

SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



DISEÑO DE PANES LIBRES DE GLUTEN ADICIONADO CON LEGUMINOSAS, EVALUACIÓN REOLOGICA DE LAS MASAS Y TEXTURA DE LOS PANES.

TESIS

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

Presenta:

IBQ. Lluvia Naret Mendoza Hernández

Comité Tutorial

Directora: Dra. María Eva Rodríguez Huevo

Asesor: Dr. Alfonso Totosaus Sánchez

Asesora: Dra. Lilia Arely Prado Barragán

Ecatepec de Morelos, Estado de México, Enero del 2018



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

AVISO DE TERMINACIÓN DE PROYECTO
DE TESIS

TIT04-ANEXO PM



DIRECCIÓN ACADÉMICA

DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

PROGRAMA DE POSGRADO: MAestrÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA

Folio: MCIBQ/2015/MEHL890614

Fecha: 07 de Noviembre del 2017

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

MENDOZA

Apellido paterno

HERNÁNDEZ

Apellido materno

LLUVIA NARET

Nombres (s)

Matrícula: 201522348

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

Maria Eva Rodriguez Huevo

Dra. María Eva Rodríguez Huevo
Director

Lilia Arely Prado Barragan

Dr. Lilia Arely Prado Barragán
Asesor

Alfonso Totosaus Sanchez

Dra. Alfonso Totosaus Sánchez
Asesor



Elaboró: <i>Maria Eva Rodriguez Huevo</i> Dra. María Eva Rodríguez Huevo Director de Proyecto	Revisó: <i>Ignacio Garcia Martinez</i> Dr. Ignacio García Martínez Coordinador de Posgrado	Vo. Bo.: <i>Judith Cervantes Ruiz</i> M.en IQ. Judith Cervantes Ruiz Jefe de División
--	---	--



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO

DICTAMEN DE LIBERACIÓN DE
PROYECTO DE TESIS
TIT05-ANEXO PM



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

Fecha: 29 de Noviembre del 2017 .

Datos generales
Nombre del alumno:

MENDOZA
Apellido paterno

HERNÁNDEZ
Apellido materno

LLUVIA NARET
Nombres (s)

Matrícula: 201522348

PROYECTO: Diseño de panes libres de gluten adicionados con leguminosas, evaluación reológica de las masas y textura de los panes

DIRECTOR: Dr. María Eva Rodríguez Huevo

Dictamen:

Con base en el registro No. MCIBQ/2015/MEHL890614 correspondiente al periodo escolar 2015-02, asignado al proyecto de tesis Diseño de panes libres de gluten adicionados con leguminosas, evaluación reológica de las masas y textura de los panes y presentado por la alumna referida; 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

Dr. María Eva Rodríguez Huevo

Dra. María Eva Rodríguez Huevo
Director

Dr. Lilia Arely Prado Barragán

Dra. Lilia Arely Prado Barragán
Asesora

Dr. Alfonso Totosaus Sánchez

Dr. Alfonso Totosaus Sánchez
Asesor



Elaboró: <i>Ignacio García Martínez</i> Dr. Ignacio García Martínez Coordinador de Posgrado	Revisó y Visto Bueno: <i>Judith Cervantes Ruiz</i> M. en IQ. Judith Cervantes Ruiz Jefe de División	Enterado: <i>Armando Alcázar Martínez</i> M. en S. Armando Alcázar Martínez Director Académico
--	--	---



CONACYT

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

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 583813 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Agradecimientos

Agradezco el apoyo económico brindado por parte de Conacyt, sin el cual no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

A la Dra. Eva Rodríguez Huezo por brindarme la oportunidad de trabajar bajo su dirección, pero principalmente le agradezco por su apoyo, paciencia, dedicación y compromiso que mostro durante el proyecto.

Al Dr. Jaime Vernon Carter de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa por permitirme hacer uso del laboratorio de Bioprocesos del cual es responsable.

A la Dra. Keiko Shirai Matsumoto de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa por permitirme realizar la determinación de proteína en su laboratorio, así como también le agradezco a Carmen y Angélica por brindarme su ayuda incondicional con esta determinación.

Al Dr. Alfonso Totosaus Sánchez del TESE, por permitirme el uso de su laboratorio en la determinación de Textura.

También agradezco a mis revisores de tesis: al Dr. Alfonso Totosaus Sánchez y a la Dra. Lilia Arely Prado Barragán, por sus observaciones y el tiempo que dedicaron a la lectura de este trabajo.

Dedicatoria

Dedico esta Tesis a mis padres Héctor y Cruz que siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo incondicional, su paciencia y sobre todo sus consejos que me ayudaron hacer la persona que soy en la actualidad, ya que muchos logros que he logrado en mi vida se los debo a ellos, incluyendo este.

A mis hermanos Víctor, Miguel y Moisés, por el apoyo y confianza que siempre me brindaron día a día en el transcurso de mi carrera.

A mi demás familia en general y amigos que siempre estuvieron ahí de una u otra manera para apoyarme y alentarme a seguir a terminar este logro en mi vida.

INDICE

0. RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. JUSTIFICACIÓN.....	4
3. OBJETIVOS.....	5
3.1. OBJETIVO GENERAL	5
3.2. OBJETIVOS PARTICULARES	5
4. ANTECEDENTES.....	6
4.1. ENFERMEDAD CELIACA	6
4.1.1. <i>Magnitud del problema. Epidemiología en el mundo</i>	7
4.1.1.1. El modelo de iceberg.....	7
4.1.2. <i>Tratamiento</i>	9
4.2. PRODUCTOS LIBRES DE GLUTEN.....	9
4.2.1. <i>Panes libres de gluten</i>	10
4.3. INGREDIENTES DEL PAN Y SUS FUNCIONES.	11
4.3.1 <i>Harina</i>	11
4.3.2 <i>Agua</i>	13
4.3.3 <i>Levadura</i>	14
4.3.4 <i>Azúcar</i>	14
4.3.5 <i>Sal</i>	15
4.3.6 <i>Manteca</i>	15
4.3.7 <i>Leche en polvo descremada</i>	16
4.3.8 <i>Emulsificantes</i>	17
4.3.9 <i>Hidrocoloides</i>	18
4.4. CEREALES	19
4.4.1 <i>Maíz</i>	20
4.4.1.1 Composición química	21
4.4.1.2 Producción	22
4.4.2 <i>Arroz</i>	23
4.4.2.1 Composición química	23
4.4.2.2 Producción	25
4.5. LEGUMINOSAS	25
4.5.1 <i>Haba</i>	27
4.5.1.1 Composición química	27
4.5.1.2 Producción	27

4.5.2	Garbanzo.....	28
4.5.2.1	Composición química.....	29
4.5.2.2	Producción.....	29
4.5.3	Frijol.....	29
4.5.3.1	Composición química.....	30
4.5.3.2	Producción.....	31
5	MATERIALES Y METODOS.....	32
5.1	MATERIAS PRIMAS.....	33
5.2	ELABORACIÓN DE LAS HARINAS.....	33
5.2.1	Harina de leguminosas (garbanzo, haba y frijol).....	33
5.2.2	Harina de arroz.....	34
5.3	ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DE LAS HARINAS.....	34
5.3.1	Humedad.....	35
5.3.2	Cenizas.....	35
5.3.3	Lípidos.....	36
5.3.4	Proteína.....	36
5.4	ELABORACIÓN DE LOS PANES LIBRES DE GLUTEN.....	38
5.4.1	Reología de las masas.....	39
5.4.2	Análisis fisicoquímicos de los panes.....	40
5.4.3	Determinación de volumen específico.....	40
5.4.4	Determinación del % pérdida de peso por horneado.....	41
5.4.5	Análisis de perfil de textura (APT).....	41
5.4.6	Análisis descriptivo de la miga.....	43
5.4.7	Análisis de color.....	43
5.4.8	Pruebas microbiológicas para hongos y levaduras.....	44
5.4.9	Análisis sensorial.....	45
5.4.10	Análisis estadístico.....	46
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
6.1	ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DE LAS HARINAS.....	47
6.2	PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS MASAS ADICIONADAS CON LEGUMINOSAS ..	47
6.2.1	Propiedades de flujo.....	47
6.2.2	Propiedades de oscilación (viscoelásticas).....	49
6.3	EVALUACIONES A LOS PANES LIBRES DE GLUTEN.....	50
6.3.1	Análisis fisicoquímicos de los panes.....	50
6.3.2	Análisis de volumen específico.....	51
6.3.3	Análisis del % pérdida de peso por horneado.....	52

6.3.4	Análisis descriptivo de la miga.....	53
6.3.5	Análisis de perfil de textura (APT) de los panes	54
6.3.6	Análisis de color en corteza y miga	56
6.3.7	Análisis microbiológico para hongos y levaduras	58
6.3.8	Análisis sensorial.....	58
7	CONCLUSIÓN.....	61
8	BIBLIOGRAFÍA.....	62
9	ANEXOS.....	68
9.1	RECONOCIMIENTO DEL CONGRESO DE AMIDIQ.....	68
9.2	MEMORIA EN EXTENSO DEL AMIDIQ	69

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Síntomas, signos y alteraciones analíticas que obligan a considerar el diagnóstico de la enfermedad celíaca</i>	6
<i>Tabla 2. Tipos y contenidos de prolaminas en diferentes cereales</i>	9
<i>Tabla 3. Composición química aproximada (g/100 g de porción comestible) de distintos granos de cereales.....</i>	19
<i>Tabla 4. Composición química proximal de las partes fundamentales del grano de maíz (% de materia seca) en grano blanco y amarillo.....</i>	21
<i>Tabla 5. Composición nutricional del arroz.</i>	23
<i>Tabla 6. Composición en aminoácidos de las proteínas del arroz.</i>	24
<i>Tabla 7. Composición nutricional de las leguminosas (100 g de producto crudo). 26</i>	
<i>Tabla 8. Principales componentes de la semilla de haba (en estado inmaduro y seco).</i>	27
<i>Tabla 9. Análisis químico proximal de variedad de frijol.....</i>	31
<i>Tabla 10. Tiempo de cocción y secado en cada una de las leguminosas.....</i>	33
<i>Tabla 11. Formulaciones de los panes libres de gluten con diferentes leguminosas</i>	38
<i>Tabla 12. Pruebas fisicoquímicas de las harinas</i>	47
<i>Tabla 13. Pruebas fisicoquímicas de los panes adicionados con leguminosas.....</i>	51
<i>Tabla 14. Volumen específico de los panes con diferentes leguminosas.....</i>	52
<i>Tabla 15. Pérdida de peso por horneado y rendimiento en los panes</i>	53
<i>Tabla 16. Resultados del análisis de perfil de textura de los panes</i>	55
<i>Tabla 17. Color de la corteza y miga de los panes adicionados con diferentes leguminosas.</i>	57
<i>Tabla 18. Análisis microbiológicos (conteo de hongos y levaduras)</i>	58

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Modelo de Iceberg propuesto por Logan para explicar la epidemiología de la Enfermedad Celiaca</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2 . Representación esquemática de a) Amilosa, b) Amilopectina.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. Semillas de garbanzo, a) lechoso y b) pedrosillano</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4. Diferentes tipos de frijoles</i>	<i>30</i>
<i>Figura 5. Protocolo experimental empleado para el desarrollo de la presente investigación.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 6. Proceso de la elaboración de las harinas de leguminosas.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7. Harinas de leguminosas.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 8. Equipo de extracción Goldfisch.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 9. Digestor y destilador.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 10. Proceso para la elaboración del pan libre de gluten.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 11. Masa de cada una de las leguminosas</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12. Reómetro (PHYSICA MCR 300)</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13. Análisis de volumen específico con semillas de mostaza</i>	<i>41</i>
<i>Figura 15. Texturómetro LFRA.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 14. Cortadora de pan</i>	<i>42</i>
<i>Figura 16. Grafica general del Análisis de Perfil de Textura (APT)</i>	<i>43</i>
<i>Figura 17. En el a) Colorímetro AccuProbe HH06 y b) El espacio de color CIE L*, a* y b*.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 18. Sembrado de superficie en placa para hongos y levaduras.....</i>	<i>45</i>

<i>Figura 19. Papeletas para el análisis sensorial</i>	<i>46</i>
<i>Figura 20. Curvas de flujo de las masas adicionadas con leguminosas: haba (H), garbanzo (G), frijol (F), garbanzo-frijol (G-F), haba-frijol (H-F), haba-garbanzo (H-G) y la masa sin leguminosa (SL).</i>	<i>48</i>
<i>Figura 21. Comportamiento reológico de las masas adicionadas con leguminosa. (G') modulo elástico y (G'') modulo viscoso.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 22. Imágenes de rebanadas de los panes libres de gluten con diferentes harinas de leguminosas.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 23. Análisis sensorial de los panes libres de gluten</i>	<i>60</i>

***"DISEÑO DE PANES LIBRES DE GLUTEN
ADICIONADO CON LEGUMINOSAS,
EVALUACIÓN REOLOGICA DE LAS MASAS
Y TEXTURA DE LOS PANES"***

0. RESUMEN

Las leguminosas debido a su equilibrio de aminoácidos y sus beneficios nutricionales demostrados, son ingredientes ideales para mejorar las características nutricionales de productos de panificación. Por lo que en el presente trabajo se diseñaron y se estudiaron 6 formulaciones de panes libres de gluten, adicionados con harina de garbanzo (HG), haba (HH) y frijol (HF), así como sus combinaciones, también se diseñó un pan sin leguminosa (PSL). El contenido de proteína de los panes adicionados con leguminosas estuvo entre 5.75 - 6.50 % mientras que el PSL de tan solo 4.44%. La evaluación reológica de las masas indicó que éstas fueron más elásticas que viscosas y presentaron un comportamiento viscoelástico lineal a deformaciones menores al 3%.

De acuerdo a las características físicas que se determinaron a los 6 panes, todos presentaron una estructura de miga uniforme aceptable. El pan elaborado con harina de haba (PH) fue el que presentó mejores características en volumen ($1.81\text{cm}^3/\text{g}$), dureza (25.98 N) y masticabilidad (107.85 Nmm), mientras que el pan con harina de garbanzo (PG) no presentó diferencia significativa con el PSL. El pan con harina de frijol (PF) y los panes adicionados con esta leguminosa Garbanzo/Frijol (PG-F) y Haba/Frijol (PH-F) presentaron un volumen menor ($1.55 - 1.57\text{cm}^3/\text{g}$), una dureza y masticabilidad mayor que los demás, sin embargo estos dos últimos presentaron un color marrón (amarillo rojizo) en corteza, el cual es característico del pan y además estos panes presentaron una vida útil de 5 a 7 días.

En el análisis sensorial, el PH-F y el PG-F presentaron el mayor porcentaje de aceptación (97.5% y 95% respectivamente), debido a que les agrado su textura y principalmente su sabor, olor y color marrón muy parecido al pan común. El PH (90%), fue aceptado principalmente por su textura suave y esponjosa. Mientras que el PG y el pan con Haba/Garbanzo (PH-G) tuvieron menor aceptación, debido al olor y sabor fuerte a garbanzo. Se elaboraron 6 panes libres de gluten con buena aceptación sensorial.

1. INTRODUCCIÓN

Los productos horneados a base de harina de trigo son de consumo masivo a nivel mundial, sin embargo, existe un sector de la población que se ve privada de esta posibilidad alimenticia a causa de una intolerancia a las prolaminas presentes en las proteínas del trigo, avena, cebada y centeno. Esta intolerancia se denomina enfermedad celiaca, la cual es provocada por la ingestión del gluten (Sánchez et al., 2002). La reacción al gluten por pacientes celíacos conduce a la mala absorción de varios nutrientes importantes tales como el hierro, ácido fólico, vitaminas solubles, etc.

El gluten es la principal proteína que forma la estructura del pan, en la mayoría de los productos horneados que contribuyen a las características elásticas, cohesivas y viscosas de la masa, así como la característica de textura del pan acabado. La sustitución del gluten presenta problemas tecnológicos, como la mala masticabilidad, desmoronamiento y endurecimiento rápido (Miñarro et al., 2012). Por esta razón, se han desarrollado formulaciones complejas con suficientes propiedades viscoelásticas para sujetar el dióxido de carbono liberado durante la fermentación y mantener la estructura durante la expansión a lo largo de la cocción (Marco y Rosell, 2008), esto implica principalmente la incorporación de almidones, cereales libres de prolaminas, emulsificantes e hidrocoloides en una base de harina libre de gluten, con el fin de imitar las propiedades del gluten y mejorar la estructura, masticabilidad, aceptabilidad y vida útil del pan.

Los productos libres de gluten, aunque tengan una buena textura y sabor, esto conduce a una mala nutrición, por lo que se emplean diferentes fuentes de proteína para mejorar la calidad nutricional de estos productos. Las proteínas lácteas y de la soya son las más utilizadas en las formulaciones de pan sin gluten (Marco y Rosell, 2008).

Las leguminosas son una fuente importante de proteínas en los alimentos. Contienen grandes cantidades de lisina, leucina, ácido aspártico, ácido glutámico y arginina. También contienen hidratos de carbono, tales como almidón y fibra, vitaminas y minerales. Aparte de sus propiedades nutricionales, las proteínas de las leguminosas también poseen propiedades funcionales que juegan un papel importante en la formulación y elaboración de los alimentos (Miñarro et al., 2012). Las propiedades funcionales de las proteínas de harina de leguminosas, como el garbanzo, haba y frijol se han utilizado en la preparación y el desarrollo de productos de panadería, sopas, productos extruidos y aperitivos listos para comer.

Las leguminosas, debido a su composición química particular tienen efectos terapéuticos en ciertas enfermedades tales como la obesidad, la diabetes y en enfermedades cardiovasculares, así como efectos beneficiosos sobre la salud de los huesos. La mayoría de las organizaciones de salud incluyendo la Organización Mundial de la Salud, promueven el consumo regular de leguminosas (De la Hera et al., 2012).

Los cereales distintos del trigo también se pueden usar en la panificación. La harina de arroz es útil ya que carece de gluten y contiene niveles bajos de sodio y una alta cantidad de hidratos de carbono y de fácil digestión, por lo que es deseable en la dieta de los celíacos (Sánchez et al., 2002). El arroz es el cereal más adecuado en la producción de productos libres de gluten debido a su sabor suave, color blanco, digestibilidad y propiedades hipo alergénicas. La masa de harina de arroz requiere una muy alta hidratación en comparación con la masa de harina de trigo. La adición de grandes cantidades de agua conduce a una mejora considerable del comportamiento de la masa durante la mezcla (es decir, una estabilidad más alta) (Torbica, Hadnadev y Dapcevic, 2010). El almidón de maíz también puede ser consumido por las personas con enfermedad celíaca, por lo que también es una buena opción para aplicarlo en panes.

La combinación de proteína de cereales y de leguminosas, son complementarios en el contenido de aminoácidos esenciales. Los cereales son deficientes en el aminoácido esencial lisina, mientras que las leguminosas tienen un alto contenido de este aminoácido (Marco y Rosell, 2008). Esta combinación de proteínas proporciona un mejor equilibrio integral de aminoácidos esenciales, que es muy importante en una dieta equilibrada para los celíacos (De la Hera et al., 2012).

2. JUSTIFICACIÓN

La enfermedad celíaca es hoy en día el trastorno alimenticio más común en todo el mundo. México que tiene una población de casi 120 millones de habitantes, de los cuales se estima que potencialmente el 0.68% (816 mil mexicanos), están en condiciones de la enfermedad celiaca, de los cuales el 9% de estos (73 mil 440), han sido diagnosticados, y el 2% (1468) son celíacos refractarios, son personas que no responden a la dieta sin gluten (Celiacos de México, A.C).

Por esta razón, se ha mostrado un interés creciente en la industria en productos libres de gluten. Los panes sin gluten, la mayoría implica la incorporación de almidones, emulsificantes e hidrocoloides para obtener un pan aceptable pero bajo en proteínas. Las personas celíacas que gusta del consumo del pan, buscan un pan fresco de buena consistencia/textura y principalmente saludable. Por lo que, en el presente trabajo, no solo se diseñara un pan sin gluten sino un pan más saludable, con la adición de cereales y leguminosas para aumentar el contenido nutricional del pan.

Las leguminosas son un buen complemento para los alimentos a base de cereales ya que las proteínas de leguminosas y cereales son complementarias en aminoácidos esenciales. Las leguminosas son ricas en lisina, pero deficiente en aminoácidos que contienen azufre, mientras que los cereales son deficientes en lisina, pero tienen niveles adecuados de aminoácidos que contienen azufre. La combinación de estas proteínas proporciona un mejor equilibrio general de los aminoácidos esenciales, lo cual es muy importante en una dieta equilibrada.

La Organización Mundial de la Salud, promueven el consumo regular de leguminosas, ya que la composición química de las leguminosas tiene efectos terapéuticos en ciertas enfermedades tales como la obesidad, la diabetes y enfermedades cardiovasculares. Lo que nos permite que estos panes con leguminosas, no solo lo podría consumir personas celíacas si no también personas con este tipo de enfermedades.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Diseñar panes libres de gluten adicionados con diferentes leguminosas: haba (*Vicia faba*), garbanzo (*Cicer arietinum L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), así como evaluar sus propiedades fisicoquímicas, sensoriales y de textura.

3.2. Objetivos particulares

- Obtención de harina de haba, garbanzo, frijol y arroz.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la harina de haba, garbanzo, frijol y arroz.
- Evaluar la reología de las masas adicionadas con las leguminosas, así como en la mezcla entre ellas.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos (proteína, humedad, cenizas, grasa, volumen, color, etc.), sensoriales (prueba de aceptabilidad), análisis de perfil de textura (APT) y análisis microbiológicos de los panes.

4. ANTECEDENTES

4.1. Enfermedad celíaca

La enfermedad celíaca (EC) es un trastorno sistemático, de naturaleza autoinmune, provocada por la ingestión de gluten por individuos genéticamente susceptibles. El gluten es el componente de proteína en trigo (gliadina), centeno (secalina) y cebada (hordeína), esta fracción de proteína provoca una atrofia severa de la mucosa del intestino delgado superior. Como consecuencia puede producirse un defecto de mal absorción de nutrientes (sales, minerales y vitaminas) a nivel del tracto digestivo, cuya repercusión clínica y funcional va a estar en dependencia de la edad y la situación fisiopatológica del paciente (Gómez y Polanco, 2008). Las reacciones que provoca el gluten se describen en la tabla 1.

Tabla 1. Síntomas, signos y alteraciones analíticas que obligan a considerar el diagnóstico de la enfermedad celíaca

Clínica	Síntomas	Signos y alteraciones analíticas
Niño pequeño	Diarrea crónica Falta de apetito Vómitos Dolor abdominal recurrente Laxitud Irritabilidad Apatía Introversión Tristeza	Malnutrición Distensión abdominal Hipotrofia muscular Retraso póndero-estatural Anemia ferropénica Hipoproteinemia
Niño mayor y adolescente	Frecuentemente asintomáticos Estreñimiento Dolor abdominal Menarquia retrasada Irregularidades menstruales Cefalea Artralgias Hábito intestinal irregular	Anemia ferropénica Talla baja Aftas orales Hipoplasia del esmalte Distensión abdominal Debilidad muscular Artritis, osteopenia Queratosis folicular
Adulto	Diarrea crónica Dispepsia Dolor abdominal recidivante Pérdida de peso Síntomas que simulan síndrome de intestino irritable. Vómitos recidivantes sin causa aparente. Estreñimiento Dolores óseos y articulares Parestesias, tetania.	Malnutrición con o sin pérdida de peso. Edemas periféricos Talla baja Neuropatía periférica Miopatía proximal Anemia ferropénica sin explicación Hipoesplenismo Osteopenia u osteoporosis (especialmente en el adulto)

	Infertilidad, abortos recurrentes. Irritabilidad. Astenia. Ansiedad, depresión, epilepsia, ataxia.	joven). Aftas bucales recidivantes. Descenso de albúmina sérica. Disminución del tiempo de protrombina. Deficiencia de ácido fólico o vitamina B12 (no explicada). Hipertransaminasemia inexplicada.
--	---	---

Fuente: (Gómez y Polanco, 2008)

La intolerancia al gluten es de carácter permanente, se mantiene a lo largo de toda la vida y se presenta en sujetos genéticamente predispuestos a padecerla. En la actualidad, el único tratamiento disponible para la EC es una dieta estricta libre de gluten.

4.1.1. Magnitud del problema. Epidemiología en el mundo

En el 2009 la distribución geográfica de la EC se restringía principalmente en Europa y otros países desarrollados, como Estados Unidos, Canadá y Australia. Nuevos estudios epidemiológicos han aportado pruebas de que este trastorno es común en muchos países en desarrollo (Cureton y Fasano, 2009). Afectando tanto a niños como a adultos y la relación mujer/varón es de 2:1. Está presente no sólo en Europa y los países poblados por personas de ascendencia europea, sino también en Oriente Medio, Asia, Sudamérica y en México, puede llegar a afectar hasta el 1% de la población en algunos países occidentales. La prevalencia mundial se estima en 1/266, y en España oscila entre 1/118 en la población infantil y 1/389 en la población adulta. Sin embargo, se considera que la epidemiología de la EC tiene las características de un iceberg ya que esta prevalencia puede ser mucho mayor puesto que un porcentaje importante de casos permanece sin detectarse (Gómez y Polanco, 2008).

4.1.1.1. El modelo de iceberg

El iceberg es un modelo (Fig. 1) común que se utiliza para explicar la epidemiología de la enfermedad celíaca (Visakorpi, 1997). De acuerdo con Logan la punta del iceberg está formado por pacientes con EC clásica y atípica, son

pacientes que acaban de ser diagnosticados mediante biopsia que muestra una mucosa plana (arquitectura intestinal alterada). La parte inferior está formada por pacientes que han sido diagnosticados recientemente y que ahora mantienen una dieta sin gluten y muestran una mucosa normal (arquitectura intestinal normal). Por debajo de la línea de flotación hay un gran grupo de "EC silenciosa", que no han sido identificados y que tienen una mucosa del intestino delgado plana. Ellos pueden permanecer sin diagnosticar debido a que no presentan síntomas. Justo en la parte inferior hay un pequeño grupo de pacientes con EC latente que muestra una mucosa normal, estos pacientes aunque consumen gluten, tienen un potencial a desarrollar la enfermedad (Arendt et al., 2002; Gómez y Polanco, 2008).

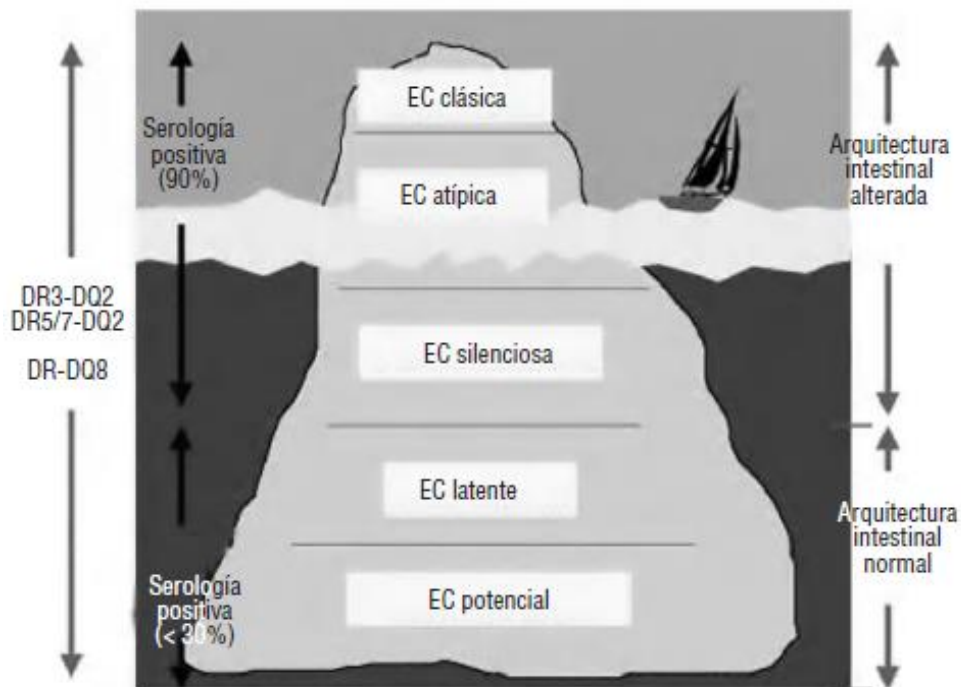


Figura 1. Modelo de Iceberg propuesto por Logan para explicar la epidemiología de la Enfermedad Celiaca (Fernández et al., 2005)

4.1.2. Tratamiento

El único tratamiento eficaz actualmente disponible, es el seguimiento de una dieta estricta sin gluten (DSG), mantenida durante toda la vida del paciente, consistente en suprimir el consumo habitual de todos los alimentos elaborados o que contengan harina de trigo fundamentalmente, pero también de centeno, cebada y avena (Rodríguez, 2010), las cuales contienen prolaminas que son muy tóxicas para estos pacientes. Las prolaminas de estos cereales son:

Tabla 2. Tipos y contenidos de prolaminas en diferentes cereales

Cereal	Tipo de Prolamina	Contenido en %
Trigo	Gliadina	69%
Centeno	Secalina	30-50%
Cebada	Hordeina	46-52%
Avena	Avenina	16%

Los alimentos que están elaborados con harina de maíz o arroz, son los más consumidos por pacientes con EC, ya que estos cereales son los únicos que constitucionalmente están desprovistos de gluten. El tratamiento con dieta sin gluten mejora significativamente la mucosa intestinal y su función de absorción (Rodríguez, 2010; Arendt et al., 2002).

4.2. Productos libres de gluten

Los productos libres de gluten ha incrementado en los últimos años, y los consumidores de hoy en día, pueden encontrar más productos libres de gluten en los supermercados (Heller, 2009). El crecimiento de la categoría puede atribuirse a tres factores principales:

1. Un aumento en el número de personas diagnosticadas con la enfermedad celíaca, y correspondiente aumento de la demanda de los consumidores.
2. Una industria alimentaria más desarrollada, la cual aprovecha cualquier nueva necesidad del consumidor para crear una oportunidad en el mercado.

3. La evolución de la ciencia y la tecnología que permiten la producción de sabrosos y negociables alimentos libres de gluten.

Como la demanda de los alimentos libres de gluten está en crecimiento, los supermercados convencionales actualmente representan el 63% de los productos libres de gluten comprados. Estas tendencias pueden deberse, en parte, al aumento de la disponibilidad de estos productos (Cureton y Fasano, 2009). Por ejemplo en el 2006, el número de productos libres de gluten se incrementó a más de 2400 en tiendas naturistas, y más de 1400 en los supermercados convencionales (Rourke y Tirone, 2007).

Aunque la mayoría de estos productos sin gluten son comprados por los consumidores con cierto grado de sensibilidad, también hay un segmento creciente de la población que busca estos productos, debido a que constituyen una opción más saludable. Por consiguiente, la popularidad de los productos libres de gluten se ha visto impulsada sobre todo en estos últimos años (Heller, 2009).

4.2.1. Panes libres de gluten

El pan es una mezcla compleja de proteínas, almidón y agua que forman una masa con gran elasticidad y consistencia en la presencia de harinas ricas en gluten como: trigo, centeno y cebada, sin embargo, en la ausencia de gluten la mayoría de estos panes son de baja calidad sensorial, ya que no presentan las mismas características que un pan de trigo. Por lo que se necesita una amplia gama de aditivos para conseguir una buena textura en el pan (Arendt et al., 2002).

En los últimos años, los estudios realizados sobre panes libres de gluten se han dado cuenta que, al elaborar el pan sin gluten, se presentan dificultades tecnológicas debido a que el gluten es básico en la formación de la estructura de la miga y su ausencia genera pérdida en las propiedades viscoelásticas de la masa y de la capacidad de retención del gas (Sánchez et al., 1996). Se han diseñado mezclas de polímeros funcionales que cumplen con los requisitos tecnológicos para sustituir el gluten en productos de panificación. En un pan de arroz se desarrolló con éxito varias combinaciones de hidrocoloides tales como carboximetilcelulosa (CMC) e hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) (Gujral et al., 2003). El uso de HPMC también confiere propiedades de buena calidad para el pan sin gluten a base de harina de sorgo 70%, y la fécula de patata 30% (Schober et al., 2007). En otra investigación se usó almidón de trigo con proteasa

bacteriana, combinada con varios tipos de gomas, donde determinaron que HPMC fue la goma más apropiada para la formulación del pan sin gluten (Sánchez et al., 1996).

En general, las mezclas de polímeros se basan principalmente en hidratos de carbono, con una proporción muy baja de proteínas. Las harinas de leguminosas son una fuente importante de proteína, por lo que se realizó un estudio donde caracterizaron cuatro formulaciones sin gluten, para obtener un pan rico en proteínas (Miñarro et al., 2012).

También se han realizado numerosos estudios para analizar el efecto de la adición de harina de leguminosas en las propiedades funcionales de la masa y el pan. Se incluyen estudios de panificación que utilizan harina de garbanzo, donde se estudió el efecto de las masas al sustituir la harina de trigo parcial por harina de garbanzo en un pastel (De la Hera et al., 2012). Otras combinaciones diferentes que se han propuesto incluyen almidón de maíz, arroz, soya y harina de trigo sarraceno, para obtener una formulación compleja (Moore et al., 2004), o una mezcla que contiene diferentes proporciones de harina de arroz con almidones de maíz y de mandioca, mostrando una distribución uniforme de las células sobre la miga, así como un sabor agradable y de apariencia (Sánchez et al., 2002; López et al., 2004).

4.3 Ingredientes del pan y sus funciones.

4.3.1 Harina

La harina es el producto obtenido de la molienda del endospermo del grano de trigo. El endospermo constituye la parte principal del grano de trigo y está formado en su mayor parte por almidón y proteínas. La harina es el material más importante en todo producto de panificación ya que afecta la funcionalidad y las características del producto terminado. La funcionalidad es impartida principalmente por el contenido de proteína y la fuerza del gluten (Serna, 2001; Velásquez, 2014).

La composición media de las harinas panificables oscila entre los siguientes valores (Mesas y Alegre, 2002):

- Humedad: 13 - 15%.
- Proteínas: 9 - 14% (85% gluten).
- Almidón: 68 - 72%.

- Cenizas: 0.5 - 0.65%.
- Materias grasas: 1 - 2%.
- Azúcares fermentables: 1 - 2%.
- Materias celulósicas: 3%.
- Enzimas hidrolíticos: amilasas, proteasas, etc.
- Vitaminas: B, B3 y E.

Harinas más utilizadas en la panificación

- **Harina de panificación:** Producto de la molienda del grano de trigo *Triticum aestivum* o mezcla con *Triticum durum* (candeal).
- **Harina integral:** Se obtiene de la molienda del grano de trigo integral, incluido el germen.
- **Harina de gluten:** Se extrae industrialmente del grano de trigo. Está compuesta del gluten seco y se emplea como mejorador para corregir una harina pobre.
- **Harina de centeno:** Es la más utilizada en panificación después de la de trigo. Es muy pobre en gluten, está compuesta de una sustancia viscosa, el mucílago, que se disuelve en el agua formando goma y que impide la cohesión del gluten en el momento de la formación de la masa, lo que genera una masa pegajosa, difícil de trabajar, para paliar las deficiencias, se le añade un porcentaje de harina de trigo.
- **Harina de maíz:** Cereal de la familia de las gramíneas, es el que más almidón tiene (65 a 67%), es rica en materias grasas lo que hace muy delicada su conservación, si se utiliza sola no se puede panificar. El almidón de maíz o maicena se usa básicamente en repostería, ya sea en cremas, salsas o para aligerar algún pastel y prolongar su frescura.
- **Harina de arroz:** Cereal de la familia de las gramíneas, muy rico en almidón y pobre en gluten, se empieza a utilizar para panes especiales (para personas celíacas).
- **Harina de avena:** La avena es un cereal de la familia de las gramíneas, esta harina se utiliza en productos de régimen, en alcohol (ginebra) y como alimento para ganado.
- **Harina de cebada:** De la familia de las gramíneas. Productos derivados: whisky (alcohol), cerveza, horchata, alimentos para lactantes.

4.3.2 Agua

El agua es el elemento fundamental para solubilizar los ingredientes de panificación: activa la levadura y las enzimas de la malta, hidrata e hincha a los gránulos de almidón y sobre todo es el agente necesario para el desarrollo y formación del gluten. La distribución del agua en la masa es generalmente de 31 % con la gliadina y las glutelinas, 46 % con la fracción almidonosa y 23 % con los pentosanes. Una vez que la masa es sujeta al proceso de horneado para la formación del pan, pierde aproximadamente 10 % de humedad y 77 y 23 % del agua queda ligada a la porción almidonosa gelatinizada y a los pentosanes. La dureza del agua puede afectar la calidad de los productos de panificación (Serna, 2001).

Tipos de agua

1. Agua blanda: aquella que está libre de minerales como el agua de lluvia.
2. Agua dura: aquella que tiene gran cantidad de sales minerales.
3. Agua salina: aquella que contiene cloruro de sodio, como el agua de mar.

El agua más recomendada para la panificación, es el agua dura, ya que tiene sales minerales suficientes para reforzar el gluten y así servir de alimento a la levadura. El agua blanda produce masas pegajosas (Velásquez, 2014).

Funciones del agua en la panificación

1. Hace posible la formación de la masa y desarrollo del gluten
2. Disuelve los ingredientes secos y la levadura, distribuyéndolos en la masa
3. Ayuda al control de la temperatura de la masa
4. Determina la consistencia de la masa
5. Crea el medio propicio para producir la fermentación
6. Ayuda al crecimiento final del pan en el horno
7. Hidrata el almidón y permite su gelatinización
8. Determina el tiempo de conservación del pan.

4.3.3 Levadura

La levadura (*Saccharomyces cerevicea*) es el agente fermentador en panificación. Presenta la particularidad de actuar principalmente sobre dos azúcares: azúcar común o sacarosa y azúcar natural de harina o maltosa, transformándolas en alcohol y CO₂. El CO₂ queda atrapado en la masa la cual se esponja y aumenta de volumen. Este proceso es conocido como fermentación. Los productos intermedios de la fermentación alcohólica de los azúcares son los que determinan las características organolépticas y el sabor típico del pan. La levadura es muy destacada por el gran poder alimenticio que provee al organismo, ya que posee un alto contenido de proteínas y complejo vitamínico del grupo B (Serna, 2001; Mesas y Alegre, 2002; Velásquez, 2014).

Los parámetros para facilitar y regular la fermentación del pan son a temperatura de 26–30 °C y una humedad relativa mayor a 85%. La cantidad de levadura que generalmente se añade a formulaciones de pan varía 1.5-2.0% y 4.0-6.5% de levadura seca y fresca comprimida, respectivamente (Serna, 2001).

La cantidad de levadura a utilizar en una masa está regulada por:

1. Tiempo de fermentación: las fermentaciones largas necesitan menos levadura.
2. Riqueza de la formulación: formulas con alto contenido de azúcar, sal, leche, grasa y huevo deben llevar más levadura.
3. La fuerza de la harina: harinas duras requieren más tiempo de fermentación y menos cantidad de levadura. Las harinas blandas requieren más levadura para reducir el tiempo de fermentación (Velásquez, 2014).

4.3.4 Azúcar

El azúcar tiene tres funciones básicas: impartir sabor, color y es el principal sustrato regulador de la levadura. Los azúcares más utilizados son la sacarosa, los edulcorantes invertidos y el jarabe de maíz (glucosa y fructosa). Estos carbohidratos son usados en la panificación por diversas razones, las principales son:

1. Es un alimento para la levadura
2. Contribuye al ablandamiento inicial de la mezcla
3. Aumenta la tolerancia de la fermentación

4. Determina la temperatura del horneado
5. Da color al pan al caramelizarse en la corteza durante la cocción
6. Mejora la conservación
7. Mejora la textura de la miga
8. Da al pan mayor valor nutritivo y mejora su sabor

4.3.5 Sal

La sal es un agente saborizante que tiene como función principal contrarrestar el sabor dulce y fortalecer el gluten vía modificación iónica de las proteínas. Además, es importante porque hace la masa más tenaz, actúa como regulador de la fermentación, favorece la coloración de la corteza durante la cocción y aumenta la capacidad de retención de agua en el pan (Serna, 2001; Calvel, 1994).

Funciones

1. Controla la acción de la levadura evitando fermentaciones indeseables en la masa, retarda la fermentación de la levadura y con la mayor fuerza del gluten, produce una fermentación más lenta y equilibrada, con suficiente estabilidad en la fermentación final. La miga resulta de poros finos.
2. Mejora la coloración de la corteza: la sal por sí misma no produce color, pero como en la masa quedan más azúcares (al demorar la fermentación se consumen menos azúcares) con capacidad de oscurecer la corteza.
3. Ejerce una función bactericida.
4. Da sabor y hace resaltar los sabores de los otros ingredientes.
5. Fortalece el gluten, mejora la consistencia y capacidad de elaboración de la masa.
6. La cantidad de sal a utilizarse, varía con el tipo de pan que se desea producir, de acuerdo a la formulación. El porcentaje varía del 1% al 2,5%.

4.3.6 Manteca

La manteca vegetal hidrogenada y la manteca animal tienen importantes funciones. Actúan como agente lubricante mejorando el comportamiento de la masa durante el mezclado, disminuyendo principalmente el problema de

pegajosidad. Sin embargo, su principal función es mejorar la textura del pan produciendo una miga más suave y hace más apetitoso el producto. Esto es debido a que la manteca forma pequeñas películas entre la red del gluten y los otros constituyentes interfiriendo con el fenómeno de retrogradación del almidón, el cual está asociado con la pérdida progresiva de textura del pan. El contenido recomendado de manteca vegetal o animal generalmente es de 3-3.5% (Serna, 2001; Velásquez, 2014).

Funciones

1. Función lubricante: es la más importante en el proceso de panificación. La grasa se distribuye en la masa uniformemente impidiendo la fuga de humedad del producto.
2. Función aireadora: importante en el ramo de la pastelería, donde se requiere incorporar al batido gran cantidad de aire para incrementar su volumen. Esta captura el aire en forma de pequeñas burbujas para acumular el vapor durante el horneado, generando así el volumen.
3. Función estabilizadora: confiere resistencia a los batidos para evitar “su caída” durante el horneado. Se encuentra estrechamente ligada con la función aireadora de la masa en la panificación. Sirve para acondicionar el gluten, permitiéndole un adecuado desarrollo.
4. Conservación del producto: el pan se conserva fresco durante un tiempo más prolongado, debido a que mantiene una mayor cantidad de humedad retardando el proceso de envejecimiento.

4.3.7 Leche en polvo descremada

Las formulaciones para el pan de mesa generalmente contienen pequeñas cantidades de leche en polvo descremada (1-3.5 % basado en el peso de la harina). La leche en polvo incrementa ligeramente la tasa de absorción de agua, mejora significativamente el color de la costra del pan (color más dorado) e imparte un sabor más agradable. El valor proteico nutricional del producto se ve positivamente mejorado dado a que la proteína de la leche complementa el patrón de aminoácidos de la proteína del trigo (Serna, 2001).

Funciones

1. Mejora el color de la corteza debido a la caramelización de la lactosa. Esto es porque la levadura no tiene la capacidad de desdoblar el carbohidrato de la leche, por lo tanto, el disacárido contribuye a impartir color a la corteza del pan.
2. Brinda mejor textura al pan, sabor y la masa queda suave.
3. Incorpora al pan más nutriente, elevando su valor proteico.
4. La leche en polvo aumenta la absorción de agua y la masa es más manejable.
5. La grasa de la leche inhibe o retarda algo la fermentación, ayudando que la masa sea más flexible y elástica. Con ello se mejora el volumen, la miga resulta de poros pequeños y suaves.
6. Las sales minerales de la leche fortifican al gluten y dan a la masa una mejor consistencia.

4.3.8 Emulsificantes

Los emulsificantes son compuestos químicos con grupos hidrofílicos y lipofílicos, que sirven como punto de enlace entre los grupos polares y no polares mejorando el comportamiento de la masa. Los emulsificantes retardan las reacciones de retrogradación entre las moléculas de amilosa, por lo tanto, ayudan a mantener la frescura y suavidad del pan. Los emulsificantes más populares son:

- Los **Lactilatos** se dividen en dos grupos. El primero se denomina Estearoil Lactilato de Sodio y su efecto apunta ser un buen reforzador de la masa y suavizante de la miga. El segundo es Estearoil Lactilato de Calcio y su función es acondicionar la masa, aumentando la tolerancia de ésta en el amoldado, su fermentación y suaviza la miga.
- **Lecitina**. Es el primer emulsionante que se utilizó en panadería y es obtenido en la extracción y refinamiento del aceite de soya. Sus propiedades como emulsionante son: humectante y antioxidante, mejoran la tolerancia del amasado, lo que favorece la retención de aire y la dispersión de otros emulsionantes evitando la oxidación excesiva de las masas. Además, no deteriora el aroma y el sabor del producto final y mantiene una coloración muy natural.

- Los **mono/diglicéridos** destilados o modificados. Su fabricación se basa en el calentamiento de grasa de animales o vegetales ricos en triglicéridos. Los monoglicéridos se comercializan en pasta y polvo, se emplean en panaderías por su notorio efecto retardante del endurecimiento. Los diglicéridos de los ácidos grasos conocidos por DATA, se obtienen a partir de grasas comestibles. La función de este emulsionante es reforzar y acondicionar la masa produciendo mayor fuerza y capacidad de retención de gas. También posee característica de suavizante de la miga.

Los emulsificantes generalmente se añaden en niveles desde 0.01 hasta 0.3% basados en el peso de la harina (Serna, 2001; Velásquez, 2014).

Efectos de los emulsionantes en panificación

Los beneficios que reportan los emulsionantes es que mejoran las propiedades físicas de los productos cocidos. Para todos ellos se observa siempre un mayor volumen, lo que se explica por una adecuada captación de aire durante el amasado. También se observa un refuerzo de la malla de gluten que permite retener mejor los gases de la fermentación y se obtienen migas más flexibles, con alveolados más finos y uniformes.

Otro aspecto importante es que mantiene la frescura del pan, la cual depende del tipo de producto utilizado. Por ejemplo, para algunos el concepto de frescura significa mantener la corteza crujiente y en otros se aprecia por la flexibilidad y elasticidad de la corteza y de la miga. En todos los casos se aprecia el mantenimiento de la humedad, característica fundamental de estos dos factores. La pérdida parcial de flexibilidad se asocia con el fenómeno de retrogradación del almidón. Si este proceso se retarda se puede mantener la miga por mayor tiempo (Velásquez, 2014).

4.3.9 Hidrocoloides

Son polímeros que se dispersan en el agua y su efecto es espesante o gelificante, dependiendo del elemento que se use. Actúan modificando la textura y con ello se consigue estabilizar suspensiones, emulsiones o estructuras tipo espuma. Tienen una elevada capacidad de retención de agua, lo cual los hace muy útiles cuando se desea estabilizar ciclos de congelación y descongelación. Permiten modificar la gelatinización del almidón y pueden prolongar la vida útil de los productos. A nivel de panificación los hidrocoloides afectan tanto a las propiedades de la masa

durante el amasado, la fermentación y la cocción, como a las del pan fresco, en cuanto a su calidad y proceso de envejecimiento (Velásquez, 2014).

4.4 Cereales

Los cereales son un conjunto de plantas herbáceas de la familia de las gramíneas, que está formada por 635 géneros y 10 000 especies cuyo grano o semilla se emplea para la alimentación humana y de los animales, generalmente molidos en forma de harina (Mendoza y Calvo, 2010). El término *cereal* proviene de *Ceres*, la diosa romana de la agricultura e incluye el: maíz, trigo, arroz, cebada, avena y centeno.

Los cereales están formados por diferentes capas superpuestas y cada una tiene diferente estructura y composición nutricional (tabla 3). La semilla está formada por el germen o embrión, el endospermo y el pericarpio o cáscara.

Tabla 3. Composición química aproximada (g/100 g de porción comestible) de distintos granos de cereales.

Cereal	Humedad	Hidratos de carbono	Proteínas	Lípidos	Sustancias minerales	Fibra
Trigo	14	56.9	12.7	2.2	1.6	12.6
Arroz	11.8	74.3	6.4	2.4	1.6	3.5
Maíz	12	62.4	8.7	4.3	1.6	11
Avena	8.9	60.1	12.4	6.4	1.9	10.3
Centeno	15	58.9	8.2	1.5	1.8	14.6
Cebada	11.7	56.1	10.6	1.6	2.7	17.3
Sorgo	14	59.3	8.3	3.1	1.5	13.8
Mijo	13.3	66.3	5.8	4.6	1.5	8.5
Minerales	Fósforo, potasio, hierro (principalmente en el salvado)					
Vitaminas	Vitaminas del grupo B; tocoferoles (principalmente en el germen)					

Fuente: (Hernández, 2010).

Los cereales contienen todos los aminoácidos esenciales, aunque son deficientes en lisina. Constituyen una buena fuente de vitaminas del grupo B; también contienen tocoferoles que se concentran mayoritariamente en el germen y en el salvado. Los minerales más abundantes son fósforo y potasio, y se localizan principalmente en el pericarpio del grano. Entre los micronutrientes el más abundante es el hierro (Araneda, 2015).

Los cereales forman una parte importante de la dieta de muchas personas, por lo que los productos de cereales son alimentos muy importantes. Algunos se emplean como semilla (arroz, cebada, avena, mijo, sorgo, maíz) otros como la harina (trigo, centeno, maíz), o copos (cebada, avena, maíz). El contenido de proteína de las semillas o la harina determina su importancia tecnológica y se relaciona con la cantidad y la calidad de los productos (Yada, 2004).

En el año 2013, la producción mundial de cereales fue igual a 2.780,7 millones de toneladas, destinándose un 44% al consumo humano. El principal país productor es China (551 millones de toneladas), seguido por Estados Unidos (436,5 millones de toneladas) (FAOSTAT, 2013). En el año 2011 el consumo per cápita (Kg/persona/año) mundial de cereales fue igual a 147,2 Kg/año/persona (equivalente a 403 g/persona/día). Los cereales más consumidos son el trigo (65,4 Kg/año/persona), seguido por el arroz (54 kg/año/persona) y el maíz (17,7 kg/año/persona) (FAOSTAT, 2011).

4.4.1 Maíz

El maíz junto con el trigo y el arroz, son los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales. Es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y desde hace poco combustible.

En México, el maíz es la base de la alimentación y se consume de diversas formas, 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 (Moita et al., 2007; Badui, 2012).

4.4.1.1 Composición química

Las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química (Tabla 4). El pericarpio se caracteriza por su elevado contenido en fibra, el endospermo por contener una alta proporción de almidón y el germen por su alto contenido de proteína. El grano y la harina completa de maíz se consideran buenas fuentes de energía principalmente por su alto contenido en hidratos de carbono (almidón), mientras que las proteínas y la fibra dietética son también componentes importantes, aunque son pobres en minerales (Moita et al., 2007).

Tabla 4. Composición química proximal de las partes fundamentales del grano de maíz (% de materia seca) en grano blanco y amarillo.

Componente	Pericarpio	Endospermo	Germen	Grano blanco	Grano amarillo
Proteínas	3.7	8.0	18.4	9.1	12.5
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2	4.2	5.6
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8	1.7	2.7
Cenizas	0.8	0.3	10.5	1.3	1.6
Almidón	7.3	87.6	8.3	83.7	77.6
Azúcar	0.34	0.62	10.8		

Fuente: (Moita et al., 2007)

El almidón de maíz es un polisacárido de glucosa, el cual se presenta como complejas partículas discretas, llamadas gránulos, donde las moléculas se organizan radialmente formando un esferocristal. Está compuesto por dos polímeros de glucosa, amilosa y amilopectina, cuyas estructuras químicas se muestran en la Figura 2, respectivamente. La *amilosa* es una molécula esencialmente lineal formada por restos de α -D-glucopiranosilo unidos por enlaces α -1,4. La amilosa de maíz tiene un grado de polimerización de 100-1000 unidades de glucosa. La *amilopectina* también es un polímero de glucosa pero ramificado, que constituye hasta el 70-75% del almidón de maíz, polimerizado por uniones α -1,4 en la zona lineal y α -1,6 en los puntos de ramificación (Moita et al., 2007).

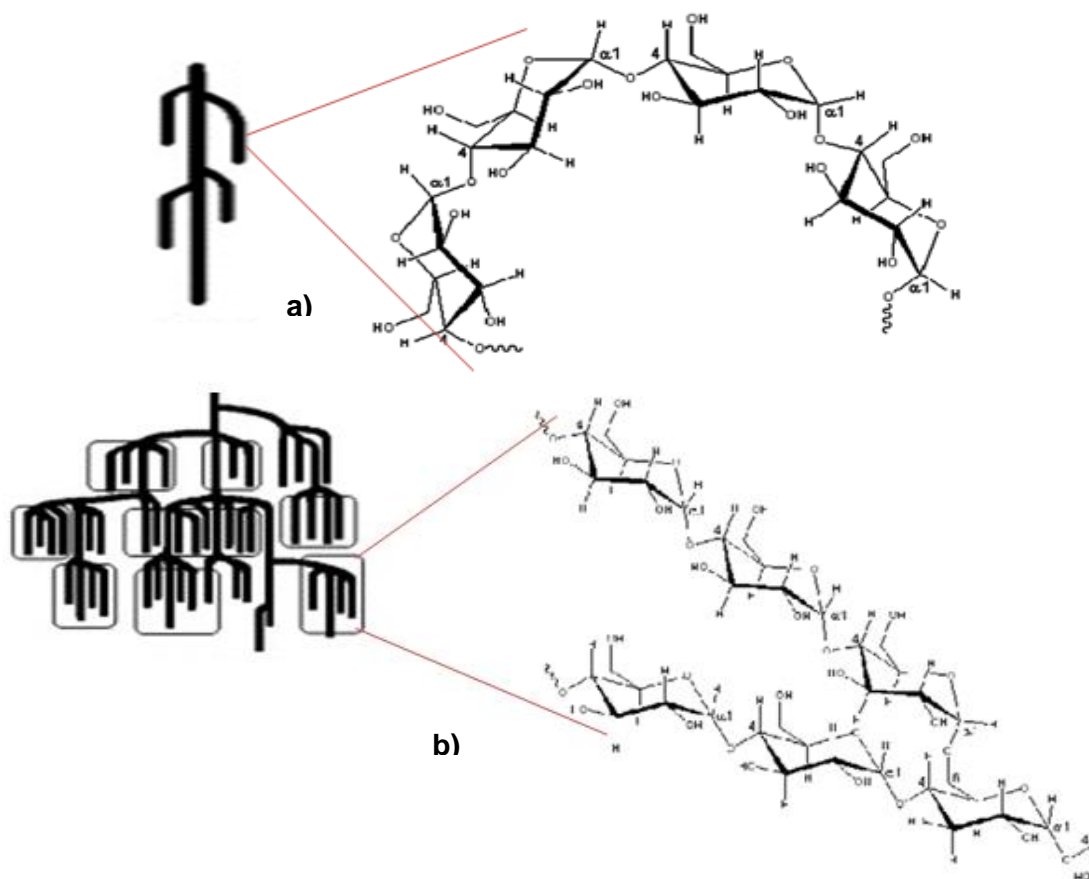


Figura 2 . Representación esquemática de a) Amilosa, b) Amilopectina.
(Moita et al., 2007)

El almidón es el componente mayoritario y el que posee múltiples propiedades funcionales: ligante, enturbiante, formador de películas, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante (incluye espumas), texturizante y espesante. Es por ello que el almidón de maíz posee numerosas aplicaciones (Robutti, 2004).

4.4.1.2 Producción

A nivel nacional el grano que más se produce es el maíz, esto debido a que constituye la principal fuente de energía para la dieta alimenticia de los mexicanos y por otro lado se utiliza como forraje para el consumo animal. Los principales estados productores de maíz blanco son: Sinaloa, Jalisco, Chiapas y Veracruz, los productores de maíz amarillo son: Jalisco, Chiapas y Chihuahua (SAGARPA, 2011).

4.4.2 Arroz

El arroz (*Oryza sativa*), es un cereal muy versátil que se usa para preparar alimentos salados o dulces y hasta bebidas. Este cereal es considerado como un alimento básico en muchas culturas culinarias (en especial la cocina asiática), así como en algunas partes de América Latina. El arroz es el segundo cereal más producido en el mundo, tras el maíz. Es fuente de una quinta parte de las calorías consumidas en el mundo (Mendoza y Calvo, 2010; Badui, 2012).

4.4.2.1 Composición química

El arroz tiene una cantidad elevada de hidratos de carbono, entre los que destaca el almidón, que se compone de amilosa y amilopectina. A mayores proporciones de amilopectina, más viscosa y pegajosa estarán los granos entre sí. Tiene un pequeño aporte de proteínas (7%), y contiene cantidades notables de tiamina o vitamina B1, riboflavina o vitamina B2 y niacina o vitamina B3, así como fósforo y potasio, ver tabla 5.

El contenido de lípidos del arroz es muy bajo. No contiene gluten y por lo tanto es aconsejable para los celíacos y para una dieta sin gluten. (Mendoza y Calvo, 2010).

Tabla 5. Composición nutricional del arroz.

Nutrimento	Arroz integral	Arroz pulido	Arroz precocido
Energía (Kcal)	362	354	380
Humedad (%)	4.30	11.20	11.20
Fibra dietética (g)	4.90	1.90	1.90
Hidratos de carbono (g)	76.17	78.80	82.23
Proteínas (g)	7.50	7.40	7.82
Lípidos totales (g)	2.68	1.00	0.94
Calcio (mg)	292	10	5
Fosforo (mg)	500	104	---
Hierro (mg)	1.80	1.10	6.30
Magnesio (mg)	---	28	---
Sodio (mg)	---	9	1
Potasio (mg)	---	214	---
Cinc (mg)	2.02	0.02	1.48
Vitamina A (RAE) (µg)	0	0	0
Ácido ascórbico (mg)	0	0	0

Tiamina (mg)	0.34	0.23	0.44
Riboflavina (mg)	0.05	0.03	1.20
Niacina (mg)	4.70	1.60	3.50
Piridoxina (mg)	0.30	0.30	0.30
Ácido fólico (µg)	21.50	6.00	10.00
Cobalamina (µg)	0	0	0

Fuente: (Mendoza y Calvo, 2010).

Las proteínas de arroz son deficientes en el aminoácido esencial lisina (Tabla 6), aunque es superior que el contenido de lisina presente en el resto de los cereales. Respecto al contenido de aminoácidos en las distintas fracciones proteicas, las albúminas tienen un alto contenido de lisina seguido de las glutelinas, globulinas y prolaminas. Las globulinas son ricas en aminoácidos sulfurados cisteína y metionina. Los aminoácidos más abundantes en las proteínas de arroz son: ácido glutámico, ácido aspártico y arginina, seguidos de valina, alanina, fenilalanina y serina (Rosell et al., 2007).

Tabla 6. Composición en aminoácidos de las proteínas del arroz.

Aminoácidos (mg /100 g)	Arroz blanco	Harina blanca
Esenciales		
Fenilalanina	381	317
Histidina	168	149
Isoleucina	308	244
Lisina	258	207
Metionina	168	144
Treonina	255	210
Triptófano	83	72
Valina	435	348
Arginina	594	516
No esenciales		
Ac. Aspártico	670	549
Ac. Glutámico	1389	1097
Alanina	413	332
Cistina	146	107
Glicina	325	267
Prolina	335	278
Serina	375	310
Tirosina	238	314

Fuente: (Rosell et al., 2007).

4.4.2.2 Producción

En México el consumo per cápita de este grano es de aproximadamente 7.5 kg. Los estados líderes en su producción son Veracruz y Campeche, pero también los estados de Michoacán, Tabasco, Nayarit y Morelos son productores de arroz (SAGARPA, 2011).

4.5 Leguminosas

La familia Leguminosae, es una de las más abundantes en el reino vegetal, está construida por más de 18000 especies comprendidas en aproximadamente 650 géneros.

El nombre proviene del latín *legere*, que significa “juntar”, y se refiere a plantas con vainas que contienen varias semillas como alfalfa, alubia, chícharo, frijol, garbanzo, haba y lenteja, y otras que por su alto contenido de aceite (20 a 40%), también se clasifican como oleaginosas: ajonjolí, canola, girasol, cacahuete y soya. Cuando se habla de leguminosas se hace referencia a las semillas duras y secas, contenidas en las vainas que constituye el fruto denominado legumbre (Badui, 2012; Mendoza y Calvo, 2010).

Las leguminosas o legumbres constituyen el grupo de plantas más importante para el hombre, ya que es un valioso componente de la dieta, debido a su elevado contenido de proteínas, carbohidratos, fibra dietaria (contenido aproximado entre 3 y 7% del alimento preparado), minerales como Ca^{2+} , Fe^{2+} , Zn^{2+} , P, K^+ y Mg^{2+} ; además de vitaminas como: tiamina, riboflavina, niacina, B_6 y ácido fólico. En la tabla 7 se muestra la composición nutricional de diferentes leguminosas. La vida de anaquel de estos granos es prolongada, lo que facilita su disponibilidad por largos periodos.

Las leguminosas son fuente excelente de proteínas incompletas (carece de la proporción adecuada de algunos de los aminoácidos esenciales), pero que, al hacer combinaciones de proteína, como es el caso de los cereales y leguminosas, podemos obtener una proteína completa de origen vegetal (Mendoza y Calvo, 2010).

Sin embargo, las leguminosas también presentan atributos negativos como: inhibidores de proteasas, fitatos, carbohidratos complejos productores de flatulencias, sabores indeseables, compuestos fenólicos, hemaglutininas (lectinas), etc., los cuales son eliminados en el remojo y principalmente por la cocción. El almacenamiento del grano desarrolla el defecto denominado “cáscara dura”, lo que provoca una cocción prolongada, el cual puede eliminarse por el remojo en

agua o bien utilizando soluciones de bicarbonato de sodio al 0.75% y cloruro de sodio al 0.25%. Para remojar las leguminosas secas, se recomienda poner 1:2 o 1:3 de agua de acuerdo a cada leguminosa. La cocción gelatiniza el almidón, altera la textura y mejora el sabor, de esta manera se logra que las leguminosas se hagan apetecibles. El calor moderado aumenta la disponibilidad de las proteínas y elimina las sustancias tóxicas (Mendoza y Calvo, 2010; Charley, 2009).

La producción mundial de leguminosas es de 5,151 millones de toneladas y en América se produce 33 mil toneladas (FAOSTAT, 2014).

Tabla 7. Composición nutricional de las leguminosas (100 g de producto crudo)

Componente	Garbanzo	Lentejas	Judías	Habas	Guisantes
Valor energético (Kcal)	364	353	333	341	341
Proteínas (g)	19.30	25.8	23.58	26.12	24.55
Grasas (g)	6.04	1.06	0.83	1.53	1.16
Grasas saturada (g)	0.626	0.156	0.120	0.254	0.161
Grasas monoinsaturadas (g)	1.358	0.189	0.064	0.303	0.242
Grasas poliinsaturadas (g)	2.694	0.518	0.457	0.627	0.495
Hidratos de carbono (g)	60.65	60.08	60.01	58.29	60.37
Fibra (g)	17.40	30.5	24.9	25	25.5
Azúcares (g)	10.70	2.03	2.23	5.70	8
Calcio (mg)	105	56	143	103	55
Hierro (mg)	6.24	7.54	8.20	6.70	4.43
Magnesio (mg)	115	122	140	192	115
Fósforo (mg)	366	451	407	421	366
Potasio (mg)	875	955	1406	1062	981
Sodio (mg)	24	6	24	13	15
Zinc (mg)	3.43	4.78	2.79	3.14	3.01
Manganeso (mg)	2.204	1.330	1.021	1.626	1.391
Selenio (µg)	8.2	8.3	3.2	8.2	1.6
Vitamina C (mg)	4	4.4	4.5	1.4	1.8
Tiamina (mg)	0.477	0.873	0.529	0.555	0.726
Riboflavina (mg)	0.212	0.211	0.219	0.333	0.215
Niacina (mg)	1.541	2.605	2.060	2.832	2.889
Ácido pantoténico (mg)	1.588	2.140	0.780	0.976	1.758
Vitamina B6 (mg)	0.535	0.540	0.397	0.366	0.174
Folatos (µg)	557	479	394	423	274
Vitamina A (UI) ¹	67	39	--	53	149
Vitamina E ²	0.82	0.49	0.22	0.05	0.09
Fitoesteroles (mg)	35	--	127	124	135

¹Datos en unidades internacionales

²Datos en miligramos α -tocoferol equivalentes

Fuente: (Oliete y Gómez, 2007)

4.5.1 Haba

El haba (*Vicia faba*) constituye un componente importante en la dieta de amplios sectores de la población rural y urbana, y se consume tanto en estado tierno como en seco. Brinda una fuente de energía, proteínas y micronutrientes tales como ácido fólico, niacina, vitamina C, magnesio y potasio (Giménez et al., 2012).

4.5.1.1 Composición química

El haba al igual que otras leguminosas (como frijol, garbanzo y lenteja) es una importante fuente alimenticia sobre todo en el sector de la población de menor ingreso del país. Su importancia radica en el valor proteínico que, en comparación con el maíz y frijol es superior (Olvera et al., 2001). El valor nutricional depende de la variedad, las condiciones climáticas y la genética de la semilla. En las tablas 7 y 8 se muestran los principales componentes de la semilla en estado fresco y seco. En los granos secos de haba el contenido de proteína, glúcidos y lípidos es mayor que en haba fresca.

Además de que las habas contienen carbohidratos, proteínas, vitaminas y grasas, también contiene calcio, fósforo, hierro, potasio y sodio, elementos esenciales para el buen funcionamiento del organismo humano.

Tabla 8. Principales componentes de la semilla de haba (en estado inmaduro y seco).

Componentes	Haba fresca	Haba seca
Residuos sólidos	15.16%	87%
Proteína	5%	21%
Glúcidos	4%	53%
Lípidos	0%	3%
Cenizas	-	0.3%
Calorías	40 Kcal	332 Kcal

Fuente: (López et al., 2010)

4.5.1.2 Producción

A nivel nacional, en el año 2015, se sembró una superficie de 26 mil hectáreas para la producción de haba grano y 13 mil hectáreas de haba fresca, obteniéndose

una producción de 34,993 toneladas de haba grano y 81,311 toneladas de haba fresca (SIAP, 2015).

El cultivo de haba es importante en la región de los valles altos de la mesa central, región que comprende los estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla, Michoacán y Guanajuato; se cultiva también en las zonas altas de los estados de Veracruz y Chiapas, se estima que el consumo per cápita es de 1 kg.

En México, el haba ocupa el cuarto lugar en orden de importancia, se consume de diferentes formas, pero la parte comestible es la semilla, tanto en vaina o semilla madura, en forma de frituras, sopas, y de muchas otras maneras constituyendo una fuente importante de proteína (López et al., 2010).

4.5.2 Garbanzo

El garbanzo (*Cicer arietinum*) es una leguminosa, de la subfamilia de las Papilionáceas. Es originaria de Turquía desde donde se extendió hacia Europa y más tarde a los continentes de África, América y Oceanía. En la actualidad, la mayor parte del cultivo se realiza en México, Europa, España, Italia y Portugal (Oliete y Gómez, 2007).

El tamaño, forma y color de la semilla varían de acuerdo a los cultivos. Las semillas pueden ser redonda, semiesférica, arrugadas o semiarrugada, son en general puntiagudas, mostrando un pico característico, recto o curvado. Se compone de dos cotiledones y el germen. Los cotiledones contribuyen 83 - 84% y el germen de 1,2 - 1,5% del peso de la semilla. El color de los cotiledones es color amarillo marrón, amarillo, marrón rojizo, y semillas de color negro; de color amarillo pálido (crema o blanco), y semillas de color verde (Paredes et al., 1991).



Figura 3. Semillas de garbanzo, a) lechoso y b) pedrosillano
(Oliete y Gómez, 2007)

4.5.2.1 Composición química

Como el resto de leguminosas, los garbanzos son una buena fuente de proteína vegetal que contiene todos los aminoácidos esenciales aunque es deficitaria en metionina, pero si se mezcla con un cereal rico en metionina como el arroz, la quinoa o trigo sarraceno, podremos conseguir una proteína muy completa y de alta biodisponibilidad.

Los garbanzos contienen carbohidratos de absorción lenta y un gran aporte de fibra, por lo que es un alimento saciante. El contenido de vitaminas es bajo, destacan la vitamina A, vitamina E y el contenido de folatos. Una de las mayores ventajas, es su gran riqueza en minerales, principalmente potasio, fósforo, magnesio, calcio, hierro y zinc, como se puede ver en la tabla 7.

El garbanzo se caracteriza por los ácidos grasos insaturados linoleico y oleico, los cuales protegen el organismo del denominado como colesterol alto.

4.5.2.2 Producción

En la actualidad, México ocupa el quinto lugar en la producción mundial de garbanzo y compite en el mercado internacional con un tipo “extra”, considerado por muchos como el mejor garbanzo del mundo (Mendoza y Calvo, 2010).

El garbanzo se consume en estado fresco como verdura, o secos en sopas y guisados, a nivel industrial se consume en forma de harinas para la fabricación de panes y pasteles especiales, así como en productos de confitería. Actualmente se han elaborado botanas a partir de este grano, así como también para la elaboración de atoles y alimentos tipo “cereal para el desayuno” (Mendoza y Calvo, 2010).

4.5.3 Frijol

La palabra frijol (*Phaseolus vulgaris*) es una deformación del español antiguo *frisol*, que a su vez deriva del griego. Esta legumbre, recibe diversos nombres según el país o la región, pero los más comunes son *judías*, *alubias*, *habichuelas*, *frijoles* y *porotos*. Fue uno de los primeros cultivos en el sur de México y del que existen más de 70 variedades: azufrado, amarillo, ayocote, bayo, blanco, gandul, garbancillo, negro, ojo de liebre, palacio, pinto y rosita (Badui, 2012).

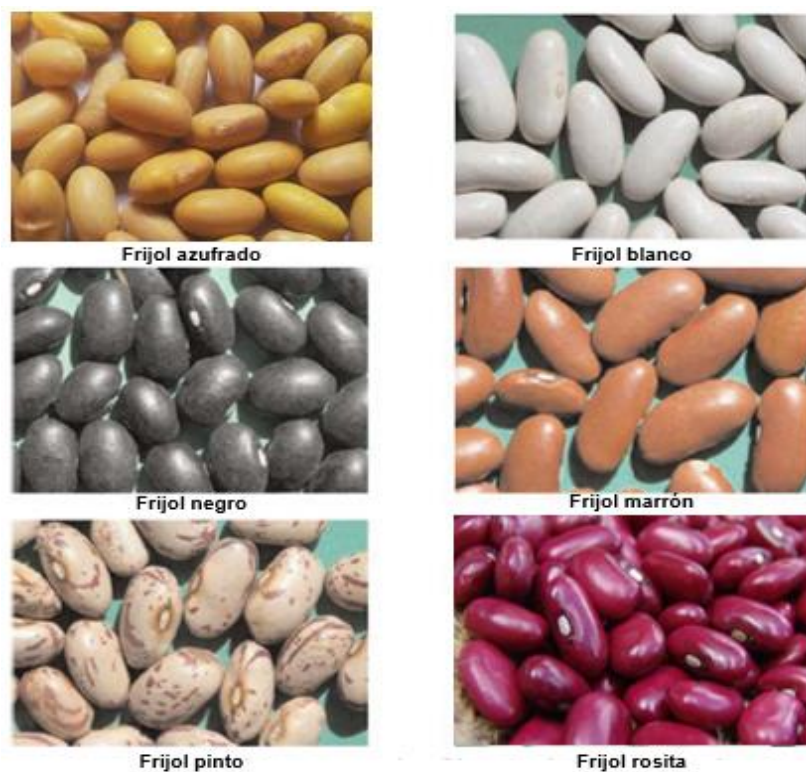


Figura 4. Diferentes tipos de frijoles
(Oliete y Gómez, 2007).

4.5.3.1 Composición química

Las propiedades nutritivas que posee el frijol están relacionadas con su alto contenido proteico y en menor medida a su aportación de carbohidratos. También son fuente de vitaminas como tiamina, riboflavina, niacina y ácido ascórbico. El frijol seco es particularmente rico en algunos de los minerales como son el magnesio, manganeso, cobre, calcio, fósforo y potasio (Desrosier, 1998), como se muestra en la tabla 7.

Dependiendo del tipo de frijol, el contenido de proteínas varía del 19 al 25%, como se observa en la tabla 9. También son ricos en aminoácidos como la lisina (6.4 a 7.6 g/100 g de proteína) y la fenilalanina más tirosina (5.3 a 8.2 g/100 g de proteína), pero con deficiencias en los aminoácidos azufrados de metionina y cisteína (Ulloa et al., 2011).

Tabla 9. Análisis químico proximal de variedad de frijol

Variedad de frijol	Humedad	Cenizas	Fibra cruda	Proteína	Extracto libre de nitrógeno
Namiquipa	9.25	4.74	4.82	19.24	70.19
Negro altiplano	10.90	4.44	4.70	24.38	64.40
Altiplano	10.65	4.40	5.53	24.33	63.95
Azufrado namiquipa	9.25	4.25	5.34	20.61	68.04
Sinaloa	10.05	4.56	4.40	25.18	64.37
Azufrado niguera	10.00	4.24	4.88	25.21	64.10
Negro sahuatoba	10.00	4.28	4.80	25.83	63.24
Pinto mestizo	8.00	3.89	6.10	25.03	63.65
Pinto villa	9.00	3.60	5.60	22.36	67.12
Criollo don Carlos	10.40	4.19	5.75	23.30	64.82
Bayo madero	10.00	4.25	4.69	22.53	67.30
Peruano 87	11.50	4.56	5.25	21.32	66.07
Flor de mayo	8.00	3.68	4.56	23.33	65.79
Canario	9.50	4.17	5.91	24.72	63.89
Pinto comercial	7.00	4.09	6.32	23.85	64.63

NOTA: El valor nutritivo varía con el área geográfica de producción y también con el aumento de madurez del frijol. Por lo cual solo se muestra una pequeña parte de la extensa variedad de frijol que existe.

Indicadores estadísticos de la producción de frijol. CIIDIR-IPN-Durango.

Fuente: (Velasco et al., 2002)

4.5.3.2 Producción

A nivel global anualmente se cosechan alrededor de 29.5 millones de hectáreas de frijol, de las cuales se obtienen 23.0 millones de toneladas, en sus diferentes variedades. Su consumo se realiza principalmente en los países en desarrollo. Actualmente, el consumo per cápita se ubica en un promedio mundial de 2.5 kilogramos por persona por año.

El frijol se cultiva prácticamente en los 32 estados de la República Mexicana, abarcando todas las regiones por sus condiciones climáticas y suelos. La zona Norte del país aporta entre 60 y 70 % de la producción nacional (FIRA, 2015).

5 MATERIALES Y METODOS

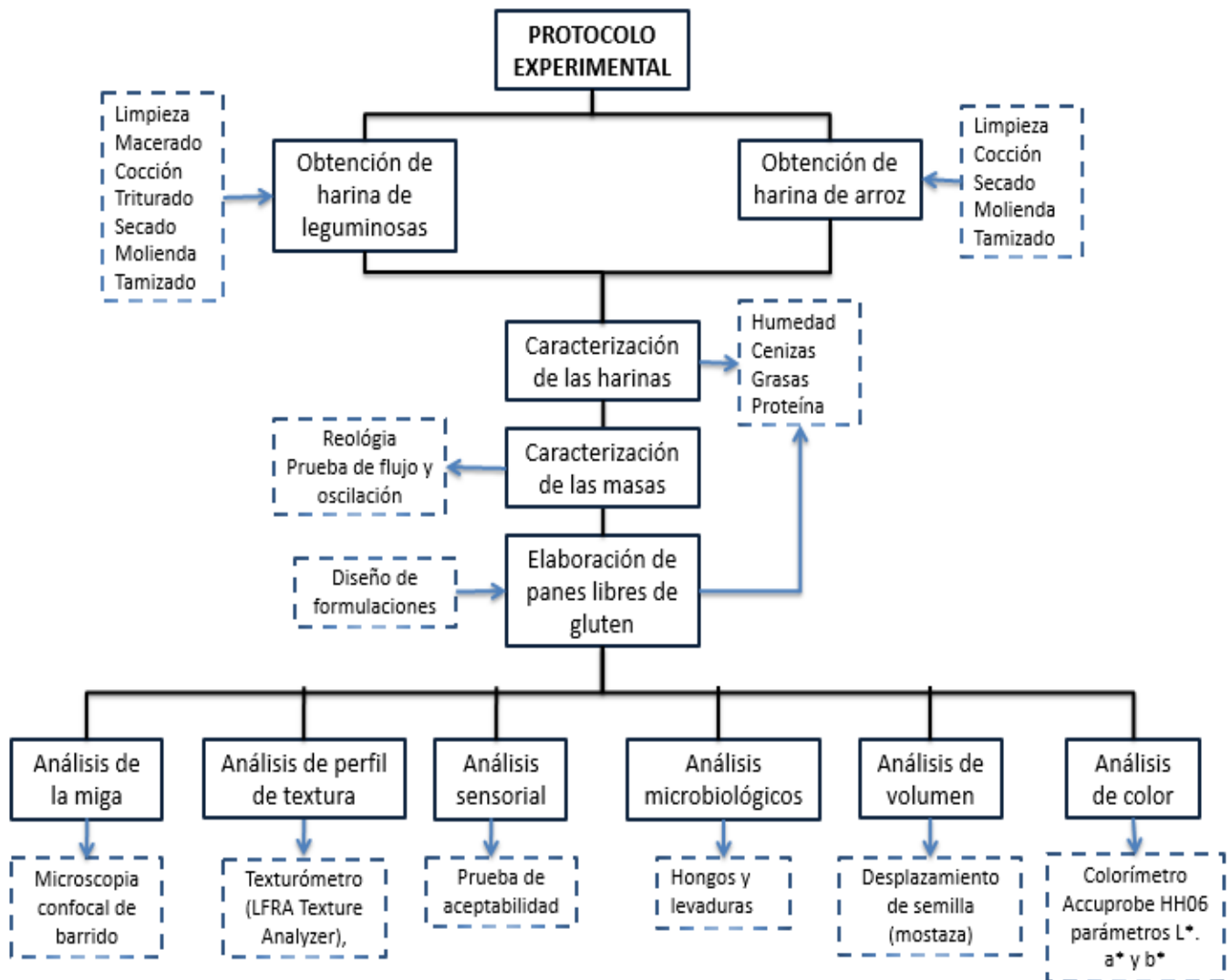


Figura 5. Protocolo experimental empleado para el desarrollo de la presente investigación

5.1 Materias primas

Para el presente trabajo se utilizaron leguminosas secas de garbanzo, haba y frijol (Verde Valle), y como cereal el arroz del Verde Valle (7.02% proteína, 5.81% humedad y 0.61% lípidos), para la elaboración de las harinas. El resto de los ingredientes para la elaboración del pan son: almidón de maíz (Ingredión México, S.A de C.V), azúcar morena (Zulka), manteca vegetal (Inca), levadura en polvo *Saccharomyces cerevisiae* (Tradi-Pan), sal (La Fina), emulsificantes esteres mono-diglicéridos (Danisco, S.A de C.V), polvo para hornear (Royal), goma xantana (Dannova Quimica, S.A de C.V), proteína concentrada de suero (Hilmar Ingredients, S.A de C.V), propionato de sodio (Sigma) y agua.

5.2 Elaboración de las harinas

5.2.1 Harina de leguminosas (garbanzo, haba y frijol)

Las leguminosas se limpiaron manualmente (quitar granos dañados) y se lavaron. Se remojo en agua relación 1:3, durante 20 h. Una vez remojada la leguminosa se lavó dos veces, para retirar los carbohidratos complejos (causantes de las flatulencias).

La leguminosa una vez lavada se prosigue a su cocción, después de la cocción se trituro y se colocó en charolas de aluminio (30 x 19 cm) para secarlas en un horno de convección a 110 °C, en la tabla 10 se observa el tiempo de cocción y secado para cada una de las leguminosas, ya que se cuecen a diferentes tiempos. Finalmente se molió en un molino (Moulin a Cereales SAMAP) y se tamizó con una Malla No. 40 (0.038 mm). Se almacenó a 20 °C hasta su utilización.

Tabla 10. Tiempo de cocción y secado en cada una de las leguminosas

Leguminosa	Tiempo de cocción	Tiempo de secado
Garbanzo	35 min a ebullición	2 h
Haba	38 min a ebullición	2 h
Frijol	15 min en olla a presión (15 psi)	2:20 h



Figura 6. Proceso de la elaboración de las harinas de leguminosas



Figura 7. Harinas de leguminosas

5.2.2 Harina de arroz

El arroz se limpió manualmente (quitar grano dañado) y se lavó tres veces. La cocción se llevó a ebullición por 15 min. El arroz se colocó en charolas de aluminio (30 x 19 cm) para secar en un horno de convección a 110 °C por 2 h. Finalmente se molió en un molino (Moulin a Cereales SAMAP) y se tamizó con una Malla No. 40 (0.038 mm). Se almacenó a 20 °C hasta su utilización.

5.3 Análisis fisicoquímicos de las harinas

La determinación del análisis fisicoquímico se realizó a cada una de las harinas de las leguminosas y a la harina de arroz.

5.3.1 Humedad

Se determinó por el método oficial 925.10 de la AOAC. Se pesó 3 g de muestra en charolas de aluminio (previamente puestas a peso constante). Se secó la muestra en la estufa por 2 h a 105 ± 5 °C o hasta peso constante. Finalmente se determinó la humedad por diferencia de peso, con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{P - P_1}{P_2} \times 100$$

En donde:

P = Peso del recipiente con la muestra húmeda, en gramos.

P_1 = Peso del recipiente con la muestra seca.

P_2 = Peso de la muestra húmeda en gramos.

5.3.2 Cenizas

Se determinó por el método oficial 923.03 de la AOAC. Se pesó 3 g de muestra en crisoles previamente a peso constante. Se quemó lentamente la muestra con un mechero en la campana de extracción de humos hasta que ya no desprendiera humo, y posteriormente se introdujo a la mufla a 500 ± 10 °C por 2 h, hasta conseguir cenizas blancas o ligeramente grises homogéneas (repetir la operación anterior si es necesario). Finalmente se enfrió en un desecador y se pesó. Se determinó el porcentaje de cenizas con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{P - p}{M} \times 100$$

En donde:

P = Masa del crisol con las cenizas en gramos.

p = Masa de crisol vacío en gramos.

M = Masa de la muestra en gramos.

5.3.3 Lípidos

Se determinó por el método oficial 922.06 de la AOAC. Se pesó 3 g de muestra sobre un papel, enrolló y se colocó en un cartucho de celulosa. Se colocó en un equipo de extracción Goldfish, figura 8. Se adicionaron 40 ml de éter de petróleo a los vasos del equipo y posteriormente se realizó la extracción por 2 h. Para verificar que se ha extraído toda la grasa, se dejó caer una gota de la descarga sobre un papel filtro y al evaporarse el disolvente no debe dejar residuo de grasa. Finalmente, los vasos se secaron en una estufa a 100 ± 5 °C por 30 min y posteriormente se pasaron a un desecador por 10 min y luego se prosiguió a pesarse. Para determinar el porcentaje de grasa se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ grasa} = \frac{\text{Peso del vaso con grasa} - \text{Peso del vaso}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$



Figura 8. Equipo de extracción Goldfish

5.3.4 Proteína

Se determinó por el método oficial 920.87 de la AOAC. Se pesó 1 g de muestra y se pasó a un tubo Kjeldahl, al cual se le agregó 4 g de mezcla reactiva de selenio y 20 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado al 98%. Este se colocó en el

digestor (figura 9) y se calentó durante 1 h hasta que el contenido del tubo presentó un color verde claro. El tubo se dejó enfriar a temperatura ambiente, mientras en un matraz Erlenmeyer se adiciono 60 ml de ácido bórico (H_3BO_3) al 2% y 3 gotas del indicador Shiro-Toshiro. Posteriormente se colocó el tubo Kjeldahl y el matraz Erlenmeyer en el destilador Büchi K-350 (figura 9). Se añadieron automáticamente al tubo Kjeldahl 110 ml de hidróxido de sodio al 32% y 50 ml de agua, destilándose aproximadamente 150 ml, el tiempo de destilación fue de 4 a 5 min. La muestra obtenida se tituló con ácido clorhídrico (HCl) al 0.1 N, virando de verde a violeta. Se calculó el porcentaje de proteína con las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Nitrogeno} = \frac{V \times N \times meq}{m} \times 100$$

$$\% \text{ Proteina} = \% \text{ Nitrogeno} \times \text{factor}$$

Donde:

V = Mililitros gastados HCl en la titulación

N = Normalidad de la solución valoradas de HCl

m = Peso de la muestra en g

meq = miliequivalentes de nitrógeno, 0.014 g

$factor$ = factor proteico (6.25 para leguminosas y proteínas en general)



Figura 9. Digestor y destilador

5.4 Elaboración de los panes libres de gluten

Los ingredientes utilizados para la elaboración de los panes sin gluten con cada una de las leguminosas, se enlistan en la tabla 11. Se hidrato la goma xantana junto con la proteína de suero con 125 ml de agua de la formulación por 40 min, mientras la levadura se hidrato con el agua restante de la formulación por 15 min. Los ingredientes secos se mezclaron con la manteca, la goma y levadura previamente hidratados, durante 1 min a velocidad 1 y 3:30 min a velocidad 3, con una batidora (Hamilton Beach). La masa se colocó en moldes de 11 x 6 x 3.5 cm previamente engrasados. Los moldes se colocaron a la cámara de fermentación a 30 °C durante 45 min. Finalmente se hornearon (horno de convección) a 180 °C por 15 min.

Tabla 11. Formulaciones de los panes libres de gluten con diferentes leguminosas

INGREDIENTES	PSL	PH	PG	PF	PH-G	PG-F	PH-F	% Peso Total
Almidón de maíz	70	60	60	60	60	60	60	21.08
Harina de arroz	30	25	25	25	25	25	25	8.78
Harina de haba	----	15	----	----	7.5	----	7.5	5.27
Harina de garbanzo	----	----	15	----	7.5	7.5	----	
Harina de frijol	----	----	----	15	----	7.5	7.5	
Azúcar morena	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	2.0
Manteca vegetal	6	6	6	6	6	6	6	2.11
Levadura	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	1.72
Sal	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	0.86
Emulsificantes	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	0.69
Polvo para hornear	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45	0.86
Goma Xantana	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	0.69
Proteína concentrado de suero	8	8	8	8	8	8	8	2.81
Propionato de sodio	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.15
Agua	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	150.77	52.98

NOTA: Los ingredientes expresados en % base harina: almidón de maíz + harina de arroz + harina de leguminosa (Haba, Garbanzo o Frijol); 100%
 PSL = Pan sin leguminosa; PH = pan de haba; PG = pan de garbanzo; PF = pan de frijol
 PH-G = pan de haba/garbanzo; PG-F = pan de garbanzo/frijol; PH-F = pan de haba/frijol



Figura 10. Proceso para la elaboración del pan libre de gluten

5.4.1 Reología de las masas

Para las mediciones reológicas, las masas se prepararon como se indica en el punto 5.4. Para el análisis, se utilizó un Modular Compact Rheometer (PHYSICA MCR 300). Todas las mediciones se realizaron a 25 °C, utilizando placas paralelas (geometría PP50/P2 y 1mm de gap). La muestra de masa se colocó entre las placas y se retiró el exceso con ayuda de una laminilla. Antes de empezar cada medición se dejó reposar la muestra por 5 min para que las tensiones residuales se relajaran. Las masas fueron sometidas a barridos de amplitud (0.005–50 % de deformación, 1 Hz), para caracterizar la región viscoelástica lineal. También se sometieron a un barrido de tasa de corte (10^{-7} a 10^4) para obtener su viscosidad aparente.



Figura 11. Masa de cada una de las leguminosas



Figura 12. Reómetro (PHYSICA MCR 300)

5.4.2 Análisis fisicoquímicos de los panes

Los análisis que se le realizaron a cada uno de los panes, se determinaron de acuerdo a los siguientes métodos: humedad (925.10 de AOAC), cenizas (923.03 AOAC), lípidos (922.06 AOAC) y proteína (920.87 AOAC), los cuales ya se describieron anteriormente.

5.4.3 Determinación de volumen específico

El volumen específico de los panes, se determinó por el método de desplazamiento de semillas de mijo (Miñarro et al., 2012), modificando el método por semillas de mostaza. Los panes se pesaron después de 30 min del horneado. El pan se colocó en un recipiente (volumen 540 cm³) y se cubrió totalmente por semillas de mostaza, las semillas se vaciaron en una probeta para medir el volumen del pan como se muestra en la figura 20, esto se realizó por triplicado. El volumen específico se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Vol. específico} = \frac{\text{Volumen del pan (cm}^3\text{)}}{\text{Peso del pan (g)}}$$



Figura 13. Análisis de volumen específico con semillas de mostaza

5.4.4 Determinación del % pérdida de peso por horneado

Para determinar el % de pérdida de peso, se pesó la masa al colocarlo en el molde y después del horneado se pesó el pan, esto se realizó con cada uno de los panes. Se calculó el porcentaje de pérdida de peso con la siguiente ecuación:

$$\% \text{Pérdida por horneado} = \frac{(P_m - P_p) \times 100}{P_m}$$

Donde:

P_m = peso de la masa

P_p = peso del pan después del horneado

5.4.5 Análisis de perfil de textura (APT)

El APT, el pan fue rebanado transversalmente usando un cortador de madera para obtener cortes uniformes de 15 mm de espesor. Se tomaron dos rebanadas del centro del pan para el análisis. El APT se realizó con un texturómetro (LFRA Texture Analyzer), con una sonda cilíndrica de acrílico de 49 mm. Esta prueba se

realizó con los siguientes parámetros: objetivo de 20 % de deformación, carga de activación 0.19 N, velocidad de prueba 1.0 mm/s y 2 ciclos, con un tiempo de recuperación de 5 s (Figura 15). Todos los panes fueron analizados después de 24 h de su elaboración. Las pruebas se realizaron por triplicado.



Figura 15. Cortadora de pan



Figura 14. Texturómetro LFRA

Al finalizar la prueba se obtuvo una curva típica del APT (fuerza vs tiempo). Los parámetros estudiados fueron:

- **Dureza:** fuerza del pico de la primera compresión, esta representa la fuerza necesaria para comprimir un alimento entre los molares.
- **Cohesividad:** relación de áreas entre el segundo ciclo de compresión y el primer ciclo ($A2/A1$), esta representa la fuerza de los enlaces internos que compone el producto.
- **Elasticidad:** está relacionada con la altura que el alimento se recupera durante el tiempo que transcurre entre el final de la primera mordida y al inicio de la segunda mordida.
- **Resiliencia:** medición de cómo una muestra se recupera de la deformación en relación a la velocidad y las fuerzas aplicadas.

- *Masticabilidad*: energía necesaria para masticar un producto sólido a un estado donde está listo para tragar.

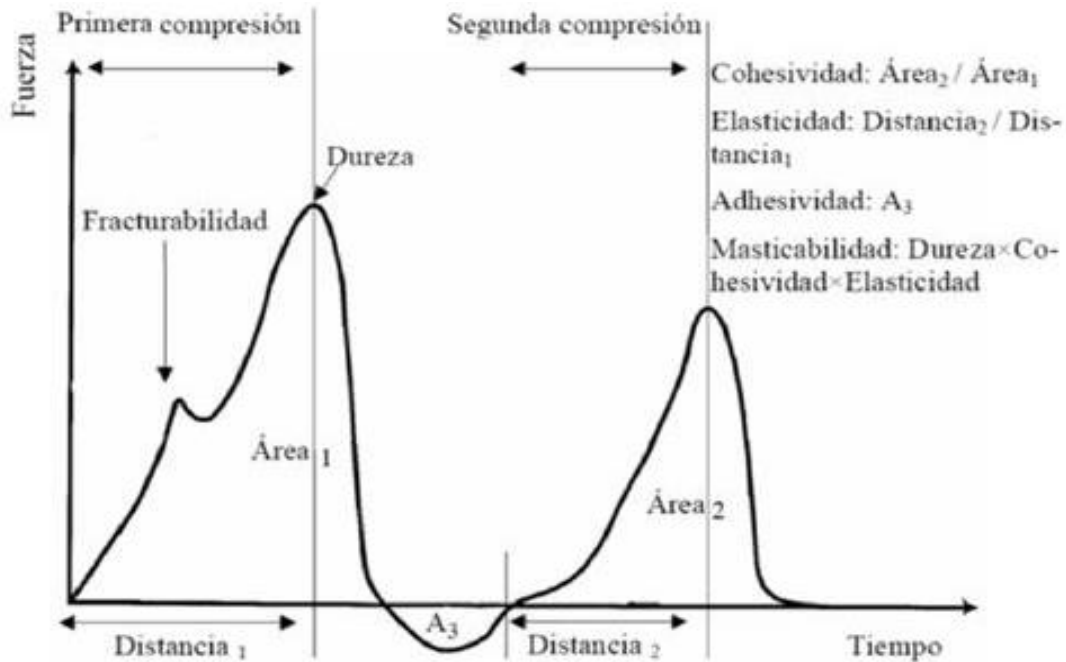


Figura 16. Grafica general del Análisis de Perfil de Textura (APT)

5.4.6 Análisis descriptivo de la miga

Para realizar el análisis descriptivo de la miga, el pan fue rebanado transversalmente usando un cortador de madera para obtener cortes uniformes de 15 mm de espesor. Se tomaron fotografías para su análisis.

5.4.7 Análisis de color

El color de la corteza y la miga de los panes fueron medidos con un colorímetro AccuProbe HH06. Se obtuvieron los parámetros L^* , b^* y a^* . Como se muestra en la figura 24, L^* indica la luminosidad (0 negro a 100 blanco), mientras a^* (+ rojo, - verde) y b^* (+ amarillo, - azul) presentan los componentes cromáticos. El color de la corteza se midió en tres zonas diferentes de la parte superior del pan, mientras el color de la miga se midió en el centro de tres rebanadas de pan.

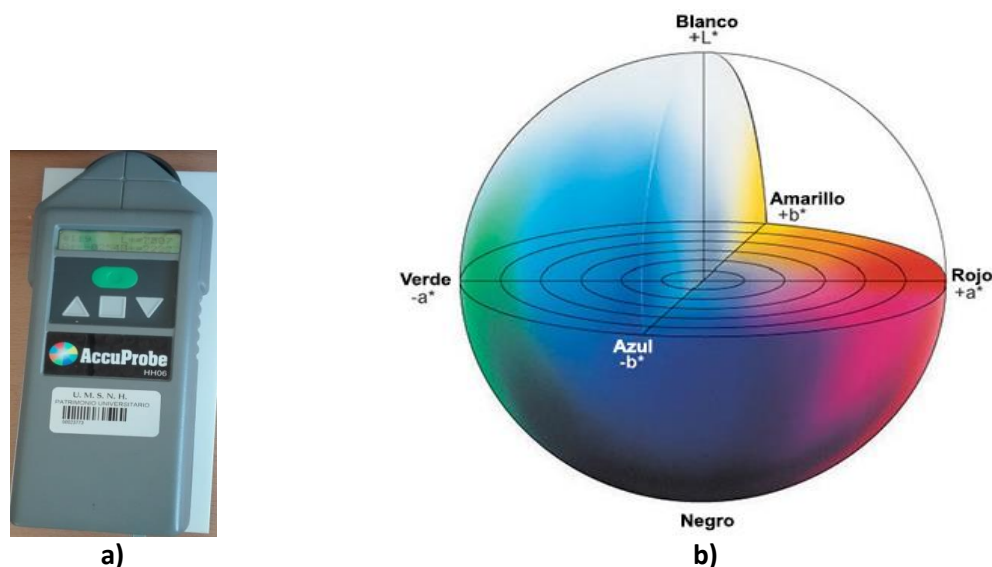


Figura 17. En el a) Colorímetro AccuProbe HH06 y b) El espacio de color CIE L^* , a^* y b^*

5.4.8 Pruebas microbiológicas para hongos y levaduras

A los panes se les determino hongos y levaduras de acuerdo a la NMX-F-255. Método de conteo de hongos y levaduras en alimentos. Se pesó 10 g de muestra de pan y se homogenizo en 90 ml de solución isotónica (0.9 % NaCl) y se realizaron las diluciones correspondientes. Para la inoculación de la muestra se utilizó la técnica de extensión superficial en placa. Se colocó 0.1 ml de la dilución correspondiente en cada caja (con agar papa-dextrosa). Para distribuir de manera homogénea el inóculo se utilizó una varilla de vidrio estéril (en forma de escuadra o L) haciendo movimientos giratorios de manera perpendicular al medio de cultivo, hasta lograr la completa incorporación del inóculo en el medio (Camacho et al., 2009). Las cajas se incubaron a 30 ± 5 °C por 3 días. A los panes, se le realizaron análisis microbiológicos a los días 0, 5 y 7 de almacenamiento.

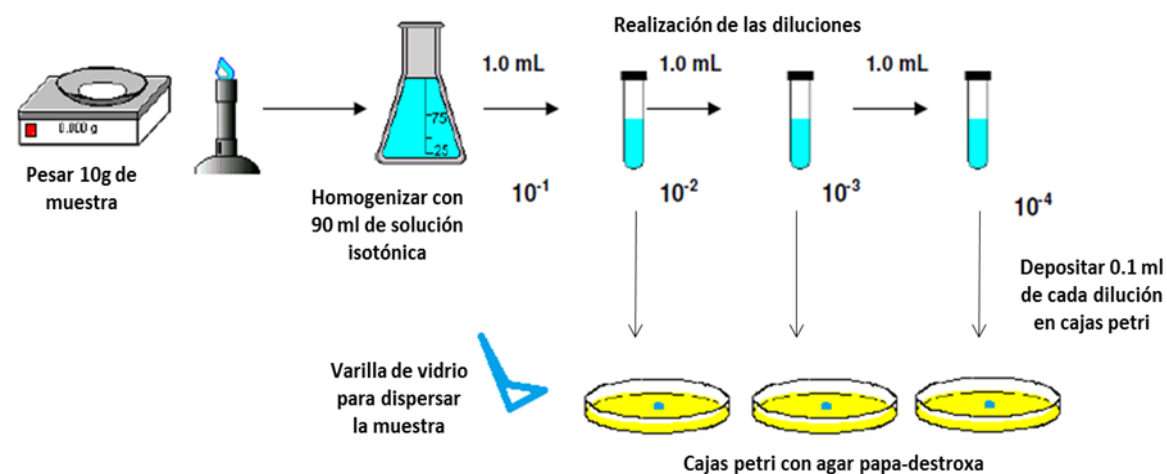


Figura 18. Sembrado de superficie en placa para hongos y levaduras

5.4.9 Análisis sensorial

Se realizó una prueba de aceptabilidad con 40 jueces, entre 20 y 40 años de edad. Para el análisis sensorial, los panes se cortaron en rebanadas y se colocaron en charolas codificadas con tres dígitos aleatorios diferentes. Como eran 6 formulaciones de panes diferentes, la evaluación se realizó en varias sesiones. A cada evaluador se le otorgo una papeleta como se muestra en la figura 19, las muestras se dieron a degustar de una por una, esto para evitar la comparación entre ellas, ya que el objetivo de esta prueba es que el panelista (consumidor) evalué de acuerdo a su criterio si la muestra es aceptable o no para su consumo.

Pan libre de gluten		L50	
Marcar con una "X" su aceptación al probar cada muestra de pan presentada.			
Muestra	Acepta:	SI	NO
845		—	—
295		—	—
423		—	—
Describa brevemente ¿Por qué?:			
845	_____		
295	_____		
423	_____		

845 (PF); 295 (PH); 423 (PG)

Pan libre de gluten		M60	
Marcar con una "X" su aceptación al probar cada muestra de pan presentada.			
Muestra	Acepta:	SI	NO
576		___	___
619		___	___
758		___	___
Describa brevemente ¿Por qué?:			
576	_____		

619	_____		

758	_____		

576 (PH-G); 619 (PH-F); 758 (PG-F)

Figura 19. Papeletas para el análisis sensorial

5.4.10 Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados con el programa estadístico Statgraphics Centurión XV, para desarrollar la prueba de comparación de medias mediante la técnica de diferencia mínima significativa (LSD, por sus siglas en inglés), para lo cual se utilizó un intervalo de confiabilidad de 95 %.

6 Resultados y discusión

6.1 Análisis fisicoquímicos de las harinas

Las pruebas fisicoquímicas realizadas a las harinas se presentan en la tabla 12, donde se muestra que los contenidos de proteína en las leguminosas oscilan entre 21.28 – 28.75%, teniendo el mayor contenido de proteína la HH (28.75 %), seguida de la HF (27.57 %). Mientras que la HG presento mayor contenido de lípidos (7.50%) que las HF y HH, las cuales no presentaron diferencia significativa (3.24 -3.35 %).

Las HH y HG no presentaron diferencias significativas en el análisis de humedad y cenizas (contenido de minerales), mientras la HF presento el mayor contenido de minerales (3.15 %) y menor humedad (2.09 %).

Tabla 12. Pruebas fisicoquímicas de las harinas

Harina	% humedad	% cenizas	% lípidos	% proteína
HF	2.09 ± 0.07 ^c	3.15 ± 0.06 ^a	3.24 ± 0.31 ^b	27.57 ± 0.10 ^b
HH	2.57 ± 0.09 ^b	2.38 ± 0.06 ^b	3.35 ± 0.24 ^b	28.75 ± 0.31 ^a
HG	2.54 ± 0.04 ^b	2.39 ± 0.02 ^b	7.50 ± 0.25 ^a	21.28 ± 0.04 ^c
Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa (P <0.05)				
HF = harina de frijol, HH = harina de haba y HG = harina de garbanzo				

6.2 Propiedades reológicas de las masas adicionadas con leguminosas

6.2.1 Propiedades de flujo

Los fluidos pueden clasificarse con base a su comportamiento como newtoniano y no newtoniano, según si su comportamiento reológico puede describirse o no mediante la ley de Newton de la viscosidad. Los fluidos newtonianos se caracterizan porque su viscosidad es constante para cualquier valor de esfuerzo tangencial o cortante, de tal forma que su velocidad de deformación es proporcional al esfuerzo aplicado (Ibarz et al., 2005).

En la figura 20 se observa que las masas de H, G, H-G y G-F muestran una curva de flujo similar, a una tasa de corte de 10^{-6} a 10^{-4} s⁻¹ estas presentaron un comportamiento newtoniano y a tasas mayores de 10^{-3} s⁻¹ un comportamiento no-newtoniano. Este tipo de comportamiento es típico de materiales “estructurados”.

Este comportamiento es característico de biopolímeros surgidos por entrelazados que forman una densa red reticulada (Ibarz et al., 2005). Las masas de F y H-F presentaron un comportamiento newtoniano a una tasa de corte de 10^{-5} a 10^{-3} s^{-1} . A muy bajas tasas de corte, los enlaces se extienden deformándose elásticamente, pero al alcanzar una tasa de corte “crítica”, los enlaces empiezan a romperse, resultando en un comportamiento dependiente de la tasa de corte. Si el material se deja reposar, la estructura tiende a reformarse o a alcanzar un estado de equilibrio (Murillo et al., 2011).

También se observó que la masa de H presentó una mayor viscosidad aparente de 314,000 Pa·s a una tasa de corte de 1.46×10^{-5} s^{-1} , mientras que la masa de H-F presentó menor viscosidad aparente (120,000 Pa·s, 5.6×10^{-4} s^{-1}), aunque mucho mayor que la masa SL (21,400 Pa·s, 1.54×10^{-3} s^{-1}).

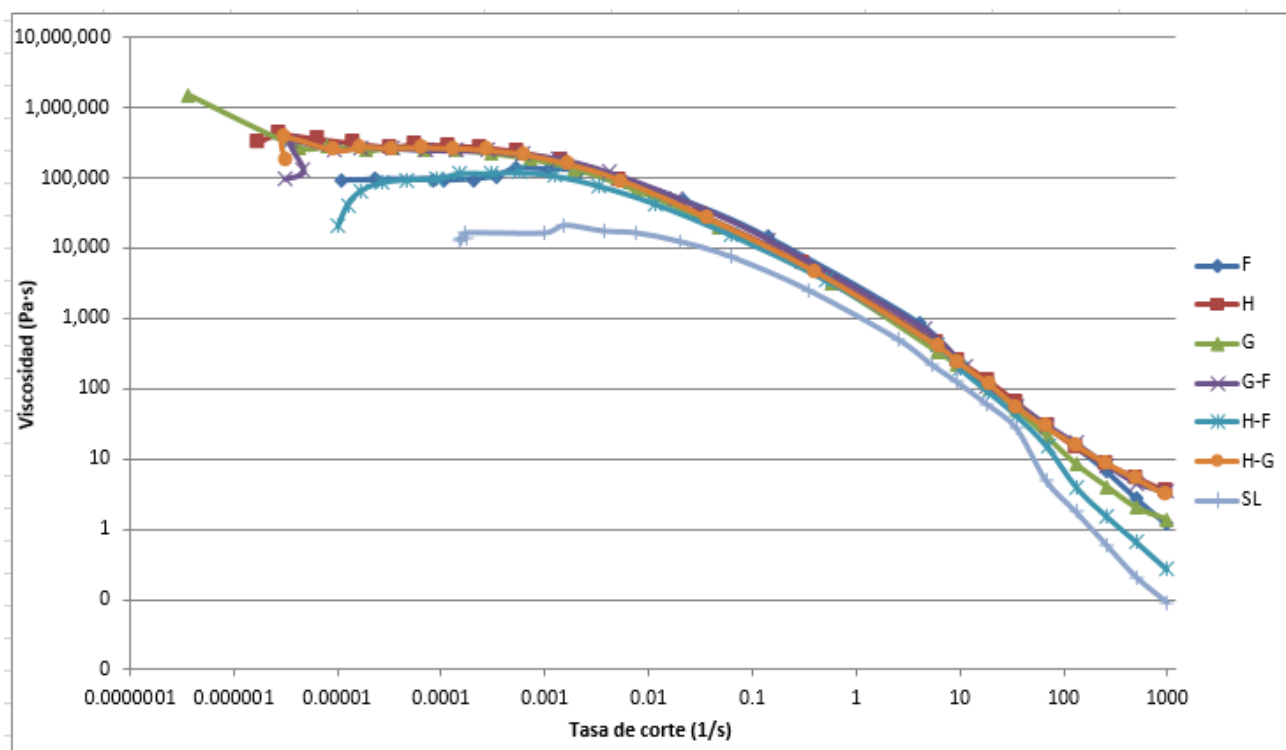


Figura 20. Curvas de flujo de las masas adicionadas con leguminosas: haba (H), garbanzo (G), frijol (F), garbanzo-frijol (G-F), haba-frijol (H-F), haba-garbanzo (H-G) y la masa sin leguminosa (SL).

6.2.2 Propiedades de oscilación (viscoelásticas)

La deformación representa la cantidad dimensional de la deformación relativa de un material. Los materiales que presentan propiedades intermedias a la ley de Hooke “el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación. Pero independiente de la rapidez de deformación” y la ley de Newton “el esfuerzo es proporcional a la rapidez de deformación pero independiente de la deformación” se les denominan materiales viscoelásticos. El término de “viscoelasticidad” hace referencia a la coexistencia de propiedades viscosas y elásticas de un material. Cuando el cuerpo es sometido a un esfuerzo o a una deformación, en su interior se generan “reacomodos” moleculares que requerirán tiempos finitos de acuerdo a la estructura del material (Gallegos et al., 2001; Medina, 2005).

En la figura 21 se muestra los módulos elásticos (G') y viscosos (G'') de las masas en función de la deformación (%). Para todas las formulaciones se observó que los módulos G' son mayores que los módulos G'' , en el intervalo de 0.005 – 1 % de deformación muestran un comportamiento viscoelástico lineal. La masa de F presento módulos G' y G'' mayores que las demás leguminosas, sin embargo, la masa adicionada con G-F y F (0.005 – 0.134 % de deformación) presentaron un comportamiento similar en el módulo G'' .

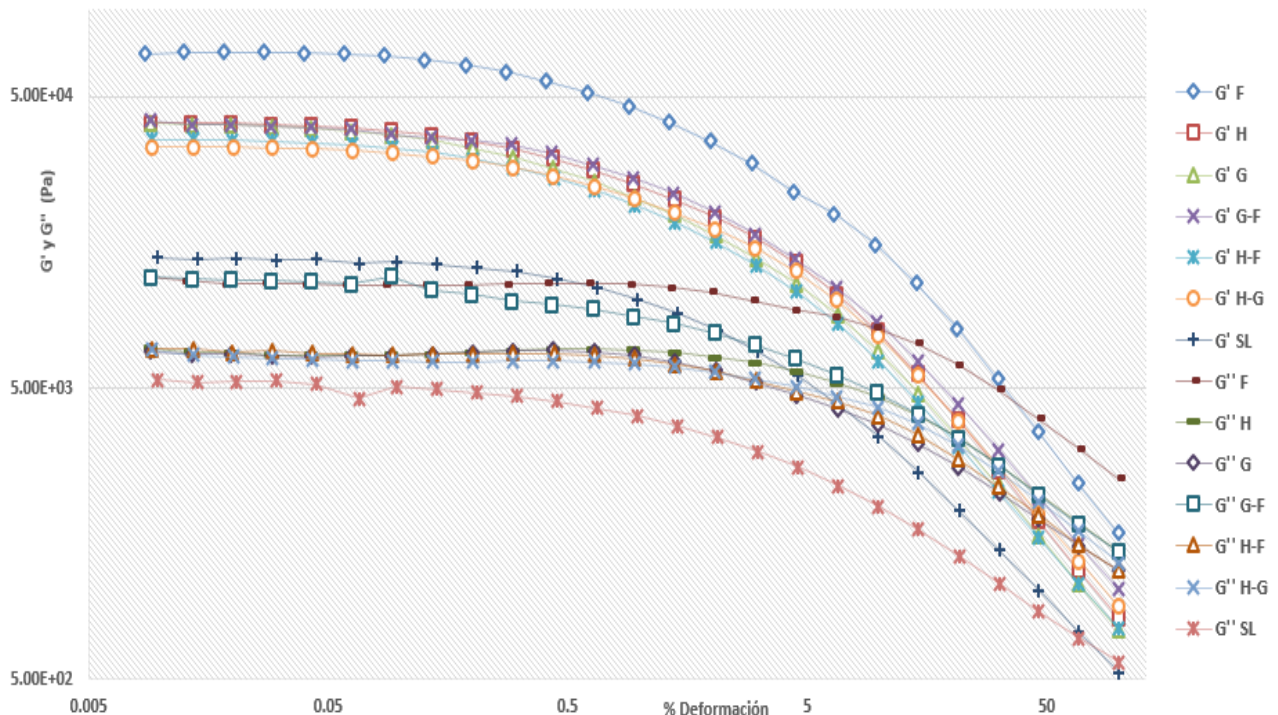


Figura 21. Comportamiento reológico de las masas adicionadas con leguminosa. (G') módulo elástico y (G'') módulo viscoso.

6.3 Evaluaciones a los panes libres de gluten

6.3.1 Análisis fisicoquímicos de los panes

En la tabla 13 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a los 7 panes libres de gluten. Como no existe una norma específica para un pan libre de gluten, pero sí para un pan blanco (NOM-F-159-S-1983), se tomaron las especificaciones fisicoquímicas que debe cumplir un pan blanco ya que el pan libre de gluten, tiene la incorporación de almidones, cereales libres de prolaminas, leguminosas, emulsificantes e hidrocoloides, para obtener características similares a un pan de trigo.

El contenido de humedad en el PSL es de 54.88%, mucho mayor que en los panes con leguminosas. Los panes de PF, PH y PG no presentaron diferencia significativa en contenido de humedad y este parámetro fue menor que en los panes combinados. La NOM-F-159-S establece que, para un pan blanco de caja, el % humedad es entre 30 a 38%, por lo que los 7 panes libres de gluten no cumplen con esta especificación debido a que la harina de arroz y el almidón de maíz requiere una hidratación muy alta (el almidón absorbe hasta aproximadamente el 46% de agua). La adición de grandes cantidades de agua conduce que las moléculas de almidón puedan expandirse libremente y contribuyan a la viscosidad de la masa durante el mezclado (Torbica et al., 2010; Goesart et al., 2005).

El contenido de cenizas (minerales) para el PSL (1.87%) es menor con respecto a los panes que tienen una leguminosa. El PG (2.27%) es la que presenta mayor contenido de minerales seguido del PF (2.20%), teniendo una diferencia significativa con los otros panes. La NOM-F-159-S establece que para un pan blanco de caja, el % cenizas es entre 1.8 a 2.5%, así, los 7 panes libres de gluten cumplen con esta especificación, ya que oscilan entre (2.03 a 2.27%).

El contenido de lípidos fue mayor en el PH (2.94 %), sin embargo todos los demás panes no presentaron diferencia significativa, excepto el PH-F (1.64 %) que fue el que presentó menor contenido de lípidos al igual que el PSL (1.71 %). La norma para un pan blanco de caja, especifica que el % de lípidos es entre 0.8 a 4%, por lo tanto los 7 panes libres de gluten cumplen con esta especificación, ya que oscilan entre (1.64 a 2.94%).

El contenido de proteína del PSL es de 4.44%, siendo menor a los panes adicionados con leguminosas. Todos los panes presentaron diferencia significativa ya que estos oscilan entre 5.75 - 6.50%, siendo el PF con el mayor contenido de

proteína. La NOM-F-159-S establece que para un pan blanco de caja, el % proteína es entre 8 a 9%, por lo que los 7 panes libres de gluten se encuentran por debajo de este porcentaje debido a que se manejó una baja concentración de leguminosa (5.27%). Sin embargo, las leguminosas son fuentes importantes de proteínas alimentarias, que contienen altas cantidades de lisina, leucina, ácido aspártico, ácido glutámico y arginina, y proporcionan perfiles de aminoácidos esenciales bien equilibrados cuando se consumen con cereales y otros alimentos ricos en aminoácidos sulfurados y triptófano (Boye et al., 2010; Roy et al., 2010). Mientras que el ácido glutámico y prolina son los aminoácidos más abundantes en el trigo.

Tabla 13. Pruebas fisicoquímicas de los panes adicionados con leguminosas

Pan	% humedad	% cenizas	% lípidos	% proteína
PSL	54.88 ± 0.29 ^a	1.87 ± 0.03 ^e	1.71 ± 0.16 ^c	4.44 ± 0.04 ^c
PF	48.06 ± 0.73 ^d	2.20 ± 0.02 ^{ab}	2.36 ± 0.31 ^b	6.50 ± 0.03 ^a
PH	47.25 ± 0.29 ^d	2.16 ± 0.02 ^b	2.94 ± 0.01 ^a	6.36 ± 0.45 ^a
PG	47.95 ± 0.36 ^d	2.27 ± 0.01 ^a	2.46 ± 0.13 ^b	5.75 ± 0.20 ^b
PG-F	49.51 ± 0.60 ^c	2.12 ± 0.05 ^{bc}	2.69 ± 0.10 ^{ab}	6.04 ± 0.02 ^{ab}
PH-G	50.83 ± 0.60 ^b	2.07 ± 0.06 ^{cd}	2.40 ± 0.09 ^b	6.43 ± 0.00 ^a
PH-F	49.90 ± 0.74 ^{bc}	2.03 ± 0.10 ^d	1.64 ± 0.38 ^c	6.19 ± 0.40 ^{ab}
Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa (P < 0.05)				

6.3.2 Análisis de volumen específico

Las leguminosas, aparte de sus propiedades nutricionales también poseen propiedades funcionales, tales como: propiedades espumantes, gelificantes, emulsificantes y de hidratación (interacción proteína-agua), las cuales juegan un papel importante en la formulación y procesamiento de un alimento (Boye et al., 2010). Las proteínas de los cereales poseen la funcionalidad de elasticidad (interacciones hidrofóbicas, puentes disulfuro) en productos de panificación y cárnicos (Badui, 2006).

En la tabla 14 se muestra que el PH presentó un volumen mayor (1.81cm³/g) que todos los demás panes. En un estudio por Modercay y Bermudez (1994), determinaron que la HH obtenida por secado en estufa, presentó una capacidad de expansión de espuma (C.E.E) de 29.8% con una alta estabilidad de 22g y una

retención de agua (R.A) de 180 ml/100g. Debido a estas funcionalidades que nos brinda la HH y la de los demás ingredientes como: levadura, actúa transformando los azúcares en CO₂; emulsionantes, es reforzar y acondicionar la masa produciendo mayor fuerza y capacidad de retención de gas (CO₂); e hidrocoloides, su efecto es espesante o gelificante aunque también consiguen estabilizar suspensiones, emulsiones o estructuras tipo espuma (Chel et al., 2003; Velásquez, 2014; Serna, 2001). Todo esto contribuye a que el PH no se desmorone, presente una estructura de miga aceptable y un volumen mayor.

El PF y los panes adicionados con HF, como lo son: PG-F y PH-F, mostraron menor volumen oscilando entre 1.55 – 1.57 cm³/g, esto es debido a que las propiedades funcionales de la HF, presenta una C.E.E de 21% con una menor estabilidad de 6.7g y R.A de 220 ml/100g (Marrugo et al., 2012; Modercay y Bermudez, 1994). Como sus propiedades funcionales de espumado son menores, esto no ayudo a que retuviera o atrapara suficientemente el gas (CO₂), esto pudo ser la causa de que los panes adicionados con esta leguminosa presentaran volúmenes menores (Chel et al., 2003). Como la HF tiene una alta R.A, esto ayudo a que las masas adicionadas con ésta, fueran muy viscosas, como se observó en su reología, figura 21.

Tabla 14. Volumen específico de los panes con diferentes leguminosas

Pan	volumen (cm³/g)
PSL	1.65 ± 0.04 ^b
PF	1.57 ± 0.01 ^c
PH	1.81 ± 0.00 ^a
PG	1.69 ± 0.00 ^b
PG-F	1.56 ± 0.00 ^c
PH-G	1.68 ± 0.01 ^b
PH-F	1.55 ± 0.00 ^c
<i>Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa (P <0.05)</i>	

6.3.3 Análisis del % pérdida de peso por horneado

En la tabla 15 se muestra que los panes PF, PH y PG (17.2 – 17.15 %) tienen una mayor pérdida de peso por horneado por lo cual tienen un menor rendimiento, al

igual que el PSL, mientras que los panes combinados PG-F, PH-G y PH-F presentaron una menor pérdida de peso, por lo que estos tienen un mejor rendimiento. El PG-F fue el que presentó mejor rendimiento (84.7 %). La humedad y la pérdida de peso por horneado son parámetros importantes relacionados con la calidad del pan porque están altamente relacionados con el proceso de endurecimiento y deterioro en sistemas basados en el almidón (Miñarro et al., 2012).

Tabla 15. Pérdida de peso por horneado y rendimiento en los panes

Pan	% pérdida de peso por horneado	% rendimiento.
PSL	17.05 ± 0.07 ^a	82.95 ± 0.07 ^c
PF	17.15 ± 0.21 ^a	82.85 ± 0.21 ^c
PH	17.15 ± 0.21 ^a	82.85 ± 0.21 ^c
PG	17.2 ± 0.14 ^a	82.8 ± 0.14 ^c
PG-F	15.3 ± 0.42 ^c	84.7 ± 0.42 ^a
PH-G	16.2 ± 0.42 ^b	83.8 ± 0.42 ^b
PH-F	15.9 ± 0.42 ^{bc}	84.1 ± 0.42 ^{ab}
Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa (P < 0.05)		

6.3.4 Análisis descriptivo de la miga

El pan como un sólido es "blando" y como muchos otros alimentos está compuesto a un nivel macroscópico de dos fases, un fluido (aire) y un sólido (material de la pared celular) (Scanlon y Zghal, 2001), esto se puede observar en las rebanadas de los panes libres de gluten, como se muestra en la figura 22. El PH presentó alveolos pequeños y una estructura de la miga muy uniforme, al igual que en el PG y PH-G. En estas rebanadas de pan, también pudiera representar cómo las propiedades funcionales de HH y de los demás ingredientes logrando crear una estructura de miga aceptable y un mayor volumen. El PF tiene alveolos mucho más pequeños y la miga es más compacta, esto explica el por qué obtuvo un volumen menor que todos los demás panes.

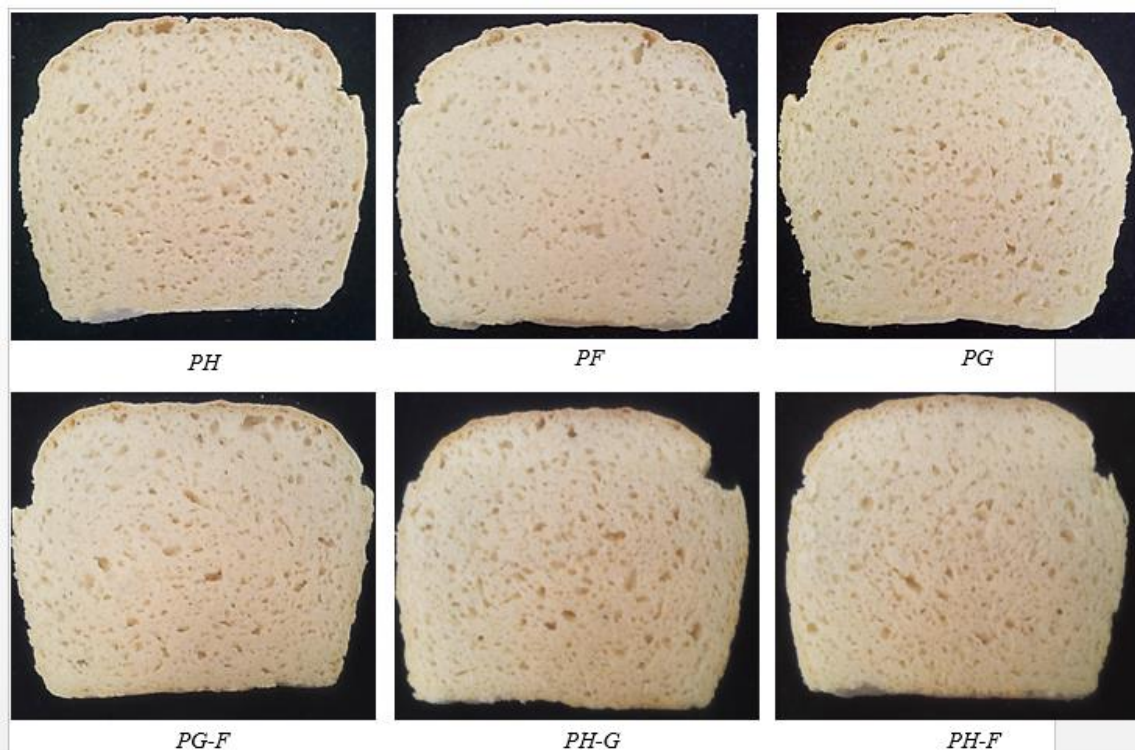


Figura 22. Imágenes de rebanadas de los panes libres de gluten con diferentes harinas de leguminosas.

6.3.5 Análisis de perfil de textura (APT) de los panes

La textura de los alimentos es esencialmente una experiencia humana que surge de nuestra interacción con el alimento, su estructura, su comportamiento cuando es manipulado, implicando desde aspectos de fisiología y psicología de la percepción hasta estudios físico-químicos de la composición y estructura de los materiales alimenticios y su comportamiento cuando son deformados o cizallados (Bourne et al., 2003). Al aplicar un esfuerzo sobre un alimento, es factible medir de forma instrumental las características mecánicas primarias (dureza, viscosidad, elasticidad y adhesividad) y secundarias (fragilidad, masticabilidad y gomosidad) (INIAP, 2004).

En la tabla 16 se muestran los efectos que tuvieron las HH, HG y HF en los parámetros de textura del pan. Se encontró una diferencia significativa en los panes adicionados con cada una de las leguminosas (PH, PG y PF), sin embargo no hubo diferencia significativa entre los panes combinados (PG-F, PH-G y PH-F).

La proporción de almidón y proteína de las HH, HG y HF, juegan un papel muy importante en la calidad final de los panes, por sus distintas capacidades de retención de agua, capacidad de expansión de espuma, estabilidad, entre otras. (Chel et al., 2003). La dureza presento una relación con el volumen. El PH con un volumen mayor, presento una dureza (25.98 N) y masticabilidad (107.85 Nmm) menor. Mientras que el PF con un volumen menor, presento una dureza (31.96 N) y masticabilidad (129.32 Nmm) mayor que todos los demas panes. Entre mas duro sea un alimento mas energia se necesita para masticar y desintegrar hasta que esté listo para ser deglutido. En un estudio por De la Hera et al. (2012) determino que entre más aumentas el porcentaje de harina de leguminosa, incrementas la dureza de un pan.

La cohesividad (representa la fuerza de los enlaces internos que compone el pan) y resiliencia se vieron disminuidas con la adición de la HH y HG, ya que el PSL presento mayor cohesividad (0.81) y resiliencia (0.64), sin embargo el PF no presento diferencia significativa con el PSL. Los panes combinados PH-G, PH-F y PG-F son los que mas presentaron disminución, aunque entre ellos no presentaron diferencia significativa. En elasticidad todos los panes presentaron diferencia significativa y sus valores estuvieron entre 5.10 – 5.86 mm.

Tabla 16. Resultados del análisis de perfil de textura de los panes

Pan	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad (mm)	Resiliencia	Masticabilidad (Nmm)
PSL	27.07 ± 0.21 ^{cd}	0.81 ± 0.01 ^a	5.11 ± 0.09 ^d	0.64 ± 0.01 ^a	112.20 ± 2.23 ^{bc}
PF	31.96 ± 0.95 ^a	0.79 ± 0.03 ^a	5.10 ± 0.02 ^d	0.62 ± 0.03 ^a	129.32 ± 2.27 ^a
PH	25.98 ± 0.52 ^d	0.72 ± 0.04 ^b	5.74 ± 0.05 ^c	0.50 ± 0.06 ^{bc}	107.85 ± 4.83 ^{bc}
PG	27.75 ± 0.95 ^c	0.72 ± 0.03 ^b	5.65 ± 0.04 ^c	0.55 ± 0.05 ^b	112.37 ± 3.89 ^{bc}
PG-F	29.77 ± 0.52 ^b	0.66 ± 0.02 ^c	5.86 ± 0.03 ^b	0.48 ± 0.02 ^c	116.35 ± 2.70 ^b
PH-G	30.28 ± 0.83 ^b	0.64 ± 0.02 ^c	5.84 ± 0.04 ^b	0.45 ± 0.02 ^c	113.32 ± 5.14 ^{bc}
PH-F	30.09 ± 0.67 ^b	0.64 ± 0.02 ^c	5.91 ± 0.09 ^a	0.46 ± 0.02 ^c	116.57 ± 4.75 ^b

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

6.3.6 Análisis de color en corteza y miga

El color característico y deseado de la costra de los productos horneados se desarrolla principalmente durante el horneado a través de las reacciones de Maillard, la cual requiere azúcares reductores y un grupo amino libre, proveniente de un aminoácido o de una proteína para llevarse a cabo. Aunque esta reacción se puede efectuar en diferentes condiciones, se ve influida sobre todo por el pH altas temperaturas, actividad de agua, azúcares reductores y el tipo de aminoácidos, el cual será más reactivo en la medida en que se incrementa el tamaño de la cadena y tenga más de un grupo amino. Por esta razón, la lisina, con su amino en posición ϵ es el más activo; también pueden intervenir otros aminoácidos, como arginina, histidina y triptófano, los cuales se encuentran principalmente en leguminosas. Los sistemas modelo de glucosa-aminoácido, la velocidad se incrementa con los aminoácidos cuyo grupo amino está más alejado del carboxilo (Badui, 2006; Gómez et al., 2008)

En la tabla 17 se observa que el color de la corteza es mayor que el de la miga, esto es debido a que la miga no alcanza temperaturas altas como la corteza, la reacción de Maillard y la caramelización no ocurre (Miñarro et al., 2012; Badui, 2006). El color de la miga fue más afectado por la proteína de cada una de las leguminosas, por lo que el PH ($L^* = 72.95$, $b^* = 27.46$) presentó una miga más oscura y amarillenta, debido por su alto contenido de proteína (tabla 12), mientras que el PH-G ($L^* = 77.00$, $b^* = 25.54$) fue menos oscura y amarillenta, teniendo una diferencia significativa con el PG y PG-F. Los valores encontrados del PG son similares a los publicados por Miñarro et al. (2012).

El color de la corteza del pan se produce principalmente por calentamiento debido a una reacción química entre azúcares reductores, principalmente D-glucosa, y un aminoácido libre o un aminoácido que forma parte de una cadena proteica (Fennema et al., 2000; Badui, 2006). El PF ($L^* = 62.57$) presentó una corteza más oscura, con una diferencia significativa con el PH-F ($a^* = 4.86$, $b^* = 37.80$) el cual presentó un color amarillo rojizo mayor, mientras que el PH-G presentó una corteza menos oscura que los demás.

Tabla 17. Color de la corteza y miga de los panes adicionados con diferentes leguminosas.

PAN	CORTEZA			MIGA		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
PSL	67.53± 0.57 ^b	3.25± 0.41 ^{bc}	34.17± 0.30 ^d	74.58± 0.43 ^{cd}	-2.59± 0.36 ^a	21.70± 0.58 ^f
PF	62.57± 0.30 ^d	2.99± 0.67 ^c	35.24± 0.32 ^c	73.73± 0.52 ^{de}	-2.51± 0.18 ^a	22.67± 0.28 ^e
PH	66.79± 0.21 ^b	1.94± 0.29 ^d	36.29± 0.59 ^b	72.95± 0.81 ^e	-2.97± 0.33 ^{ab}	27.46± 0.29 ^a
PG	67.12± 0.56 ^b	3.12± 0.37 ^c	36.43± 0.58 ^b	76.05± 0.93 ^{ab}	-3.34± 0.49 ^b	24.19± 0.40 ^c
PG-F	63.71± 0.81 ^c	3.91± 0.27 ^b	36.94± 0.30 ^b	76.43± 0.20 ^{ab}	-3.23± 0.12 ^b	23.41± 0.30 ^d
PH-G	69.20± 0.73 ^a	2.64± 0.61 ^{cd}	34.15± 0.79 ^d	77.00± 0.48 ^a	-3.51± 0.03 ^b	25.54± 0.54 ^b
PH-F	62.78± 0.60 ^{cd}	4.86± 0.32 ^a	37.80± 0.26 ^a	75.58± 0.69 ^{bc}	-3.20± 0.44 ^b	25.83± 0.11 ^b

- Letras diferentes en la misma columna representa diferencia significativa ($P < 0.05$)
- L* = luminosidad (negro 0, blanco 100)
- Componentes cromáticos: a* = rojos (+), verdes (-) y b* = amarillo (+), azules (-)

6.3.7 Análisis microbiológico para hongos y levaduras

El análisis microbiológico de los panes adicionados con leguminosas que se realizó a los 0, 5 y 7 días de su almacenamiento, se muestran en la tabla 18. Todos los panes después del horneado (día 0) no mostraron crecimiento de hongos y levaduras, debido a la muerte térmica durante su cocción.

La [NOM-247-SSA1](#) específica que los panes a base de cereales, el límite máximo permisible de hongos es de 300 UFC/g. Los panes de PF, PG, PH-G y PH-F presentaron crecimiento al día 5, mientras que el PF y PG hasta el día 7, todos estos panes presentaron crecimiento de hongos y levaduras mayores al límite permitido, por lo que no tienen una vida útil mayor de 5 y 7 días. Esto puede atribuirse a su alto contenido de humedad, ver tabla 13. Las propiedades de textura de un alimento dependen de su contenido de agua, aun cuando ésta también influye definitivamente en las reacciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas ([Badui, 2006](#)). El PG-F no mostro crecimiento de hongos y levaduras, por lo que este pan podría tener una vida útil mayor de 7 días.

Tabla 18. Análisis microbiológicos (conteo de hongos y levaduras)

PAN	Día 0 ufc/g	Día 5 ufc/g	Día 7 ufc/g
PSL	0	0	333
PF	0	333	667
PH	0	0	1000
PG	0	333	667
PG-F	0	0	0
PH-G	0	2000	2333
PH-F	0	667	1000

6.3.8 Análisis sensorial

En el análisis sensorial que se realizó a los 6 panes libres de gluten adicionados con HH, HG y HF, así como la mezcla entre ellas. Se observó que el diferente contenido y tipo de proteína que contiene cada leguminosa, proporcionan diferentes propiedades funcionales, las cuales afectaron el comportamiento reológico de las masas y sobre todo las propiedades sensoriales, como el volumen, estructura de la miga, textura y color de cada uno de los panes

formulados, los cuales ya se analizaron anteriormente. Sin embargo, las proteínas son inodoras, pero pueden unir compuestos de sabor, los cuales varían de acuerdo al tipo de proteína y a los cambios que sufra durante el procesamiento del alimento. Varias proteínas, especialmente las proteínas de leguminosas y los concentrados proteínicos de suero, presentan sabores indeseables (Badui, 2006). También se sabe que el calentamiento de cierto aminoácido con glucosa genera olores muy característicos, como la Valina a 100 °C produce un olor a pan de centeno, Prolina a 180 °C produce un aroma agradable de pan y la Lisina a 180 °C produce un olor a pan (Badui, 2006). Como las 3 leguminosas tienen estos aminoácidos, todos los panes presentaron ese aroma característico agradable a pan.

La aceptación de un alimento depende de muchos factores, pero principalmente por sus propiedades sensoriales como el color, el aspecto, el sabor, el aroma, la textura y hasta el sonido que se genera durante la masticación. En la figura 23 se muestran los resultados de aceptabilidad de los panes, en donde se observa que los panes combinados con dos leguminosas fueron más aceptados que los de una leguminosa, resultando el PH-F y PG-F los de mayor porcentaje de aceptabilidad (97.5% y 95% respectivamente). En el análisis de estos dos panes, se observó una textura dura y un volumen menor debido por la adición de la HF, sin embargo, a la mayoría de los consumidores les agrado que tuviera una textura dura, no pegajoso, aunque algunos lo consideraron suave. El color, sabor y aroma del PH-F fue muy bien aceptado, ya que lo consideraron muy parecido a un pan común, esto es debido a que este pan presento mayor coloración en la corteza y miga. Mientras que el PG-F presento una corteza y miga parecida al PH-F, por lo que también fue aceptada, y con respecto al sabor y aroma de este pan, a la mayoría les agrado el sabor un poco salado y aroma a un pan común, sin embargo, muy pocos lograron percibir un ligero olor fuerte del garbanzo que no les agrado.

El PH tuvo una aceptabilidad del 90%, ya que a los jueces les agrado mucho su textura muy suave, esponjosa y elástica, lo cual concuerda con el APT. Con respecto a su olor y sabor, les agrado porque tiene un ligero sabor salado, mientras a otros no les gusto el olor y sabor fuerte. El PF tuvo una aceptabilidad del 85%, debido a que nos les agrado su textura dura y miga compacta, sin embargo a los jueces les agrado su color, sabor y aroma muy similar a un pan común.

El PG y PH-G tuvieron una aceptabilidad mucho menor que los demás, debido a que los jueces no les agrado porque detectaron un sabor y olor fuerte del garbanzo, mientras que a algunos les agrado su textura y color.

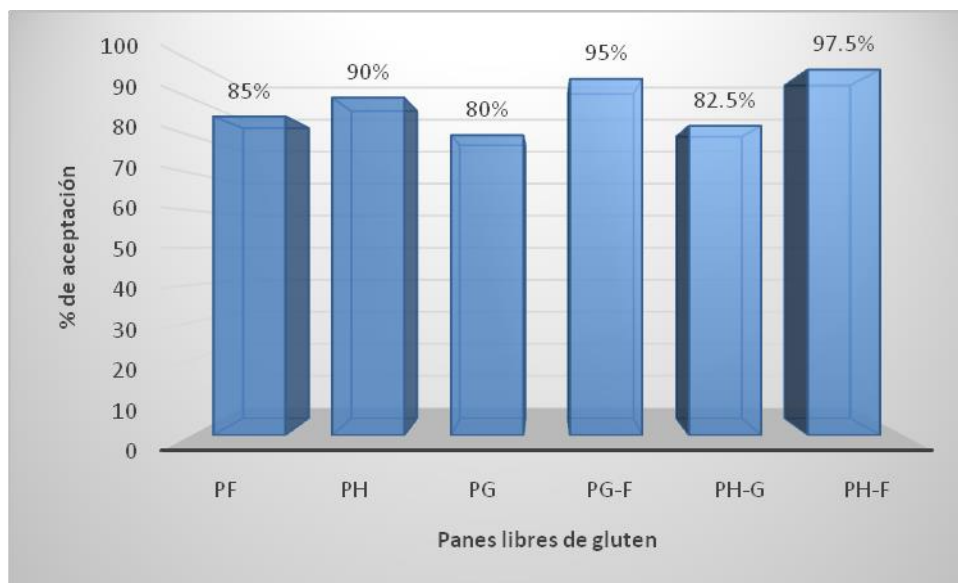


Figura 23. Análisis sensorial de los panes libres de gluten

7 Conclusión

Las harinas obtenidas de H, G y F tuvieron un contenido proteico dentro del intervalo de 21.28 – 28.75%, siendo la HH de mayor contenido de proteico. Las proteínas de estas leguminosas poseen propiedades funcionales las cuales jugaron un papel importante en la formulación y procesamiento de los 6 panes diseñados ya que mostraron propiedades fisicoquímicas mejores que al pan control (PSL). La reología de las masas adicionadas con estas leguminosas, así como la combinación entre ellas (H-F, H-G y G-F) tuvieron un comportamiento newtoniano a tasas de corte menores de 10^{-3} s^{-1} y a tasas de corte mayores tuvieron un comportamiento no newtoniano, la masa de H tuvo la mayor viscosidad aparente (314,000 Pa·s). Todas las masas mostraron módulos más elásticos que viscosos y presentaron un comportamiento viscoelástico lineal a deformaciones menores del 3 %.

En un estudio por [Miñarro et al., \(2012\)](#), determinaron que la adición de la HG en panes libres de gluten brindaron buenas características fisicoquímicas, sin embargo en este estudio se observó que la HH fue mejor que la HG, ya que debido a su alto contenido de proteína (28.75%) y sus propiedades funcionales que proporciona, el PH presento un volumen ($1.81 \text{ cm}^3/\text{g}$) mayor y una dureza (25.98 N), masticabilidad (107.85 Nmm) menores, sin embargo mostro un color más amarillo tanto en miga como en corteza debido al color de la HH, mientras que el PG no presento diferencia significativa con el PSL. El PF y los panes adicionados con esta leguminosa PG-F y PH-F, presentaron volúmenes ($1.55 - 1.57 \text{ cm}^3/\text{g}$) menores y por consecuencia una dureza (29.77 – 31.96 N) y masticabilidad (116.35 – 129.32 Nmm) mayor que los demás. Sin embargo, estos panes presentaron un color, sabor y olor muy parecido al pan común.

En el análisis sensorial el PH-F y PG-F los de mayor porcentaje de aceptabilidad (97.5% y 95% respectivamente), debido a que les agrado su textura un poco dura y principalmente por su sabor, olor y color marrón muy parecido al pan común.

Las 3 leguminosas evaluadas en este estudio fueron ingredientes ideales para mejorar las propiedades fisicoquímicas del pan libre de gluten, también se observó que combinando las fuentes de proteínas como el PH-F y PG-F mejoraron las propiedades del color, aroma y sabor muy parecido al pan común, por lo que fue un factor principal para que los jueces lo aceptaran.

8 Bibliografía

Araneda, M. (2015). Cereales y derivados. Composición y propiedades. *Educación en Alimentación y Nutrición*. Recuperado de <http://www.edualimentaria.com/cereales-y-derivados-composicion-y-propiedades>.

Arendt, E.K., O'Brien, C.M., Gormley, T.R., y Gallagher, E. (2002). Development of gluten-free cereal products. *Food Technology and nutrition*, 12, 65 – 72.

Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos* (Cuarta edición). México: Pearson.

Badui, S. (2012). *La ciencia de los alimentos en la práctica* (pp. 172 – 188). México: Pearson.

Boye, J., Zare, F., y Pletch, A. (2010). Pulse proteins: processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43, 414 – 431.

Calvel, R. (1994). *El Sabor del Pan*. Barcelona: Montagué.

Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B., y Velázquez, O. (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos* (2nd ed.) Facultad de Química, UNAM. México.

Charley, H. (2009). *Tecnología de alimentos. Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos* (pp. 623 – 633). México: Limusa.

Chel, L.A., Corzo, L., y Betancur, D.A. (2003). Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 227, 34 – 43.

Cureton, P., y Fasano, A. (2009). The Increasing Incidence of Celiac Disease and the Range of Gluten-Free Products in Marketplace. *Gluten-Free Food Science and Technology*, 1 – 15.

De la Hera, E., Ruiz-París, E., Oliete, B., y Gómez, M. (2012). Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours. *Food Science and Technology*, 49, 48 – 54.

Desrosier, N.W. (1998). *Elementos de Tecnología de Alimentos* (pp. 155 – 159). México: Continental.

Eckhoff, S.R., y Watson, S.A. (2009). Corn and sorghum starches: production. *Starch: chemistry and technology*. Elsevier, Inc., Oxford, 374 – 439.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). Seguimiento del mercado del arroz de la FAO, 19 (2). Recuperado de <http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2016). Oferta y demanda de los cereales. Recuperado de <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>

FAOSTAT (2014). Recuperado de <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/S>

Fennema, O.R., y Parkin, K.L., y Damodaran, S. (2000). *Química de los alimentos*. México: Acribia.

Fernández, F., Esteve, M., y Rosinach, M. (2005). Cribado de la enfermedad celíaca en grupos de riesgo. *Gastroenterol Hepatol*, 28 (9), 561– 566.

Gallegos, C., Navarro, F., y Martínez-Boza, F. (2001). Rheology and microstructure of asphalt binders. *Rheological Acta*, 4, 135 – 141.

Giménez, M.A., Drago, S.R., De Greef, D., González, R.J., Lobo, M.O y Samman, N.C. (2012). Rheological, functional and nutritional properties of wheat/broad bean (*Vicia faba*) flour blends for pasta formulation. *Food Chemistry*, 134, 200 – 206.

Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W.S., Courtin, C.M., Gebruers, K., y Delcou, 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.

Gómez, A., y Polanco, I. (2008). *Diagnóstico precoz de la enfermedad celíaca* (pp. 17 – 18 y 38). Madrid, España: Ministerio de Sanidad y Consumo.

Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C. M., Pando, V., y Fernández, E. (2008) Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1701 – 1709.

Gujral, H.S., Guardiola, I., Carbonell, J.V., y Rosell, C.M. (2003). Effect of cyclodextrin-glycoyl transferase on dough rheology and bread quality from rice flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (16), 3814 – 3818.

Heller, L. (2009). Commercial Aspects of Gluten-Free Products. *Gluten-Free Food Science and Technology*, 99 – 106.

Hernández, A.G. (2010). *Tratado de Nutrición. Composición y Calidad Nutritiva de los alimentos* (2nd ed.). México: Panamericana.

Ibarz-Ribas, A., y Barbosa-Cánovas, G.V. (2005). *Unit Operations in Food Engineering*, (2nd ed.). Madrid, España.

INIAP (Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias). (2004). Textura de los Alimentos. Recuperado de <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Textura%20de%20alimentos.%20Medida%20instrumental%20y%20aplicaciones.pdf>

La NOM-F-159-S-1983 “Alimentos. Pan blanco de caja”.

López, A.C.B., Pereira, A.J.G., y Junqueira, R.G. (2004). Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47, 63 – 70.

López, M., Guadarrama, M.E., Ixel, B., Villavicencio, M. y Octavio, S. (2010). Usos alternativos del cultivo de haba (pp. 2 – 6). ICAMEX

Marco, C., y Rosell, C.M. (2008). Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours. *Journal of Food Engineering*, 88, 94 – 103.

Marrugo, Y.A., Montero, P.M., y Duran, M. (2012). Propiedades funcionales de concentrados de *Phaseolus lunatus* y *Vigna unguiculata*. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 19 (1), 403 – 405.

Medina-Torres, L. (2005). Estudio reológico del mucilago de nopal y su efecto sinérgico con otros hidrocoloides de uso alimenticio, *tesis de Doctorado UNAM*, Facultad de química, México.

Mendoza, E., y Calvo, M.C. (2010). *Bromatología, composición y propiedades de los alimentos* (pp. 221 – 246). México: Mc Graw Hill.

Mesas, J.M., y Alegre, M.T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3 (5), 307 –313.

Miñarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamis, B., y Capellas, M. (2012). Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 56, 476 – 481.

Modercay, L., y Bermudez, A.S. (1994). Preparación y determinación de propiedades funcionales de concentrados proteicos de haba (*Vicia faba*). *Revista Colombiana de Química*, 23 (1), 73 – 86.

Moita, C., Haros, M., João, M., y Pedroza, R. (2007). Maíz. En: *DE TALES HARINAS, TALES PANES: granos, harinas y productos de panificación* (pp. 75 – 114). Córdoba, Argentina: Iberoamérica.

Moore, M.M., Schober, T.J., Dockery, P., y Arendt, E.K. (2004). Textural comparisons of gluten-free and wheat-based doughs, batters, and breads. *Cereal Chemistry*, 81, 567 – 575.

Murillo, M. M., Pedroza, R., Lobato, C., Martínez, A., y Vernon, E.J. (2011). Designing W1/O/W2 double emulsions stabilized by protein-polysaccharide complexes for producing edible films: Rheological, mechanical and water vapour properties. *Food Hydrocolloids*, 25, 577 – 585.

NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

Oliete, B., y Gómez, M. (2007). Legumbres. En: *DE TALES HARINAS, TALES PANES: granos, harinas y productos de panificación* (pp. 405 – 438). Córdoba, Argentina: Iberoamérica.

Olmos, S. (2007). Apunte de morfología, fenología, ecofisiología, y mejoramiento genético del arroz. *Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE*, Argentina.

Olvera, J., Sánchez, R.J., Ochoa, R., Rodríguez, F., Roque, J., Ortega, C., Palacios, H. y Carrillo, L.A. (2001). La producción de Haba en nuestro país. *Claridades Agropecuarias*, 93, 1 – 32.

Pedrero, D.L., y Pangborn, R.M. (1989). *Evaluación sensorial de los alimentos: métodos analíticos* (pp. 103 – 104). México: Alhambra Mexicana.

Robutti JL. (2004). Calidad y usos del maíz. *IDIA XXI (revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario)*, 4 (6), 100 – 104.

Rodríguez, L. (2010). Enfermedad celiaca. *IT del Sistema Nacional de Salud*, 34 (2), 49 – 59.

Rosell, C.M., Brites, C., Pérez, E., y Gularte, M. (2007). Arroz. En: *DE TALES HARINAS, TALES PANES: granos, harinas y productos de panificación* (pp. 125 – 153). Córdoba, Argentina: Iberoamérica.

Rourke, K. y Tirone, A. (2007). Celiac Disease: Continuing Awareness and Market Growth. *Gluten-Free Food Science and Technology*.

Roy, F., Boye, J.I., y Simpson, B.K. (2010). Bioactive proteins and peptides in pulse crops: pea, chickpea and lentil. *Food Research International*, 43, 432 – 442.

Sánchez, H. D., Osella, C. A., y De la Torre, M. A. (1996). Desarrollo de una fórmula para pan sin gluten. *Información Tecnológica*, 7 (2), 35 – 42.

Sánchez, H. D., Osella, C. A., y De la Torre, M. A. (2002). Optimization of gluten-free bread prepared from Cornstarch, Rice flour, and Cassava starch. *Journal of Food Scienc*, 67, 416 – 419.

Scanlon, M. G., y Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34, 841 – 864.

Schober, T.J., Bean, S.R., y Boyle, D.L. (2007). Gluten-free sorghum bread improved by sourdough fermentation: biochemical, rheological, and microstructural background. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55 (13), 5137 – 5146.

Serna, S.R.O. (2001). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales* (pp. 230 – 236). ITESM-Campus Monterrey, México: AGT editor.

SFA SAGARPA (2011). Perspectivas de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011- 2020. Recuperado de http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/escenariobase/perspectivalp_11-20.pdf

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2015). Producción Agrícola.

Torbica, A., Hadnadev, M., y Dapcevic, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24, 626 – 632.

Tronsmo, K., Faergestad, E., Schofield, J., y Magnus, E. (2003). Wheat protein quality in relation to baking performance evaluated by the Chorleywood bread process and a hearth bread baking test. *Journal of Cereal Science*, 38, 205 – 215.

Velásquez, J. (2014). Curso de panadería y pastelería (pp. 6 – 22).

Visakorpi, J.K. (1997). Changing features of coeliac disease. In *Coeliac disease, Proceedings of the 7th International symposium of coeliac disease, Tampere, Finland*, 23 – 34.

Watson, S.A. (1991). Structure and Composition. In: *Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, 53 – 82.

Yada, R.Y. (2004). *Proteins in food processing* (pp. 176 – 181). Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited.

9 Anexos

9.1 Reconocimiento del congreso de Amidiq



9.2 Memoria en extenso del Amidiq

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

DISEÑO DE PANES LIBRES DE GLUTEN ADICIONADO CON LEGUMINOSAS, EVALUACIÓN REOLÓGICA DE LAS MASAS Y TEXTURA DE LOS PANES.

Lluvia Naret Mendoza Hernández ^a, Alfonso Totosaus Sánchez ^a y María Eva Rodríguez Huevo ^a

^a Laboratorio de Alimentos, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, Av. Tecnológico s/n, Col. Valle de Anáhuac, Ecatepec de Morelos, Estado de México, C.P. 55210, MEXICO. eva_rodriguez_huevo@hotmail.com

Resumen

Las leguminosas, debido a su equilibrio de aminoácidos y sus beneficios nutricionales demostrados son ingredientes ideales para mejorar las características nutricionales de productos de panificación. Por lo que en el presente trabajo se diseñaron y se estudiaron 7 formulaciones de panes sin gluten adicionadas con harina de garbanzo, haba y frijol, así como sus combinaciones. El contenido de proteína de los panes adicionados con leguminosas estuvo entre 5.75-6.50% mientras que el pan sin leguminosa (PSL) de tan solo 4.44%. La evaluación reológica de las masas indicó que son más elásticas que viscosas a deformaciones menores al 5%. Respecto al Análisis de Perfil de Textura (APT), el pan con frijol (PF) fue el más duro mientras que el pan con haba (PH) presentó el menor valor de dureza y mostró una miga con alveolos pequeños y uniformes. Todos los panes adicionados con leguminosa fueron menos cohesivos que PSL excepto PF en el cual no existió diferencia con respecto al PSL. Respecto al volumen el PH presentó el mayor valor (1.81 cm³/g), sin embargo, PF y los panes combinados con esta leguminosa Garbanzo/Frijol (PG-F) y Haba/Frijol (PH-F) obtuvieron el volumen más bajo (1.55 – 1.58 cm³/g). Los panes adicionados con harina de haba y garbanzo presentaron una luminosidad mayor tanto en corteza como en miga, mientras que la harina de frijol presentó una corteza y miga más oscura.

Introducción

Los productos horneados a base de harina de trigo son de consumo masivo a nivel mundial, sin embargo existe un sector de la población que se ve privada de esta posibilidad alimenticia a causa de una intolerancia a las prolaminas presentes en las proteínas del trigo, avena, cebada y centeno. Esta intolerancia se denomina enfermedad celiaca, la cual es provocada por la ingestión del gluten [1]. La reacción al gluten por pacientes celiacos conduce a la mala absorción de varios nutrientes importantes tales como el hierro, ácido fólico, vitaminas solubles, etc.

El gluten es la principal proteína que forma la estructura del pan, en la mayoría de los productos horneados contribuyen a las características elásticas, cohesivas y viscosas de la masa, así como a las características de textura del pan acabado. La sustitución del gluten presenta problemas tecnológicos, como la mala masticabilidad, desmoronamiento y endurecimiento rápido [2]. Por esta razón, se han desarrollado formulaciones complejas con suficientes propiedades viscoelásticas para sujetar el dióxido de carbono liberado durante la fermentación y mantener la estructura durante la expansión a lo largo de la cocción [3], esto implica principalmente la incorporación de almidones, cereales libres de prolaminas, emulsificantes e hidrocoloides con el fin de imitar las propiedades del gluten y así mejorar la estructura, masticabilidad, aceptabilidad y vida útil del pan.

Los productos libres de gluten aunque tengan una buena textura y sabor, esto conduce a una mala nutrición. Por lo que se emplean diferentes fuentes de proteína para mejorar la calidad nutricional de

estos productos [3]. Las leguminosas son una fuente importante de proteínas, las cuales poseen propiedades funcionales que juegan un papel importante en la formulación y elaboración de los alimentos. Las leguminosas son un buen complemento para los alimentos a base de cereales ya que las proteínas de leguminosas y cereales son complementarias en aminoácidos esenciales [2] [4].

El objetivo de esta investigación fue diseñar panes libres de gluten adicionados con diferentes harinas de leguminosas: haba (*Vicia faba*), garbanzo (*Cicer arietinum L*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L*), así como evaluar la reología de las masas y textura de los panes.

Metodología

Para la elaboración de las harinas se utilizaron arroz y leguminosas secas de garbanzo, haba y frijol. Fueron sometidos a un proceso de limpieza, remojo, cocción, trituración, secado, molido, tamizado y envasado. Los ingredientes utilizados para la elaboración del pan fueron: almidón de maíz (Ingredión México, S.A de C.V), azúcar morena (Zulka), manteca vegetal (Inca), levadura en polvo (Tradi-Pan), sal (La Fina), emulsificantes esterres mono-diglicéridos (Danisco, S.A de C.V), polvo para hornear (Royal), goma xantana (Dannova Química, S.A de C.V), proteína concentrada de suero (Hilmar Ingredients, S.A de C.V) y agua. Para la elaboración del pan, se hidrató la goma xantana junto con el suero por 40 min, mientras la levadura se hidrató por 15 min. Los ingredientes secos se mezclaron con la manteca, la goma y levadura previamente hidratadas, se mezcló 1 min a velocidad 1 y 3:30 min a velocidad 3 con una batidora (Hamilton Beach). La masa se colocó en moldes de 11 x 6 x 3.5 cm previamente engrasados, se fermentó a 30 °C por 45 min, después se horneó (horno de convección) a 180 °C por 15 min. Los panes se enfriaron a temperatura ambiente y se empacaron para su posterior análisis.

A las harinas y a los panes se le realizaron análisis fisicoquímicos: humedad (método oficial 44-19 de la AACC), cenizas (método oficial 923.03 de la AOAC), lípidos (método oficial 922.87 de la AOAC) y proteína (método oficial 960.52 de la AOAC). La reología de las masas se realizó mediante un reómetro Modular Compact Rheometer (PHYSICA MCR 300), con una geometría de PP50/P2 y a una temperatura controlada de 25°C. Las masas fueron sometidas a un barrido de amplitud (0.01–100 % de deformación, 1 Hz), para caracterizar la región viscoelástica lineal de las masas, posteriormente se realizó un barrido de tasa de corte 10^{-3} a 10^3 s^{-1} para la viscosidad aparente.

Los análisis que se le realizaron a los panes fueron: el volumen específico se determinó por el método de desplazamiento por semilla de mostaza. El análisis de perfil de textura (APT) se utilizó un texturómetro modelo CT3-100 (LFRA Texture Analyzer), con una sonda de 49 mm, con los siguientes parámetros: 20% de deformación, carga de activación 20 g, velocidad de prueba 1.0 mm/s y 2 ciclos con un tiempo de recuperación de 5 s. Los parámetros estudiados en el APT fueron: dureza, cohesividad, elasticidad y resiliencia. El color de la corteza y la miga se determinó con el colorímetro AccuProbe HH06, obteniéndose los parámetros de L^* y b^* .

Resultados

Las pruebas fisicoquímicas realizadas a las harinas y a los panes, se presentan en la tabla 1 y se observa que el contenido de proteína en las leguminosas oscila entre 21.28 – 28.75%, teniendo el mayor contenido la harina de haba, seguida de la harina de frijol. Mientras que la harina de garbanzo presentó mayor contenido de lípidos (7.50%) a comparación de las otras. El contenido de proteína de cada una de

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

las leguminosas se ve reflejado en el contenido de proteína de cada uno de los panes, teniendo una diferencia significativa ya que estos oscilan entre 5.75 - 6.50%, mientras que el PSL tiene 4.44% de proteína.

	% humedad	% cenizas	% lípidos	% proteína
Harinas de leguminosas y cereal				
ARROZ	5.81 ± 0.11 ^a	0.34 ± 0.00 ^a	0.61 ± 0.06 ^a	7.02 ± 0.05 ^a
FRUOL	2.09 ± 0.07 ^b	3.15 ± 0.06 ^b	3.24 ± 0.33 ^b	27.57 ± 0.10 ^b
HABA	2.57 ± 0.09 ^b	2.38 ± 0.06 ^b	3.35 ± 0.24 ^b	28.79 ± 0.31 ^b
GARBANZO	2.54 ± 0.04 ^b	2.35 ± 0.02 ^b	7.50 ± 0.25 ^a	21.28 ± 0.04 ^b
Panes libres de gluten adicionados con diferentes leguminosas				
PSL	54.88 ± 0.29 ^a	1.87 ± 0.03 ^a	1.71 ± 0.16 ^b	4.44 ± 0.04 ^c
PF	48.06 ± 0.73 ^a	2.20 ± 0.02 ^{ab}	2.38 ± 0.31 ^b	6.50 ± 0.03 ^a
PH	47.25 ± 0.29 ^a	2.16 ± 0.02 ^a	2.94 ± 0.03 ^a	6.36 ± 0.45 ^a
PG	47.95 ± 0.36 ^a	2.27 ± 0.02 ^a	2.46 ± 0.15 ^b	5.75 ± 0.20 ^b
PG-F	49.51 ± 0.60 ^a	2.12 ± 0.05 ^{ab}	2.89 ± 0.10 ^{ab}	6.04 ± 0.02 ^{ab}
PH-G	50.83 ± 0.60 ^a	2.07 ± 0.06 ^{ab}	2.40 ± 0.09 ^b	6.43 ± 0.0 ^a
PH-F	49.90 ± 0.74 ^{ab}	2.05 ± 0.10 ^{ab}	1.64 ± 0.38 ^b	6.13 ± 0.40 ^{ab}

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

Tabla 1.- Pruebas fisicoquímicas de las harinas de los panes.

En la figura 1 se observa el comportamiento de las masas con diferentes leguminosas. Los módulos de almacenamiento (G' elástico) son mayores que los módulos de pérdida (G'' viscoso), en el intervalo de 0.005 - 5 % de deformación muestran un comportamiento viscoelástico lineal. La masa adicionada con frijol (F) presentó módulos G' y G'' mayores que las demás leguminosas, sin embargo la masa adicionada con frijol y garbanzo (F-G) también presentaron un comportamiento similar que F en el módulo G'' .

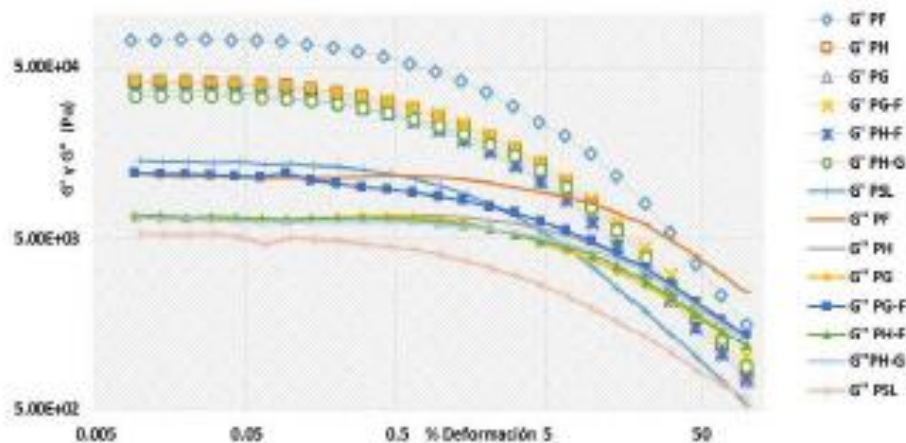


Figura 1.- Comportamiento reológico de las masas adicionadas con harina de haba, garbanzo y frijol, así como la combinación entre ellas. (G') módulo elástico y (G'') módulo viscoso.

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

En el análisis de volumen específico, el PH fue el más alto ($1.81\text{cm}^3/\text{g}$), mientras que los panes con harina de frijol y la combinación con esta leguminosa, como lo son: PG-F y PH-F, mostraron menor volumen ($1.55 - 1.58\text{cm}^3/\text{g}$), esta diferencia se puede observar en la figura 2. El volumen específico del pan se considera como uno de los criterios más importantes en la evaluación de la calidad del pan ya que proporciona mediciones cuantitativas del rendimiento de la cocción [2]

El pan como un sólido es "blando" y como muchos otros alimentos está compuesto a un nivel macroscópico de dos fases, un fluido (aire) y un sólido (material de la pared celular) [5], esto se puede observar en una rebanada del pan como se muestra en la figura 3. Todos los panes presentaron alveolos pequeños y una estructura de la miga uniforme, aunque también se observó que el PF tiene unos alveolos mucho más pequeños y la miga es más compacta que los demás panes.

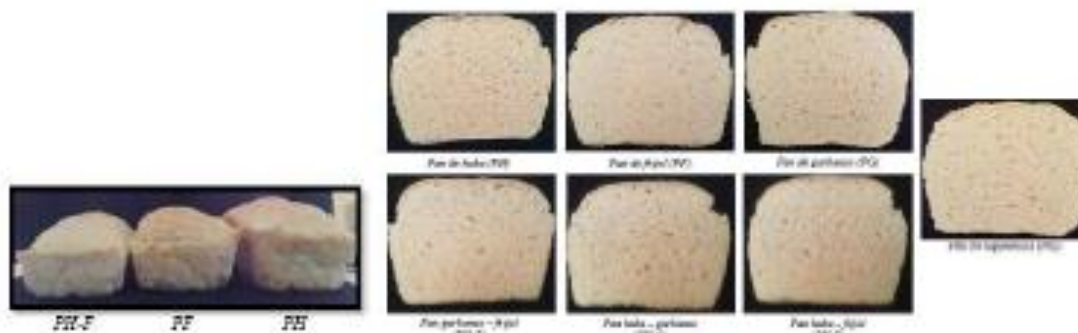


Figura 2.- Volumen de algunos panes.

Figura 3.- Imágenes de rebanadas de los panes libres de gluten con harina de diferentes leguminosas.

En el APT todos los parámetros que se analizaron presentaron diferencia significativa en los panes adicionados con cada una de las leguminosas, sin embargo no hubo diferencia significativa en los panes con la combinación de estas leguminosas, como se observa en la tabla 2. El PF presentó mayor dureza que el PH, mientras la cohesividad si se vio disminuida con la adición de las leguminosas, ya que el PSL presentó mayor cohesividad que los demás, excepto con el PF no hubo diferencia significativa. En elasticidad todos los panes presentaron diferencia significativa entre $5.10 - 5.91\text{mm}$.

El color de un pan es debido a las reacciones de Maillard, las cuales son producidas por las reacciones químicas entre las proteínas y los azúcares reductores durante el cocción del pan. A esta reacción se debe el color marrón de la corteza del pan. El color de la corteza y de miga del pan se vio afectada por la adición de las harinas de leguminosas. Por lo que el PF presentó una corteza y una miga mas oscura, mientras que el PH-G presentó una luminosidad mayor, tanto en corteza como en miga. El parametro de b^* mide el componente cromático (amarillo +, azul -), ya que para un pan de caja el color amarillento es característico para su aceptabilidad. El PH-F presento un color mas amarillento ($b^*= 37.80$) en corteza y el PH en miga ($b^*= 27.46$).

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

Pan	Dureza (N)	Cohesividad	Elasticidad (mm)	Resiliencia
PSL	27.07±0.21 ^{ab}	0.81±0.01 ^a	5.11±0.09 ^d	0.64±0.01 ^a
PF	31.96±0.99 ^a	0.79±0.03 ^{ab}	5.10±0.02 ^d	0.62±0.03 ^a
PH	25.98±0.52 ^d	0.70±0.03 ^{ab}	5.80±0.28 ^{bc}	0.50±0.06 ^{bc}
PG	27.75±0.99 ^a	0.74±0.03 ^{ab}	5.54±0.19 ^a	0.55±0.05 ^b
PG-F	29.77±0.53 ^b	0.66±0.02 ^{ab}	5.86±0.03 ^a	0.48±0.02 ^c
PH-G	30.28±0.83 ^b	0.64±0.02 ^a	5.84±0.04 ^{ab}	0.45±0.02 ^c
PH-F	30.09±0.67 ^b	0.64±0.02 ^a	5.91±0.13 ^a	0.46±0.02 ^c

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

Tabla 2.- Análisis de perfil de textura de los panes libres de gluten adicionados con harina de haba, garbanzo y frijol.

PAN	CORTEZA		MIGA	
	L ^a	b ^a	L ^a	b ^a
PSL	67.53 ± 0.57 ^b	34.17 ± 0.90 ^d	74.56 ± 0.43 ^{cd}	21.70 ± 0.56 ^f
PF	63.57 ± 0.38 ^c	35.34 ± 0.32 ^c	73.73 ± 0.32 ^{de}	22.67 ± 0.28 ^e
PH	66.79 ± 0.22 ^a	36.18 ± 0.50 ^b	72.95 ± 0.81 ^d	27.46 ± 0.29 ^a
PG	67.12 ± 0.56 ^b	36.43 ± 0.58 ^b	76.05 ± 0.93 ^{ab}	24.19 ± 0.40 ^c
PG-F	63.71 ± 0.81 ^c	36.94 ± 0.30 ^b	76.43 ± 0.20 ^{cd}	25.41 ± 0.30 ^d
PH-G	69.20 ± 0.73 ^a	34.15 ± 0.79 ^d	77.00 ± 0.48 ^b	25.54 ± 0.54 ^d
PH-F	62.78 ± 0.60 ^c	37.80 ± 0.26 ^a	75.58 ± 0.89 ^{bc}	25.88 ± 0.11 ^a

* Letras diferentes en la misma columna representan diferencia significativa (P < 0.05)
 * L^a = luminosidad (rango 0-100)
 * Componentes cromáticos: a^{*} = rojo (-), verde (+) y b^{*} = amarillo (+), azul (-).

Tabla 3.- Análisis de color en corteza y miga de los panes.

Conclusiones

Los panes libres de gluten con la adición de harina de haba, garbanzo y frijol mostraron un contenido de proteína entre 5.75% – 6.50% mientras que PSL tuvo 4.44%. La masa con harina de frijol presentó los mayores módulos tanto elástico como viscoso, sin embargo, los panes con esta leguminosa presentaron características pobres en volumen y textura, siendo el PF más duro. Mientras que PH tuvo menor dureza y de mayor volumen. Los panes adicionados con dos leguminosas, los que presentaron mejores características fue el PH-G tanto en volumen como textura (dureza y elasticidad). Todos los panes diseñados con estas leguminosas mostraron una miga uniforme y aceptable.

Referencias

1. Sánchez, H. D., Osella, C. A. & De la Torre, M. A., "Optimization of gluten-free bread prepared from Cornstarch, Rice flour, and Cassava starch". *Journal of Food Science*, 67(1), 416-419, 2002.
2. Miñarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamis, B., & Capellas, M., "Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread". *Journal of Cereal Science*, 56, 476-481, 2012.
3. Marco, C., & Rosell, C. M., "Functional and rheological properties of protein enriched gluten free composite flours". *Journal of Food Engineering*, 88, 94-103, 2008.
4. De la Hera, E., Ruiz-París, E., Oliete, B., & Gómez, M., "Studies of the quality of cakes made with wheat-lentil composite flours". *Food Science and Technology*, 49, 48-54, 2012.
5. Scanlon, M. G., & Zghal, M. C., "Bread properties and crumb structure". *Food Research International*, 34, 841-864, 2001.