boilley, D. (2015) Rice (*Oryza sativa*). Disponible en: <http://www.kew.org/science-conservation/plants-fungi/oryza-sativa-rice> Acceso 23 septiembre 2016.
- Bourne M. C. (2002). Sensory Methods of Texture and Viscosity Measurement In: Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. *Elsevier Science & Technology Books*, pp. 257-291.
- Bourne M. C., Szczesniak A. S. (2003). Sensory Evaluation-Texture In: Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition. Eds. B. Caballero, L. Trugo and P. Finglas. *Academic press*, pp. 5167-5174.
- Casquero, P.A., Oláiz, I., Marcos, M.F., Campelo, P., & Reinoso, B. (2009). Leguminosas grano tradicionales cultivadas en España. *Dossier Cereales y Leguminosas*. Vida rural, 42-46.
- Celiacos de México, A. C. (2016). La enfermedad celiaca hoy en México. Disponible en: <http://celiacosdemexico.org.mx/la-enfermedad-celiaca-hoy-en-mexico.html> Acceso 3 junio 2016.

- Celicidad. (2016). Iceberg celiaco. Disponible en: <http://celicidad.net/que-es-el-iceberg-celiaco/> Acceso 03 de marzo 2016.
- Charley, H. (2009). Tecnología de los alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de los alimentos. *Leguminosas*. Ed. Limusa. México, pp. 623-633.
- de la Hera, E., Ruíz-París, E., Oliete, B., & Gómez, M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours. *Food Science and Technology*, 49, 48-54.
- Demirkesen, I., Mert, B., Sumnu, G., & Sahin, S. (2010). Rheological properties of gluten-free bread formulations. *Journal of Food Engineering*, 96, 295-303.
- Desrosier, W. N. (1998). Elementos de tecnología de alimentos. *Tecnología del frijol, las nueces y las semillas*. Compañía editorial continental, S.A. de C.V., México, pp. 195-230.
- Dreamstime (2016). Corn stalk. Disponible en: <https://thumbs.dreamstime.com/z/corn-stalk-24265550.jpg> Acceso 30 de septiembre 2016.
- Eckhoff, R. S., & Watson, A. S. (2009). Corn and sorghum starches: Production. In: *Starch: Chemistry and Technology*, Ohio, Elsevier Inc., pp. 374-439.
- Enciclopedia Británica (2016). Corn seed. Disponible en: <https://global.britannica.com/topic/cereal-processing> and Rice seed <https://global.britannica.com/plant/rice> Acceso 10 de marzo 2016.
- Enneking, D., & Maxted, N. (1995). Narbon bean (*Vicia narbonensis* L.). *Evolution of Crop Plants*, 2nd ed.; Smartt, J.; Simmonds, N. W., Longman: London, pp 316-321.
- Foro de celíacos y relacionados (2016). Disponible en: <http://celiacos.mforos.com/69519/12286510-pan-sin-gluten-y-sin-lactosa-mercadona/> Acceso 10 de marzo 2016.
- Francis, C. M., Enneking, D., & El Moneim, A. A. (2000). When and where will vetches have an impact as grain legumes?. In *Linking Research and*

- Marketing Opportunities for Pulses in the 21st Century*. Springer Netherlands, pp. 375-384.
- Gallagher, E., Gormley, T. R., & Arendt, E. K. (2003). Crust and crumb characteristics of gluten-free breads. *Journal of Food Engineering*, 56, 153-161.
- Gámbaro, A., Varela, P., Giménez, A., Aldrovandi, A., Fiszman, S.M., & Hough, G. (2002). Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 33(5), 401-413.
- Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., & Delcour, J. A. (2005). Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 12-30.
- Gujral, S., Haros, M., & Rosell, C. (2004). Improving the texture and delaying staling in rice flour chapati with hydrocolloids and  $\alpha$ -amylase. *Journal of Food Engineering*, 65, 89-94.
- Green raw cuisine (2015). Oleaginosas. Disponible en: <http://greenrawcuisine.blogspot.mx/2013/06/que-es-raw-food-raw-food-alimentacion.html> Acceso 19 de septiembre 2016.
- Heller, L. (2009). Commercial aspects of gluten-free products. In: E. Gallagher, ed., *Gluten-free Food Science and Technology*, Singapur, Wiley-Blackwell, pp. 99-106.
- Iqbal, A., Khalil, I.A., Ateeq, N., & Sayyar K. M. (2006). Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*, 97, 331-335.
- INEGI (2016). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/densidad.aspx?tema=P> Acceso 3 junio 2016.
- Khattab, R.Y., Arntfield, S.D., & Nyachoti, C.M. (2009). Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: Protein quality evaluation. *Food Science and Technology*, 42, 1107-1112.

- KidsPress Magazine. (2015). Cereals. Toronto, Canadá. Disponible en: <http://kidspressmagazine.com/science-for-kids/misc/misc/cereals.html>  
Acceso 26 de agosto 2016.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79, 1033-1047.
- Magaña-Barajas, E., Ramírez-Wong, B., Platt-Lucero, L. C., López-Ahumada, G. A., Torres, P. I., & Sánchez-Machado, D. I. (2009). Caracterización viscoelástica de masas de variedades de trigos suaves. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 24(1), 12-22.
- Mateo, B.J. (2005). Prontuario de agricultura. Cultivos agrícolas. *Plantas herbáceas* Capítulo I.2 Leguminosas. Ediciones Mundi-Prensa, España, pp. 229-261. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?isbn=8484762483> Acceso 10 de agosto 2016.
- Mendoza, M.E., & Calvo, C.C. (2010). Bromatología. Composición y propiedades de los alimentos. *Capítulo 20 Cereales*. 1ª Edición, Mc Graw-Hill, México, pp. 221-250.
- Miñarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamis, B., & Capellas, M. (2012). Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 56, 476-481.
- Moita, B.C., Haros, M., Trigo, M.J., & Pedroza, I.R. (2007). Maíz. En: León, E.A. & Rosell, M. C. *De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. 1º ed. Córdoba, Argentina, pp. 73-122.
- Mongi, R.J., Ndabikunze, B.K., Chove, B.E., Mamiro, P., Ruhembe, C.C., & Ntwenya, J.G. (2011). Proximate composition, bread characteristics and sensory evaluation of cocoyam-wheat composite breads. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 11, 7, 5586-5598.

- Nadal, S., Moreno, M.T., Martínez, C., & Cubero, J.I. (2004). Los alberjones (*Vicia narbonensis*): el redescubrimiento de una leguminosa. *Agricultura: Revista agropecuaria*, ISSN 0002-1334, N° 864, pp. 584-585.
- Nadal, M.S., Martínez, A.C., Perea, T.F., Saavedra, S.M., & Córdoba, J.E. (2012). Guías de cultivo. *Serie leguminosas: los alberjones.*, 1-11. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/contenidoAlf?id=06e9444d-2448-4f2e-b5e4-3c62bac82850> Acceso 18 de agosto 2016.
- Nadal, V., Muñoz, D., Delmoro, J., Pranzetti, V., Clementz, A. (2010). El color en los alimentos: Determinación de color en mieles. *Invenio*, Noviembre-Sin mes, 145-152.
- Pedrero F.D., & Pangborn, R.M. (1989). Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos. Ed. Alhambra Mexicana, México, pp. 103-230.
- Pellini, C. (2014). Importancia de los cereales en la alimentación humana historia Disponible en: [http://historiaybiografias.com/los\\_cereales/](http://historiaybiografias.com/los_cereales/) Acceso 26 de agosto 2016.
- Polanco, A. I. (2015). Todo sobre la enfermedad celíaca. Capítulo 9 Tratamiento. Asociación de celíacos de Madrid. Madrid, España, pp. 46-50
- Presti, V. L., Cavallaro, M., Magazzù, G., Venora, G., Pagliaro, M., & Chiofalo, V. (2008). Study of the nutritional and antinutritional characteristics of Narbonne vetch (*Vicia narbonensis* L.) grain variety "Velox".
- Rodríguez, S. E., Fernández, Q. A., & Ayala A.A. (2005). Reología y textura de masas: aplicaciones en trigo y maíz. *Ingeniería e Investigación*, 25 (1), pp. 72-78.
- Sabanis, D., & Tzia, C. (2007). Effect to rice, corn and soy flour addition on characteristics of bread produced from different wheat cultivars. *Food Bioprocess Technol*, 2, 68-79.
- Scanlon, M. G., & Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34(10), 841-864.

- Serna Saldívar, S.R. (2003). Manufactura y control de calidad de productos basados en cereales. AGT Editor, S.A., México, pp.148-150.
- SIAP (2016). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>  
Acceso 27 julio 2016.
- Sivaramakrishnan, H.P., Senge, B., & Chattopadhyay, P.K. (2004). Rheological properties of rice dough for making rice bread. *Journal of Food Engineering*, 62, 37-45.
- Thompson, T. (2009). The nutritional Quality of Gluten-Free Foods. In: E. Gallagher, ed., *Gluten-free Food Science and Technology*, Singapur, Wiley-Blackwell, pp. 42-51.
- Torbica, A., Hadnadev, M., & Dapcevic, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24, 626-632.
- Torres-González, M.P., Jiménez-Munguía M.T., & Bárcenas-Pozos, M.E. (2014). Harina de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8.1, 94-102.
- Totosaus, A., López, H., & Güemes-Vera, N. (2013). Effect of Lupinus (*Lupinus albus*) and Jatropha (*Jatropha curcas*) protein concentrates on wheat dough texture and bread quality: Optimization by a D-Optimal mixture desing. *Journal of Texture Studies*, 44(6), 424-435.