



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**ÁREA ACADÉMICA DE QUÍMICA**

**“DESARROLLO DE UN PRODUCTO FUNCIONAL  
MEDIANTE EL USO DE ENZIMAS EN PANIFICACIÓN”**

**Trabajo de investigación para obtener el título de  
Licenciada en Química en Alimentos**

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

**Mónica Hernández Mendoza**

**DIRECTORES:**

**Dra. Alma Delia Román Gutiérrez**

**Dr. Danae Duana Ávila**

**Pachuca, de soto, Hgo. 2014**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
Licenciatura de Química en Alimentos

**M. en A. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO,  
DIRECTOR DE CONTROL ESCOLAR  
DE LA U.A.E.H.,  
Presente:**

Por este conducto le comunico que el jurado asignado a la pasante de la Licenciatura en Química en Alimentos **Hernández Mendoza Mónica**, quien presenta el trabajo de investigación "**Desarrollo de un producto funcional mediante el uso de enzimas en panificación**", después de revisar el trabajo en reunión de Sinodales, estos han decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

Presidente	<b>M. en C. Álvaro Cerón Beltrán</b>	
Primer vocal	<b>Dra. Alma Delia Román Gutiérrez</b>	
Segundo vocal	<b>Dr. Ricardo S. Filardo Kerstupp</b>	
Tercer vocal	<b>Dr. Danae Duana Ávila</b>	
Secretario	<b>M. en C. Juan H. Roldán Rojas</b>	
Primer suplente	<b>Dra. Judith Prieto Méndez</b>	
Segundo suplente	<b>Q.A. Andrés García Guerrero</b>	

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE  
"Amor, Orden y Progreso"  
Pachuca Hidalgo, 29 de enero de 2014.

Dr. Carlos Alberto Gómez Aldapa  
Coordinador Adjunto de la Licenciatura  
en Química en Alimentos



Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,  
Carretera Pachuca - Tulancingo Km. 4.5, Ciudad del Conocimiento,  
Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México, C.P. 42184  
Tel. +52 771 7172000 ext. 2518  
cgomez@uaeh.edu.mx





El presente trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos II, del Área Académica de Química (AAQ) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH). Este proyecto de investigación fue financiado por Fundación Hidalgo Produce con clave: 000431.

## *Dedicatorias*

A Dios que me diste la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa.

A mi papa, por estar siempre en los momentos importantes de mi vida, por los consejos que han sido de gran ayuda para mi vida y crecimiento. Esta tesis es el resultado de lo que me has enseñado en la vida, ya que siempre he sido una persona honesta, entregada a su trabajo, pero más que todo eso una persona que siempre ha podido salir adelante. Gracias por confiar en mí y darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida.

A mi mamá por darme la vida e inculcarme valores que ahora poseo, por todo el amor que a lo largo de mi existencia he recibido de su parte y haberme apoyado en los momentos más difíciles. Gracias por haberme heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: Amor, por estar siempre conmigo y darme ánimos para que alcanzara mis sueños, ya que no lo hubiera logrado sin su apoyo, desvelos y esfuerzos. Esta meta no solo es mía sino también de usted por estar siempre cuando más la necesite. Por todo lo que significa en mi vida y por todo lo que me ha dado solo le puedo decir...Gracias por confiar en mí a pesar de todo.

A mis hermanas Dulce y Pily, por ser más que eso, por los momentos que pasamos juntas, por hacerme reír con sus ocurrencias aún en días tristes y difíciles para mí. Gracias por confiar en mí, por su apoyo y cariño totalmente incondicional, recuerden que siempre contarán conmigo en las buenas y en las malas, sigan adelante y no se den por vencidas, luchen por alcanzar sus metas sin importar los obstáculos que les ponga la vida, las quiero muchísimo hermanitas.

A mis hermanos Luis y Hernán, que con su cariño me han enseñado a Salir adelante. Gracias por su paciencia, por preocuparse por mí, por compartir sus vidas, pero sobre todo gracias por estar en otro momento tan importante en mi vida.

## *Agradecimientos*

A la Dra. Alma Delia Román Gutiérrez, por su gran apoyo y brindarme la oportunidad de pertenecer a su equipo de trabajo, por su apoyo y confianza, por la paciencia que tuvo durante todo este tiempo, así como por compartir sus conocimientos y alentarme a seguir adelante en la realización de éste trabajo de investigación cuando me sentía vencida mil gracias por todo su apoyo incondicional.

A Fundación Hidalgo Produce por su apoyo financiero en este trabajo de investigación titulado "Desarrollo de un producto funcional mediante el uso de enzimas en panificación"

A mi jurado, gracias por darme la oportunidad y por el tiempo que me han dedicado para leer este trabajo

A Kary, Bere y Luisa por estar cuando las necesitaba, por hacerme reír y alegrarme el día con sus ocurrencias y travesuras aún cuando yo me encontraba en momentos difíciles, por los días de espera para irnos al cine, gracias por todos esos momentos inolvidables y maravillosos que aprendí de cada. Las quiero mucho.

A Lore por brindarme tú amistad porque estuvimos juntas en las buenas y en las malas, por haberme tenido confianza. Gracias por darme los conocimientos necesarios para entender los estadístico, por estar conmigo y darme consejos. Gracias.

A ti Adriana, por la compañía y amistad en el tiempo que estuve en el laboratorio y el tiempo que estuve aquí de verdad que lo disfruté muchísimo gracias por los consejos que me fueron muy útiles para realizar mi este trabajo de investigación y por qué nunca pensé encontrar una chica como tú y gracias por la amistad y vivencias que pasamos juntas la pase súper genial.

A perla, por la compañía, confianza y amistad que fue muy agradable por los consejos y sugerencias que ayudaron a que este trabajo de investigación fuera aún mejor y por tener platicas muy interesantes y amenas gracias por hacer que el tiempo que estuve el laboratorio fuera divertida.

A Esmeralda por todas las aventuras que hemos compartido a lo largo de estos últimos años en la universidad, por hacerme reír, compartir nuevas experiencias durante esta etapa. Gracias.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
I INTRODUCCIÓN.....	12
II. ANTECEDENTES.....	13
2.1 Alimentos funcionales.....	13
2.2 Los cereales en la alimentación humana.....	15
2.3 Trigo.....	16
2.3.1 Grano de Trigo.....	16
2.3.2. Producción de trigo en México.....	18
2.4 Clasificación del trigo.....	18
2.5 Tipos de trigo.....	20
2.6 Estructura y composición química del grano de trigo.....	22
2.6.1 Carbohidratos.....	23
2.6.2 Almidón.....	23
2.6.3 Fibra dietética.....	29
2.6.4. Proteínas.....	29
2.6.5 Gluten.....	30
2.6.6 Lípidos.....	32
2.7. Proceso de molienda.....	32
2.7.1 Acondicionado.....	33
2.7.2 Molienda del Trigo.....	33
2.7.3 Productos de molienda.....	34
2.7.4 Etapas de la molienda.....	35
2.7.5 Harina de trigo.....	36

2.7.5.1 Tipos de harina de trigo .....	37
<b>2.8 Caracterización de las harinas de trigo para ser usadas en panificación .....</b>	<b>37</b>
2.8.1 Humedad .....	37
2.8.2 Cenizas.....	38
2.8.3 Proteínas .....	38
2.8.4 Determinación del color de la harina .....	38
2.8.5 Capacidad de absorción .....	39
2.8.6 Funciones de los ingredientes en panificación .....	40
2.8.7 Sal .....	40
2.8.8 Agua.....	41
2.8.9 Azúcar.....	41
2.8.10 Leche en polvo .....	41
2.8.11 Grasa .....	42
2.8.12 Levadura .....	42
2.9 Enzimas.....	43
2.9.1 $\alpha$ -amilasas .....	45
2.9.2 Pentosanasas.....	46
2.9.3 Xilanasas.....	48
2.10 Proceso de panificación .....	49
2.10.1 Amasado.....	50
2.10.2 Fermentación .....	52
2.10.3 Horneado.....	53
2.11 Evaluación de la calidad del pan .....	54
2.11.1 Evaluación del volumen y densidad .....	55
2.11.2 Evaluación de la impronta.....	55



III. OBJETIVOS .....	56
3.1 Objetivo general.....	56
3.2 objetivos específicos: .....	56
IV. Material y métodos.....	57
4.1 Materia prima.....	57
4.2 Métodos .....	57
4.2.1 Muestreo del grano de trigo .....	57
4.2.2 Molienda del grano .....	58
4.2.3 Propiedades físicas de las harinas.....	58
4.2.3.1 Tamaño de partícula.....	58
4.2.3.2 Determinación de color.....	58
4.2.4 Análisis proximal del grano y de las harinas.....	59
4.2.5 Propiedades de hidratación de la harina de trigo.....	60
4.2.5.1 Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS) .....	60
4.2.5.2 Capacidad de hidratación (CH).....	60
4.2.5.3 Índice de retención de agua alcalina (IRAA).....	60
4.2.5.4 Índice de absorción en agua (IAA) é Índice de solubilidad en agua (ISA) .....	61
4.2.6 Elaboración del pan.....	61
4.2.6.1 Diseño de un alimento funcional .....	64
4.2.7 Determinación de volumen y densidad del pan .....	65
4.2.8 Evaluación de la impronta.....	65
4.2.9 Pérdida de peso.....	66
4.2.10 Determinación de la vida de anaquel.....	66
4.2.11 Análisis sensorial .....	66
V Resultados y discusión .....	67

5.1 Calidad física del grano.....	67
5.2 Rendimiento de la molienda.....	68
5.3 análisis proximal del grano y las harinas de trigo.....	70
5.4 Análisis físico de las harinas.....	73
5.4.1 Tamaño de partícula.....	73
5.4.2 Determinación de color de las harinas.....	74
5.4.3 Capacidad de absorción de las harinas.....	75
5.5. Elaboración del pan.....	78
5.6. Evaluación del pan.....	79
5.6.1 Evaluación de la impronta.....	79
5.6 .2 Vida de anaquel.....	84
5.6 .3 Análisis sensorial del pan.....	85
VI Conclusiones y perspectivas.....	86
6.1 Conclusiones.....	86
6.1 Perspectivas.....	88
VII BIBLIOGRAFÍA.....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Corte longitudinal y transversal de una grano de trigo..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
2. Estructura de amilosa.....	244
3. Estructura de Amilopéctina.....	25
4. Estructura de un xilano.....	26
5. Molécula de Xilosa.....	26
6. Estructura de un arabinoxilano.....	26
7. Agrupación de gliadinas y gluteninas durante el mezclado.....	31
8. Modelo de agregación en la formación de gluten.....	31
9. a) Alvéolos de variado tamaño en pan artesanal; 10 b) pan industrial (molde) con alveolado uniforme.....	54
10. Evaluación de la impronta en panes hechos con harina de trigo: levadura, método de esponja, diferentes concentraciones de proteína de cebada y testigo.....	80
11. Evaluación de la impronta con proteína de cebada de 1%.....	82
12. Monitoreo de la vida útil de los panes.....	84
13. Resultados de análisis sensorial a los diferentes porcentajes de proteína.....	<b>85</b>

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla	Página
1. Clasificación del trigo en México con base a la funcionalidad del gluten .....	20
2. Comparación de la composición química de los granos de trigo. ....	220
3. Composición del grano de trigo. ....	221
4. Tamaño de partícula para las fracciones de molienda .....	35
5. Principales componentes de la harina de trigo .....	36
6. Formulación de la masa para elaborar el pan testigo .....	622
7. Formulación de la masa para el desarrollo de producto funcional con un porcentaje de proteína de cebada con un porcentaje de 1% .....	622
8. Formulación de la masa para el desarrollo de producto funcional con un porcentaje de proteína de cebada con un porcentaje de 3%.....	623
9. Formulación de la masa para el desarrollo de producto funcional con un porcentaje de proteína de cebada con un porcentaje de 5%.....	63
10. Formulación de la masa para el desarrollo de producto funcional con un porcentaje de proteína de cebada con un porcentaje de 10%.....	63
11. Escala hedónica para evaluar la textura y color de la miga.....	65
12. Escala hedónica verbal de nueve puntos.....	66
13. Análisis físico de grano.....	67
14. Rendimiento de la molienda.....	68
15. Análisis proximal del grano de trigo y harinas de trigo expresado en porcentaje en base seca.....	70
16. Promedio del tamaño de partícula (D%) en $\mu\text{m}$ .....	73
17. Análisis de calidad física realizados a la harina de trigo y comercial.....	75
18. Análisis de calidad física realizada a la harina de trigo y comercial.....	76
19. Análisis físicos del pan que se realizaron a las muestras de pan.....	82
20. Análisis físicos del pan que se realizaron a las muestras de pan.....	82

## I. INTRODUCCIÓN

El ser humano requiere de una alimentación de calidad para mantener su buen estado de salud; para ello necesita consumir los 4 principales nutrientes que proveen los alimentos que son carbohidratos, proteínas, grasas y minerales. Estos nutrientes se encuentran en proporciones variables en los alimentos tanto de origen animal como vegetal, por lo que es recomendable combinarlos para lograr una alimentación balanceada.

El concepto de alimento funcional debe tener tres funciones: la primera es "nutricional", la segunda es una función "sensorial", esto es que su consumo produzca una sensación placentera a partir de su sabor, olor y textura, la tercera función "fisiológica" con el cual el alimento produce un efecto favorable en la nutrición.

En la panificación se han elaborado alimentos funcionales con mayor contenido en fibra y uso de enzimas, ya sea con harina integral o con fibra añadida, son panes con menor índice glucémico, menor contenido calórico, y efectos prebióticos.

El grupo de enzimas utilizadas en panificación ha crecido significativamente, mejoran la calidad de la pasta, obteniendo así una mejor flexibilidad, estabilidad, volumen y estructura de la miga. Específicamente el grupo de las xilanasas (enzimas degradadoras de xilanos) mejoran el volumen, fuerza y calidad de la red de gluten. Este grupo, ha sido de gran interés debido a su potencial biotecnológico. Actualmente en la industria de los alimentos, los productos finales de la hidrólisis de la xilana como xilosa, arabinosa o algunos xilooligosacaridos se utilizan como espesantes sustitutos de grasa o edulcorantes de bajas calorías en algunos alimentos. Las xilanasas se han utilizado en la industria de la panificación.

El objetivo de este trabajo, es desarrollar un producto funcional mediante el uso de extracto crudo enzimático de xilanasas. Estas se van incorporando a la de panificación para ayudar a desdoblar los polisacáridos a azúcares sencillos. Una vez fermentada la masa de panificación se incorporará proteína de cebada para incrementar el aporte nutricional.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1 Alimentos funcionales

Los alimentos funcionales o enriquecidos son alimentos y/o componentes alimenticios cuyo consumo además de una nutrición básica, genera beneficios para la salud y/o reduce el riesgo de enfermedad. Como menciona Sarmiento (2009), un alimento o componente alimenticio funcional puede ser un macronutriente con un efecto fisiológico específico o un micro nutriente esencial, pero también puede ser un complejo alimenticio, que aunque no tenga un valor nutritivo o no sea esencial, su consumo logre la modulación de alguna función en el organismo que reduzca el riesgo de enfermedad, como es el caso de la proteína de cebada que disminuye problemas de presión arterial. En general se considera funcional, un alimento en su estado natural, o un alimento al cual se han adicionado, removido o modificado uno o más de sus componentes.

Función de los alimentos: "función primaria", o función principal es la función nutricional o de aporte de sustancias vitales para el organismo. La segunda función o "función secundaria", que se atribuye a los alimentos es su capacidad para estimular el apetito, según el grado de aceptación o rechazo que provoquen, lo cual depende de sus características organolépticas (color, sabor, olor y textura), y que podrían denominarse como función sensitiva o sensorial.

Además de los nutrientes y componentes de aroma, sabor, color textura, algunos alimentos contienen ciertas sustancias químicas capaces de tener efectos positivos para promover y/o restaurar la salud lo que permite atribuirles una "función terciaria" o función saludable. Esta función terciaria incluye efectos positivos en la salud, como por ejemplo disminución de la presión, reducción de los niveles de colesterol plasmático, mejoría de la microflora y del funcionamiento intestinal, entre otros (Latham, 2010).

Los alimentos funcionales en la industria alimentaria se han desarrollado productos que favorecen la defensa contra el estrés oxidativo; funcionan como una barrera frente al efecto nocivo de los radicales libres sobre el ADN, las proteínas y los lípidos de nuestro cuerpo. Éstos contribuyen a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, degenerativas e incluso cáncer. Entre las sustancias antioxidantes más destacables se encuentran las vitaminas E y C, los carotenoides, el zinc, el selenio, los polifenoles y compuestos de azufre, que se incluyen en alimentos como en jugo de fruta o de bebidas de leche y jugos que se incluyen en sus formulaciones sustancias antioxidantes (Farjas, 2010).

- **Alimentos funcionales en panificación**

Olagnero *et al.*, (2008) menciona que la panadería funcional es aquella que emplea productos naturales con determinados aditivos de funcionalidad fisiológica destinados a la alimentación diaria. Dentro de estos productos de panificación existen los panes ricos en sustancias minerales y en fibras (proporciona energía al cuerpo), los ácidos grasos Omega-3 y los concentrados prebióticos que se añaden a cualquier tipo de pan con el fin de aportar un valor añadido a estos productos el ácido Omega-3 pertenece al grupo de las grasas poliinsaturadas y ejerce funciones muy importantes en el organismo, sirven de apoyo para la evolución y funcionamiento de los principales sistemas del cuerpo favoreciendo el llamado "colesterol bueno". En cuanto a los panes prebióticos, éstos se encuentran enriquecidos con bacterias especiales del ácido láctico, que estimulan el crecimiento de los cultivos sanos de bífidos en el intestino.

Rouau *et al.*, (2009) señala que la degradación enzimática del xilano ha encontrado diversas aplicaciones en diferentes industrias alimentarias y otras. Una de las áreas de mayor uso es la industria de la panificación debido a la degradación de los arabinoxilanos presentes en las masas. Las xilanasas rompen los componentes insolubles de la pared celular (pentosanos) resultando en la solubilización de los componentes, cuyos efectos se ven reflejados desde los procedimientos del amasado y un aumento del volumen del pan ya horneado. La

adición de varias enzimas como hemicelulosas, amilasas, lipasas, glucosa oxidas, celulosa y xilanasas sobre propiedades físicas, químicas y sensoriales del pan se ha estudiado.

Otras aplicaciones de las xilanasas en la industria de alimentos va dirigida a mejorar la digestibilidad de materias primas para consumo animal, la clarificación de jugos, aunque no tan extenso como las enzimas degradadoras de pectinas, en la obtención de xilooligosacaridos caracterizadas por conferir propiedades funcionales en los productos que los puedan contener ó como una alternativa endulzante. También se ha empleado en el mejoramiento de la consistencia de bebidas alcohólicas como cerveza, mejoramiento de los rendimientos de maceración de frutas y verduras y para el procesamiento de café (Gupta *et al.*, 2009).

## **2.2 Los cereales en la alimentación humana**

Los cereales son alimentos ampliamente extendidos por todo el mundo. Entre las plantas cultivadas sólo 7 alcanzan una producción anual de más de 100 millones de toneladas y entre ellas se encuentran el trigo, arroz y maíz los cuales ocupan los 3 primeros lugares, la cebada ocupa el cuarto lugar (Kabesh *et al.*, 2009).

El contenido proteico es muy variable, entre 6 y 16% del peso, dependiendo del tipo de cereal y del procesamiento industrial. La composición en aminoácidos de las proteínas de los cereales depende de la especie y variedad; en general son pobres en aminoácidos esenciales, por lo que se las cataloga de proteínas de moderada calidad biológica. Por tanto, cuando se combinan con legumbres, o con proteínas de otro cereal como la cebada que es alto contenido en proteínas (León *et al.*, 2008)

Los cereales se cultivan principalmente para el consumo humano. Aportan el 80% de la energía de la dieta de los países más industrializados, así como el 25% en los menos industrializados. Durante el siglo XX ha tenido



un lugar importante en ganadería intensiva y estas producciones demandan también grandes cantidades de cereales, compitiendo a veces con la alimentación humana (Indrani *et al.*, 2008).

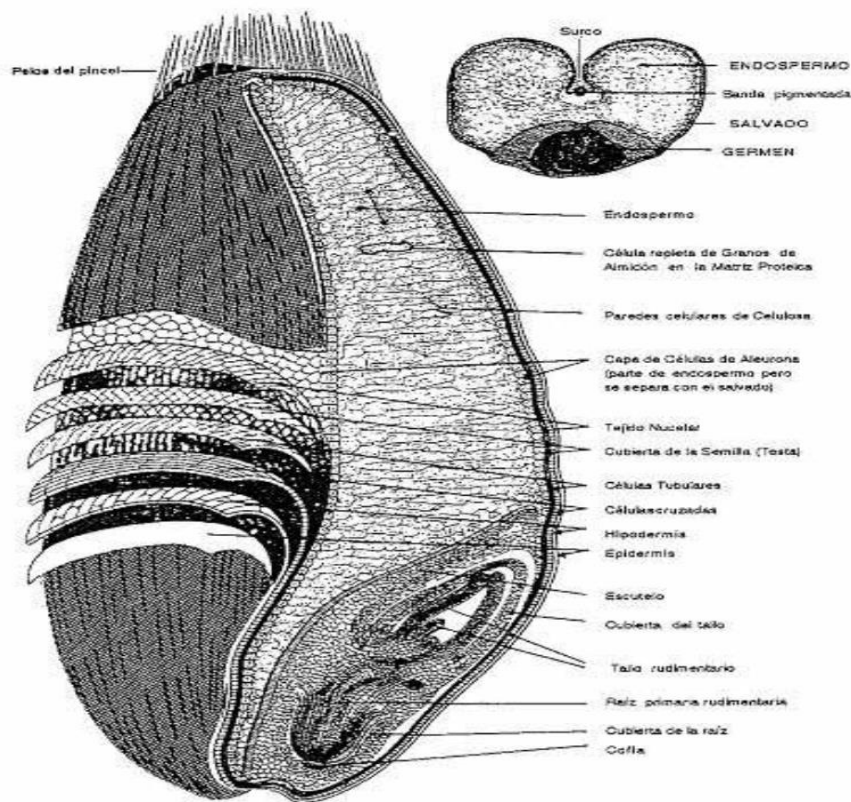
## 2.3 Trigo

Trigo (*Triticum ssp*) es el término que designa el conjunto de cereales, tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*. Todos ellos son plantas anuales de la familia de las gramíneas, y su cultivo se ha extendido por todo el mundo. El trigo es uno de los tres cereales más cultivados globalmente, junto al maíz y el arroz, y el más consumido por el hombre en la civilización occidental desde la antigüedad. El trigo se cultiva preferentemente para ser destinado al consumo humano, y en menor cantidad para piensos. El grano de trigo se utiliza para hacer harina, harina integral, sémola y malta, así como una gran variedad de productos alimenticios derivados de estos, como pan, galletas, cerveza, whisky, pasta, cereales de desayuno, aperitivos, etc. En Europa, el trigo fue la principal fuente de almidón para la fabricación de papel y cartón, hasta que se introdujo el cultivo de maíz (León *et al.*, 2008).

### 2.3.1 Grano de Trigo

Los granos de trigo son cariósides que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. Están formados por tres partes principales (figura1): el salvado, o parte externa, el germen o embrión y el endospermo, que es la parte más interna del grano. El germen sobresale en uno de los extremos y en el otro hay un mechón de pelos finos, el resto del grano se denomina endospermo, el cual es un depósito de alimentos para el embrión que representa el 82% del peso del grano. A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco), una invaginación de la aleurona y todas las cubiertas (Rosell *et al.*, 2008).

Figura 1. Corte longitudinal y transversal de una grano de trigo



(Ferreas et al., 2009)

El pericarpio y la testa juntamente con la capa de aleurona, conforman el salvado está trigo. El salvado está formado por numerosas capas ricas en vitaminas y minerales, así como un alto contenido de proteína. La capa de aleurona se localiza entre el salvado y el endospermo. Esta capa juega un papel fundamental en el desarrollo del embrión durante la germinación (Ritchie *et al.*, 2009).

El germen es la parte donde se inicia el origen de una nueva planta. El germen de trigo es una de las fuentes más ricas en vitaminas del grupo B y E, y contiene proteínas, grasas y minerales. El endospermo está formado principalmente por almidón, proteínas y, en menor medida, celulosa, y

presenta en vitaminas y minerales. La harina blanca está formada principalmente por endospermo (Antoine *et al.*, 2010).

### **2.3.2. Producción de trigo en México**

En 2012 la superficie con trigo (*Triticum aestivum* L.) en México fue de 678 554 ha, 86% en el ciclo otoño-invierno con riego y 14% en el de primavera-verano. El estado de sonora fue el principal productor con 52%, le sigue Baja california con 17% y Guanajuato con 8%. La región noreste contribuyo con 70% y el Bajío con el 13.7%, lo cual es mas de las cuatro quintas partes de la producción nacional (SIAP, 2011). La producción de ese año fue 3 676 707 t, con rendimiento medio nacional de 4.1t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2011), insuficiente para satisfacer un consumo per cápita anual de 52 kg.

La densidad de plantas por hectárea, los métodos de siembra, la fertilización, el control de maleza y las enfermedades son algunos factores que limitan la producción de trigo (Soomro *et al.*, 2009). La densidad y el método de siembra son importantes porque determinan el establecimiento apropiado del cultivo, la competencia entre plantas y la conversión de energía solar en productos cosechables (Kabesh *et al.*, 2009).

La cantidad de semilla óptima por hectárea es la que capta más de 90% de la radiación incidente al inicio del crecimiento de las espigas (De la cruz *et al.*, 2013)

### **2.4 Clasificación del trigo**

Los trigos se clasifican en función de la estación de cultivo, color, la dureza y la textura del endospermo (relacionado con la forma de romperse el grano durante la molienda) y por su contenido proteico (relacionado con las propiedades funcionales de la harina) (Indrani *et al.*, 2008).

La dureza del grano de trigo influye en el tiempo de molienda, el consumo de energía y la calidad de las harinas obtenidas. El endospermo duro se encuentra en la proteína, el almidón y otros componentes del grano más

íntimamente unidos; debido a esto, los trigos con endospermo duro requieren mayor consumo de energía para reducir partículas de harina a los tamaños deseados, por lo que se producen mayores niveles de almidón fracturado durante la molienda. Un nivel alto de almidón dañado está relacionado con una alta absorción de agua y, por consecuencia, con la retención de la frescura en el producto final (Textura de la miga) (De la Cruz *et al.*, 2013).

La dureza del grano varía de blanda (o suave) a dura, un factor que determina mayormente la dureza del grano es la intensidad de adhesión que existe entre la matriz de proteína en el endospermo y la proteína, de la membrana que cubre el granulo del almidón (De la O Olán *et al.*, 2009). La dureza del grano puede ser representada por la resistencia del grano a ser quebrado o prensado, y por la distribución de tamaño de partícula de la harina resultante de la molienda (índice de tamaño de partícula).

La textura del endospermo puede ser vítrea (cristalina, córnea, acerada) o harinosa, yesosa) almidonosa. El carácter vítreo de los granos suele estar relacionado con un alto contenido proteico, mientras que el carácter harinoso suele asociarse con rendimientos más elevados.

La dureza de los trigos es una característica molinera relacionada con la forma en que el endospermo se rompe se trata de una cualidad genética, relacionada con su capacidad molinera y no con su calidad panadera, aunque normalmente a mayor dureza será contenido proteico, y por tanto su calidad panadera (Chang *et al.*, 2009).

La clasificación de los trigos en México se hace con base en la funcionalidad del gluten, como se indica en la tabla 1.

**Tabla 1. Clasificación del trigo en México con base a la funcionalidad del gluten**

Grupo	Denominación	Características del gluten
I	Fuerte	Poseen elevado contenido en proteínas (de elevada calidad para panadería) y es capaz de dar panes de gran volumen con miga de estructura adecuada.
II	Medio fuerte	Gluten medio fuerte y elástico, apto para la industria artesanal o semi mecanizada de panificación es mejorador de trigos suaves.
III	Suave	Se caracterizan por su bajo contenido en proteínas. Son capaces de dar panes de poco volumen, siendo más aptas para galletería.
IV	Tenaz	Gluten corto o poco extensible pero tenaz, apto para la industria pastelera, galletera y elaboración de donas.
V	Cristalino	Gluten corto y tenaz, apto para la industria de las pastas.

De la O Olán *et al.*, 2012

## 2.5 Tipos de trigo

Los trigos cristalinos presentan mayor porcentaje de proteína que los comunes. Esto es debido al el ambiente le cual han sido desarrollados; como son condiciones semiáridas, producen bajos rendimientos de cosecha (Montoya *et al.*, 2012).

**Tabla 2. Comparación de la composición química de los granos de trigo.**

COMPONENTE	TRIGOS PANADEROS	TRIGOS CRISTALINOS
Proteína	11.5-17.0%	9.0-18.0%
Fibra cruda	2.8-3.0%	2.4-3.1%
Cenizas	1.8-2.0%	1.8-2.1%

(Ferrerías, 2009)

Las proteínas de reserva comprenden de 80 a 85% del total de proteínas presentes en el grano. Estas proteínas ya hidratadas y orientadas forman una red insoluble llamada gluten. Las propiedades visco-elásticas del gluten dependen de factores como la distribución de las principales fracciones de proteínas de gluten (gliadinas y gluteínas). Las gliadinas, también conocidas como proteínas monoméricas, son proteínas de reserva presentes en el endospermo, se componen de subunidades de  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$ - gliadinas, se caracterizan por su solubilidad en alcohol a diferentes concentraciones. Estas propiedades están asociadas con la viscosidad de las masas (Hernández *et al.*, 2013).

Las gluteninas son proteínas poliméricas presentes en el endospermo, y están formadas por dos principales grupos de cadenas polipeptídicas llamas subunidades de alto peso molecular (APM) y bajo peso molecular (BPM), las cuales se mantienen unidas por puentes disulfuro. Estas proteínas se relacionan con el tiempo de desarrollo de la masa y la con el volumen de pan (Montoya *et al.*, 2012).

**Tabla 3. Composición del grano de trigo.**

<b>COMPONENTES (%)</b>	<b>TRIGO</b>
<b>Humedad</b>	12.0-14.0
<b>Carbohidratos</b>	75.2-82.1
<b>Proteína</b>	11.5-17.0
<b>Grasa</b>	1.8-2.8
<b>Fibra</b>	2.8-3.0
<b>Ceniza</b>	1.8-2.1

(Ferrerías, 2009).

## 2.6 Estructura y composición química del grano de trigo.

La estructura física del grano del grano de trigo se puede describir en tres capas clasificadas de la siguiente forma (De la O Olán *et al.*, 2012).

- **Pericarpio**

Rodea toda la semilla y está constituido por varias capas. La parte más interna del pericarpio exterior está formado por restos de células de paredes delgadas, por lo que, al no presentar una estructura celular continua, constituye un plano natural para la división (Espinosa *et al.*, 2009)

El pericarpio interior está formado por células intermedias, células cruzadas y células tubulares. Ni las intermedias ni las tubulares cubren por completo el grano. Las células cruzadas son largas y cilíndricas y tienen su eje longitudinal perpendicular al eje longitudinal del grano (Espinosa *et al.*, 2009).

El conjunto del pericarpio comprende el 5% del grano y aproximadamente está formado por un 6% de proteína, un 2% de cenizas, 20% de celulosa, 0,5% de grasa y el resto por pentosanas (De la O Olán *et al.*, 2012)

- **Germen o embrión**

El germen de trigo abarca el 2,5-3,5% del grano figura 1, está constituido por dos partes principales:

El embrión, rico en vitaminas, minerales y lípidos.

El escutelo, cubierta del embrión que lo envuelve y lo separa del resto del endospermo (Granito *et al.*, 2008)

- **Endospermo**

Las paredes celulares del endospermo están formadas por pentosanas, otras hemicelulosas y  $\beta$ -glucanas, pero no por celulosa. El espesor de las paredes celulares varía con la posición en el grano; son más gruesas cerca de

la capa de aleurona. El espesor de las paredes celulares resulta variable en las diferentes variedades y también según los tipos de trigo duro y blando (Martínez *et al.*, 2011).

El contenido de las células del endospermo junto a las paredes celulares del endospermo constituye la harina. Las células están repletas de granos de almidón incluidos en una matriz proteica, proteína en su mayor parte aunque no toda constituida por gluten (proteína de reserva del trigo). Cuando madura el trigo, se sintetiza el gluten en los cuerpos proteicos (Martínez *et al.*, 2011).

### **2.6.1 Carbohidratos**

Los hidratos de carbono representan el 90% del peso seco de los granos de cereales (León *et al.*, 2008).

Constituidos principalmente por: Almidón: 60% del total en el cereal, Hemicelulosas: el 5%, Celulosa: 2% Azúcares libres: 3%

### **2.6.2 Almidón**

Los cereales almacenan energía en el grano en forma de almidón. La cantidad de almidón contenido en el grano es del 60% aproximadamente. Por esto, gran parte del alimento consumido por los humanos, está en forma de almidón; una fuente excelente de energía (Espitia *et al.*, 2009).

El almidón está compuesto fundamentalmente por glucosa y aunque se pueden encontrar otros elementos en pequeñas cantidades, estos han aparecido a niveles tan bajos que no se ha podido determinar si son oligoelementos del almidón o contaminantes no eliminados en el proceso de extracción (Herrera *et al.*, 2008).

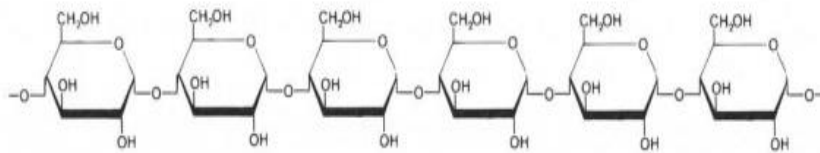
Entre estas sustancias menores destaca la presencia de lípidos y también de minerales como el fósforo y nitrógeno, el primero en forma de fosfolípidos y el segundo bien como componente proteico o lipídico (Espitia *et al.*, 2009).



Básicamente el almidón está constituido por polímeros de  $\alpha$ -D-glucosa pudiéndose distinguir dos tipos: Amilosa y amilopéctina

- **Amilosa**

**Figura 2. Estructura de amilosa**



(Bernal *et al.* , 2008)

Se trata de un polímero lineal de  $\alpha$ -D-glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4. Debido al enlace  $\alpha$ -1,4 los anillos de glucosa no se encuentran en una misma zona planar por lo que la amilosa no es una cadena plana sino que forma un ángulo cada glucosa con su anterior, dando lugar a una hélice tubular estabilizada con puentes de hidrógeno. El peso molecular de la amilosa es del orden de 250,000 pero varía mucho dependiendo de la especie, variedad y estado de maduración. Se presenta en forma cristalina debido al gran número de enlaces por puentes de hidrógeno existentes entre grupos hidroxilos (figura 2).

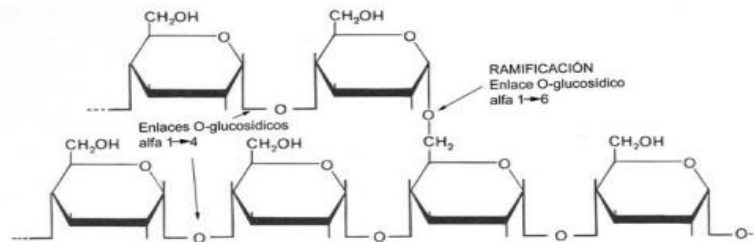
La particular naturaleza de la amilosa, es también responsable de la tendencia a asociarse consigo misma y precipitar en la solución. La amilosa cristaliza fácilmente de una solución o se retrograda. La retrogradación es el término utilizado para denotar la cristalización en geles de almidón (Montoya *et al.*, 2012)

- **Amilopéctina**

Como se muestra en la figura 3, la amilopéctina está formada por  $\alpha$ -D-glucosa unida por enlaces  $\alpha$ -1,4. La amilopéctina está mucho más ramificada que la amilosa con un 4-5% de enlaces  $\alpha$ -1,6. La molécula de amilopéctina durante la cocción, absorbe mucha agua y es en gran parte responsable de la

hinchazón de los gránulos de almidón. Las moléculas de amilopéctina retrogradan, tienen poca tendencia a la recristalización y, por tanto poseen elevado poder de retención de agua (Bernal *et al.*, 2008).

**Figura 3. Estructura de Amilopéctina**



(Velázquez, 2012).

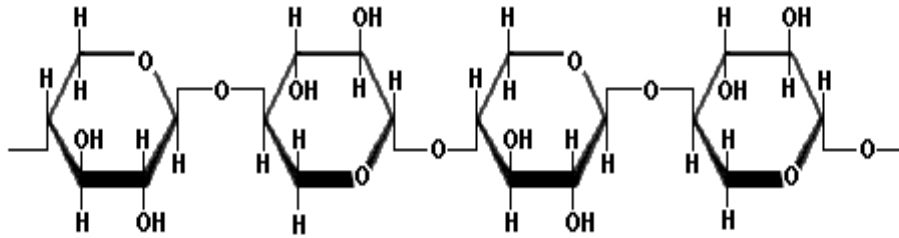
- **Hemicelulosas**

También denominadas pentosanas, son los componentes fundamentales de las paredes celulares y constituyen el material de unión que mantiene juntas a las células. Su principal característica es que su hidrólisis libera principalmente azúcares de tipo pentosas como xilosa y arabinosa. También se pueden encontrar hexosas como la glucosa y galactosa, y ácidos urónicos como el glucurónico y galacturónico (Bernal *et al.*, 2008).

Como menciona Velázquez (2012) Si bien algunas poseen estructura fibrilar, la mayoría tiene estructura amorfa y químicamente son muy diferentes unas de otras. Las pentosas absorben gran cantidad de agua y son capaces de formar disoluciones viscosas. En el trigo aparecen con un porcentaje entre el 2-3%.

Aunque las hemicelulosas no son digeribles, pueden ser fermentadas por levaduras y bacterias. Los polisacáridos que producen pentosas al desdoblarse se llaman pentosanos. La xilana es un pentosano que consiste de unidades de D-xilosa conectadas por enlaces 1 β→4 (figura 4).

**Figura 4 Estructura de un xilano**

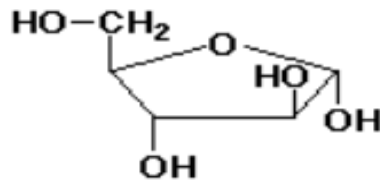


(Bernal *et al.*, 2008).

- **Arabinoxilanos**

El almidón es el componente más abundante del trigo (63-72%) y está presente en el endospermo. Además del almidón, el trigo contiene otros polisacáridos que constituyen la pared de las células del endospermo y los tejidos del salvado; tales componentes son los arabinoxilanos (AX), los  $\beta$ -glucanos, la celulosa y los arabinogalactanos unidos a péptidos (Autio, 2009).

**Figura 5. Molécula de Xilosa.**



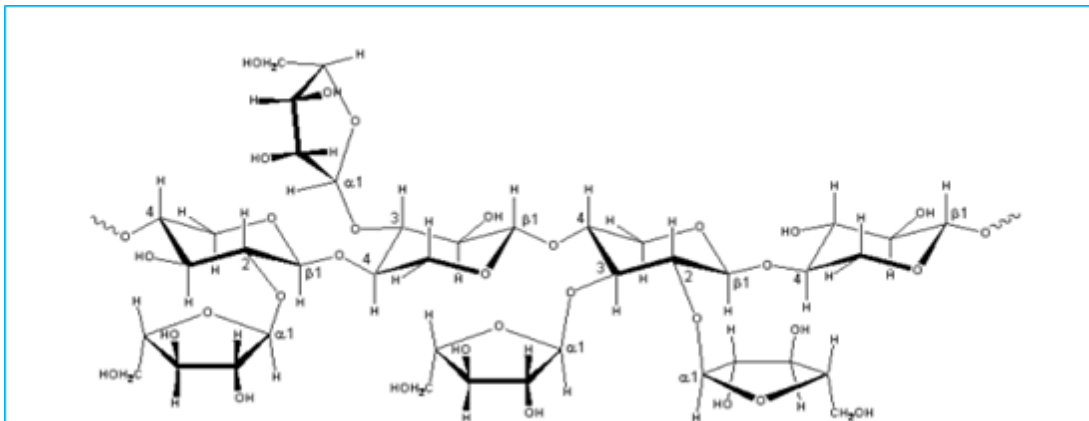
(Autio, 2009).

Las moléculas de xilosa constituyen la cadena principal de la estructura al unirse mediante enlaces  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4). Esta cadena lineal se encuentra ramificada (figura 5) por unidades de arabinosa en enlaces en la posición 2, 3 o en ambas (Brijs *et al.*, 2008).

Los arabinoxilanos constituyen más del 70 % de la pared celular en el endospermo del grano de trigo (Brijs *et al.*, 2008) y representan del 2 al 3% de

la composición total de la harina. La estructura de los arabinoxilanos se forma por los monosacáridos xilosa y arabinosa (figura 6).

**Figura 6. Estructura de un arabinoxilano.**



(Brijs *et al*, 2008)

Según Bonnín, (2009), soluciones acuosas de arabinoxilanos presentan alta viscosidad, debido a la formación de un gel por efecto de la hidratación. En la medida que disminuye el tamaño de esta molécula se vuelve más soluble, y con menor viscosidad, además de que el grado de sustitución de arabinosa en la cadena de xilosa tiene cierta influencia sobre la conformación semiflexible de la molécula, y por tanto de su viscosidad.

Desde un punto de vista funcional, este tipo de compuestos tienen relevancia en la obtención de productos horneados elaborados con harina de trigo, ya que influyen en la capacidad de retención de agua y en las características reológicas de la masa, además de que fortalecen la retención de gas debido a la influencia de la viscosidad en las películas de gluten-almidón (Dervilly *et al*, 2009).

Los pentosanos son considerados gomas, por tener capacidad de absorber agua y formar soluciones muy viscosas. La propiedad de los pentosanos de absorber agua tiene gran influencia en las masas elaboradas

con harina de trigo y la viscosidad debida a los pentosanos influye en el comportamiento viscoelástico de la masa (Ponzio, 2011).

El contenido de pentosanos de la harina blanca de trigo es alrededor de un 2.3%. Este porcentaje se encuentra presente en las paredes celulares de las células del endospermo. Estas están constituidas por arabinoxilanos y arabinogalactanos, llevan una pequeña porción de ácido ferúlico asociado a los arabinoxilanos (Pulluquitín *et al.*, 2012).

El significado de los pentosanos en la estructura es notorio si se examina la distribución de la masa en el pan. A pesar de que solo representan el 2% del peso total en la harina, los pentosanos se asocian aproximadamente, el 23% del agua de la masa, estas sustancias, captan en torno a diez veces su peso en agua, los pentosanos solubles en mejoran el comportamiento del pan, mientras que los pentosanos insolubles lo perjudican (Pulluquitín *et al.*, 2012).

Efectos positivos de las pentosanas que se ejercen a través de propiedades:

- ✓ De fijación de agua, especialmente los arabinoxilanos
- ✓ Interacciones moleculares que se pueden establecer con otros componentes
- ✓ Propiedades viscosas y tensoactivas.

Debido a que los componentes no coagulan durante el tratamiento térmico no coagulan durante el tratamiento térmico (como en el caso de las proteínas), ni se retrogradan durante el enfriamiento y almacenamiento del pan (como le ocurre al almidón) también tiene un efecto positivo en la capacidad del pan mantenerse fresco durante el almacenamiento (Pulluquitín *et al.*, 2012).

### 2.6.3 Fibra dietética

La fibra dietética es aquella que está formada por residuos de algunas células de plantas comestibles, polisacáridos, ligninas y otras sustancias asociadas, que son resistentes a la digestión (hidrólisis) por las enzimas del tracto digestivo (Morales *et al.*, 2012).

Su clasificación de la fibra es soluble e insoluble. La fracción insoluble está formada por celulosa y hemicelulosa. Estas dos partes se localizan principalmente en las envolturas del grano y en el pericarpio. La celulosa está compuesta por polímeros lineales de glucosa unidos por enlaces  $\beta$ -1,4, la hemicelulosa es polímero ramificado de diversos azúcares (xilosa, arabinosa, galactosa, ácido glucónico y glucosa). El peso molecular y la solubilidad son muy variados (Morales *et al.*, 2012).

La fibra dietética soluble se conforma por  $\beta$ -glucanos y pentosanas que tienen la propiedad de ligar agua, y por lo que se les denomina comúnmente gomas. La fibra dietética soluble se localiza en las paredes celulares, se asocia con compuestos fluorescentes (Cabrea *et al.*, 2008).

La solubilidad en agua depende el tamaño y el grado de ramificación de la cadena. Entre mayor sea el peso molecular y la ramificación, menos es el grado de solubilidad. La fracción insoluble no se digiere, pero es susceptible a ser desdoblada por la microflora presente en el intestino grueso (Escudero *et al.*, 2009).

### 2.6.4. Proteínas

Representan alrededor del 10-14% en peso del grano entero de trigo. La distribución de las proteínas no es uniforme dentro del grano.

Las proteínas del trigo fueron clasificadas por primera vez por Osborne (1907), en función de su solubilidad, aunque actualmente se considera una clasificación demasiado simplificada:

- ✓ Albúminas: solubles en agua, representan el 5-10% respecto al total proteico
- ✓ Globulinas: solubles en soluciones salinas diluidas, representan el 5-10% respecto al total proteico.
- ✓ Prolaminas: solubles en soluciones alcohólicas, con el 40-50% respecto al total de proteínas.
- ✓ Glutelinas: solubles en soluciones diluidas de ácidos o álcalis, que representa el 30-40% (Hernández *et al.*, 2013).

Las prolaminas y gluteninas son las fracciones mayores de proteínas en el grano de cereal. En el trigo se llaman gliadinas y gluteninas respectivamente y forman el gluten. Entre las harinas de los cereales, solamente la de trigo tiene la habilidad de formar una masa fuerte, cohesiva, y capaz de retener el gas producido por la fermentación, dando por cocción un producto esponjoso (Hernández *et al.*, 2013).

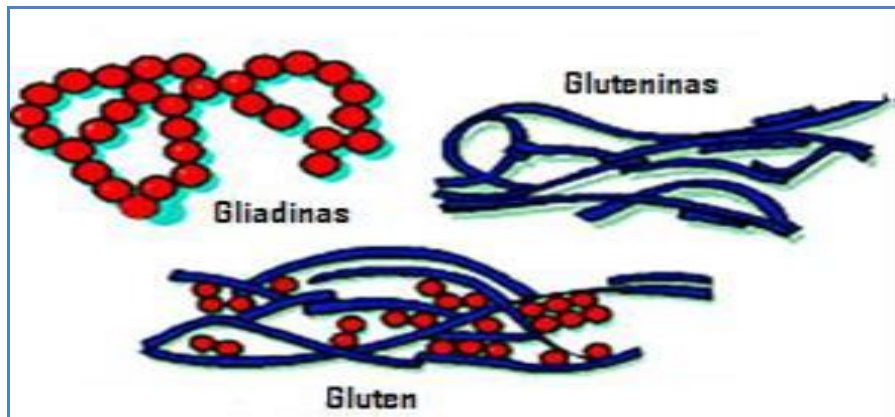
Un bajo contenido de proteína (9-10%) ocasiona que la hidratación sea lenta y las absorciones de agua se incrementen o se alarguen los tiempos de mezclado, lo que conduce a dificultades en el secado y los productos serían más frágiles y con características de cocción pobres (Olivera *et al.*, 2012).

### 2.6.5 Gluten

El gluten se forma por la hidratación y trabajo mecánico que se ejerce sobre las gluteninas y gliadinas de la harina de trigo. Esto implica la formación de una red proteínica fuerte (figura 7) que tiene cohesividad y viscoelasticidad que permiten que esta masa retenga los gases que se forman durante la fermentación realizada por la levadura con lo que se obtienen productos horneados de mayor volumen (Ferrerías, 2009).

Las propiedades que desarrolla el gluten en una masa de trigo desempeñan un papel fundamental en la determinación de la calidad y el uso final de la misma en muchos productos alimenticios (Mac Ritchie, 2008).

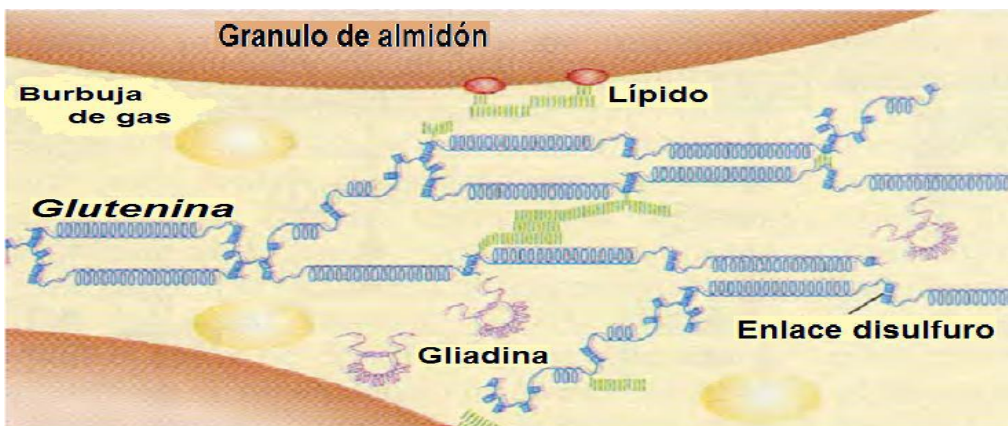
**Figura 7. Agrupación de gliadinas y gluteninas durante el mezclado**



(Ferrerias, 2009)

En la figura 8 se representa el ambiente que rodea la formación del gluten, considerando los factores que influyen de manera importante en la formación de esta red polimérica, como lo son el almidón, la grasa y los arabinosilanos, aunque también tienen injerencia los ingredientes en la fórmula de la masa (sal, grasa) los aditivos mejoradores (enzimas, por ejemplo) y los parámetros de proceso (trabajo realizado sobre la masa, tiempo de mezclado, incorporación de agua a la mezcla, temperatura (Ferrerias, 2009).

**Figura 8. Modelo de agregación en la formación de gluten**



(Fernández, 2013)



### 2.6.6 Lípidos

Ponzio (2011) señala que forman parte del trigo en pequeñas proporciones 1,5-2,5% y están localizados principalmente en el germen y en la cubierta de la semilla. Los lípidos se encuentran en todos los tejidos del grano, generalmente como componentes de la membrana celular. También existen lípidos en una fina membrana que recubre los gránulos de almidón, así como en forma de incrustaciones en las membranas que recubren los granos proteicos del endospermo y el escutelo

Los lípidos son poco representativos en los granos, ya que constituyen hasta un 3% de composición total. La fracción lipídica se divide en compuestos no polares o libres, como los triglicéridos que son solubles en compuestos no polares como el éter de petróleo y en compuestos polares o ligados, como los monoglicéridos, diglicéridos, fosfolípidos y glicolípidos, los cuales son solubles en compuestos polares (Ponzio, 2011).

### 2.7. Proceso de molienda

La molturación del trigo generalmente implica la eliminación del salvado, es decir, el pericarpio, las cubiertas de la semilla, la epidermis y la capa de aleurona. Además generalmente se elimina el germen por ser relativamente rico en lípidos, lo cual provoca que el producto se enrancie más rápidamente disminuyendo así su calidad (Barrera *et al.*, 2012).

El principio fundamental de la molienda es abrir cada grano de trigo, raspar el endospermo del salvado y moler posteriormente el endospermo en el estado más puro posible; los objetivos son los siguientes:

- Separar lo más completamente posible el endospermo del salvado y del germen, que son rechazados de forma tal, que la harina quede libre de restos de salvado

- Reducir la mayor cantidad de endospermo a finura de harina, para conseguir la máxima extracción de harina blanca (De la Horra *et al.*, 2012).

### 2.7.1 Acondicionado

El acondicionado es la preparación física del grano, de manera que se facilite su posterior molienda aumentando uniformemente su humedad (mediante adición de agua seguida de un periodo de reposo), para mejorar su comportamiento tecnológico en la molienda. El acondicionado se realiza por los siguientes motivos:

- ✓ Hacer las capas envolventes más flexibles y resistentes.
- ✓ Aumentar la superficie del grano, para una mejor trituración, ya que al absorber agua, el grano se hincha aumentando su volumen.
- ✓ Distribución uniforme del agua en la superficie del grano (Arboleda *et al.*, 2010).
- ✓ Los granos deben ser acondicionados según sus características: variedad de trigo, humedad inicial, humedad ambiental, dureza del grano, tamaño, vitreosidad (De la Horra *et al.*, 2012).

### 2.7.2 Molienda del Trigo

El salvado y el germen son ricos en proteínas, vitaminas, minerales y grasas, en tanto que el producto de molienda es más pobre en esos componentes; es decir, que como el resultado de molienda, el grano mejora sus características sensoriales, se facilita el consumo y se diversifican los productos derivados, pero pierde valor nutritivo (Barrera *et al.*, 2012).

El proceso empieza con las dos operaciones de acondicionado y ajuste de humedad; el grano sucio o en malas condiciones de almacenamiento no debe procesarse. El grano se limpia mediante aspiración para separar paja, piedras, palos y todo lo que sea mayor al grano; después, se utilizan cribas

para separar impurezas de diferentes tamaños. Mediante corrientes de aire se eliminan impurezas cuya densidad es diferente a la del grano (De la Horra *et al.*, 2012).

Para separar los granos de la misma especie por tamaño y densidad, se utilizan discos separadores, en cuyos orificios caben granos de tamaño y forma determinados, ó bien máquinas vibrátiles con fuerza centrífuga, ó mesas de gravedad. La siguiente operación generalmente es de abrasión para eliminar suciedad y plagas como tizón roya (Barrera *et al.*, 2012).

### 2.7.3 Productos de molienda.

Los productos de molienda varían en los diferentes países y, dentro de cada país, según la instalación y exigencias del mercado.

El grano contiene aproximadamente el 84% de endospermo capaz de producir harina "blanca", pero nunca es posible separarlo por completo del salvado, capa de aleurona y germen. En la práctica es imposible obtener extracciones superiores al 75% son oscurecer la harina (Barrera *et al.*, 2012).

Otros productos de la molienda son:

- ✓ **Salvado:** es el resultado del descascarillado, que es la separación de los gruesos de mayor tamaño, es salvado es separado con fragmentos del endospermo.
- ✓ **Sémola y semolina:** Son los finos del tamiz de descascarillado, estas fracciones, pasan directamente al sistema de purificación.
- ✓ **Harina:** Es el producto de granulometría más pequeña que se obtiene de la molienda de los cereales (De la O Olán *et al.*, 2012).

La granulometría del producto final depende del tipo de harina y de usos que tenga, pero en general se considera que la harina blanca, de uso común debe tener del 85 al 95% con tamaño de partícula < a 150 µm, por lo cual que

pase la malla 80 (Mora, 2012). En la siguiente tabla 4 se observan los tamaños de partícula de productos de molienda.

**Tabla 4. Tamaño de partícula para las fracciones de molienda**

PRODUCTO	TAMAÑO DE PARÍCULA
Harina	20-200 µm
Semolina	150-500 µm
Sémola	0.5-1 mm
Salvado	1-5 mm

(Ferrera, 2009)

#### 2.7.4 Etapas de la molienda.

El proceso de molienda es el más importante de la fabricación de harinas. Teóricamente, se puede resumir la molienda de los cereales en 2 etapas (Mora, 2012):

- Separación de la almendra harinosa del salvado y germen
- Reducción de esa almendra a gránulos sumamente finos.

El proceso de la molienda, se puede clasificar en 4 sistemas:

- **Trituración.** Su objetivo es abrir el grano e intentar separar el endospermo del salvado. Mediante las trituraciones se pretende extraer o quitarles al salvado toda la harina evitando romper demasiado el salvado ya que se puede producir polvo de salvado que incrementaría el porcentaje de cenizas (Dela O Olán *et al.*, 2008).
- **Degradación,** obteniendo partículas de endospermo libres de salvado.
- **Compresión,** reducción del tamaño de las partículas hasta obtener la harina.
- **Colas,** separa la fibra del endospermo recuperado de los 3 sistemas (Sandoval *et al.*, 2012)

### 2.7.5 Harina de trigo.

Es el producto que se obtiene de la molienda y tamizado del endospermo del grano de trigo (*Triticum Vulgare*, *Triticum durum*) hasta un grado de extracción directo, considerando al restante como un subproducto de (residuo de endospermo, germen y salvado) (Lucas *et al.*, 2012).

La harina es el componente estructural mayoritario. Es responsable de la formación de la masa que será transformada posteriormente en pan. Cada uno de los componentes de la harina (almidón, proteína, lípidos, fibra, etc.) tiene funciones específicas en la elaboración de pan (De la O Olán, 2012).

La harina se obtiene del endospermo. En ocasiones interesa desgerminar el grano antes de proceder a su molturación, para evitar así que los componentes y enzimas contenidos en el embrión pasen a la harina (Lucas *et al.*, 2012).

**Tabla 5. Principales componentes de la harina de trigo**

COMPONENTE	PORCETAJE
Almidón	70-75
Proteínas	10-12
Fibra	2-3
Lípidos	2

(De la O Olán, 2012).

El almidón es el hidrato de carbono más importante de todos los cereales, en el trigo constituye aproximadamente el 64% de la materia seca del grano y un 70% de su endospermo. El almidón está formado por dos componentes principales: (Gambarotta, 2008)

Amilosa (25-27%), un polímero esencialmente lineal de  $\alpha$ -(1-4) glucosa. Amilopectina, una estructura ramificada al azar por cadenas  $\alpha$ -(1-4) glucosa unidas por ramificaciones  $\alpha$ -(1-6) (Giraldo, 2012).

### 2.7.5.1 Tipos de harina de trigo

**Harina de trigo integral:** Es una harina oscura que se obtienen de la molienda del grano de trigo con todas sus envolturas celulósicas. Según el grado de molienda se admiten 3 tipos: gruesos, mediano y fino. Esta harina puede utilizarse sola.

**Harina de Graham:** Es una harina integral con un porcentaje más alto de salvado. Sylvester Graham fue un nutricionista americano que luchó a principios del siglo XIX por una alimentación más natural donde el salvado debía ser incluido en los amasados de pan (Gambarotta, 2008).

**Harina de gluten:** Se extrae industrialmente del grano de trigo, está compuesta por gluten seco y se emplea como mejorador para enriquecer una harina pobre en gluten (De la O Olán, 2012).

## 2.8 Caracterización de las harinas de trigo para ser usadas en panificación

### 2.8.1 Humedad

La humedad que tiene el grano de trigo y consiguientemente la harina, es una característica importante particularmente en relación con la seguridad del almacenamiento de la harina, ya que si el grano no está lo suficientemente seco después de la recolección, germinará o se enmohecerá una vez almacenado. Si la recolección se produce en malas condiciones se puede secar el grano, pero si la temperatura es demasiado alta, la proteína del grano se desnaturizará de tal forma que la harina al mezclarse con agua no producirá gluten (Rodríguez *et al.*, 2011).

### 2.8.2 Cenizas

El porcentaje de materia mineral en la harina está, por tanto, en relación directa con el grado de extracción de la misma, siempre y cuando no se hayan añadido materias extrañas

A medida que aumenta la tasa de extracción, la harina contiene más elementos de la periferia del grano, más ricos en materiales minerales que el endospermo y, por tanto. Mayor será el contenido de cenizas (Guinet, 1996), se espera que el contenido de sea alto en harinas integrales, pero debe de ser mínimo en harinas blancas (Lucas *et al.*, 2012).

### 2.8.3 Proteínas

Es un componente de gran transcendencia porque de su calidad y cantidad dependerá la calidad panadera de la harina. El contenido de proteínas de harina de trigo, va de un 7 y un 15%. Va a depender del contenido de proteico del grano de trigo, además de su distribución en el grano y de la tasa de extracción de la harina. En panificación se requiere un mínimo de un 9% de proteína y un 5.5% de gluten seco (Rodríguez *et al.*, 2011).

### 2.8.4 Determinación del color de la harina

El grado de color de la harina da una medida de la contaminación de salvado en la harina blanca y varia con la cantidad de harina de bajo grado, obtenida en el extremo final del molino, que se permite pase el producto final. El valor medido también depende del color de fondo del endospermo, el cual varía a su vez con el tipo de trigo en la formulación y el año de cosecha, en particular, ya que la calidad del trigo también puede influir en el color final del endospermo (Montoya *et al.*, 2009).

El grado de color no es una medida de la apariencia visual de la harina. El color de la harina está tan estrechamente asociado con el contenido de cenizas, que se emplea para medir la pureza de la harina en muchas partes del mundo. El color de la harina o el contenido de cenizas puede afectar al

comportamiento de la misma durante la cocción; generalmente cuando más blanco sea el color mejores serán sus propiedades para la panificación (Montoya *et al.*, 2009). Hay tres principales categorías, definidas sobre la base del contenido de sólidos secos: (Giraldo *et al.*, 2012).

La harina refinada contiene almidón, gluten y extracto soluble, este último formado por dextrinas, azúcares simples, fosfatos, sustancias nitrogenadas, albúminas, vitaminas y minerales

Para que la harina pueda considerarse buena, debe contener más de 13% de gluten y no más de 13% de agua, 66% de almidón, 4% de albúminas, 4% de azúcares y 2% de minerales (Morales *et al.*, 2009).

La inspección microscópica de la harina y los gránulos de almidón, es importante ya que puede estar adulterado con féculas de papa o otros granosas, así como detectar otras adulteraciones y contaminantes (Montoya *et al.*, 2010).

### **2.8.5 Capacidad de absorción**

El almidón es el más importante hidrato de carbono (reserva) presente en todos los cereales, consta de dos polisacáridos: amilosa (cadena lineal) y amilopectina (polímero ramificado) (Guttieri *et al.*, 2009).

Las moléculas de almidón están organizadas en agregados macromoleculares casi cristalinos denominados gránulos. Cambios en la estructura del almidón como su disolución, gelatinización o fragmentación son afectadas por las razón agua/almidón, temperatura, calentamiento, morfología amilosa/amilopectina, distribución de gránulos, adición de azúcares, sales, proteínas y lípidos (De la Horra *et al.*, 2012).

Las propiedades de hidratación de la harinas de trigo, pueden ser evaluadas por el parámetro de "la capacidad de retención de agua," que corresponde a la cantidad de agua retenida por la harina, después de haberla



sumergido en un exceso de agua (después de un tiempo determinado) y centrifugación (para eliminar el exceso de agua). La capacidad de retención de agua es generalmente medida en gramos por 100g de harina. La inmersión puede ser realizada a pH neutro (agua destilada), pH ácido (solución diluida de ácido láctico) o a pH básico (pH 8 por adición de bicarbonato) (Jovanovich *et al.*, 2009)

Las propiedades de hidratación de la harinas han sido estudiadas por sorción de agua, esta técnica permite seguir la cinética de hidratación de las harinas al contacto con el agua (Guttieri *et al.*, 2009). Los resultados de las cinéticas son similares a los que se obtienen por métodos gravimétricos de referencia. Sin embargo el tiempo necesario para equilibrar (entre 5 a 60 minutos) es bastante corto (son necesarios más días con método gravimétrico) (Jovanovich *et al.*, 2009).

### **2.8.6 Funciones de los ingredientes en panificación**

Harina: Estructura del amasado. (Ronquillo, 2012).

Leche: Regula la palatabilidad del producto final.

Azúcar: Brinda sabor y ayuda a retener humedad.

Sal: Refuerza el sabor de los ingredientes.

Polvo para hornear: Su acción leudante hace crecer los productos

### **2.8.7 Sal**

La sal da a la masa fuerza de cohesión contrarresta el desagradable sabor a ciertas harinas hace más digestivo el pan (Cortázar *et al.*, 2012).

Funciones de la sal

a) Primero da sabor al producto.

b) Confiere al producto terminado aspecto atractivo.

c) Confiere y estabiliza el gluten de la harina, facilitando así conseguir una pieza bien formada con miga que no desmorone al corte.

d) Coadyuva a mantener la humedad de la pieza una vez que esta salido del horno

### **2.8.8 Agua**

La cantidad determina la consistencia de la masa y se utiliza para obtener la correcta temperatura de esta. En el amasado un alto porcentaje de agua hace que la masa quede en las manos, en general el panadero prefiere una masa rígida con bajo contenido de humedad. También es importante para la gelatinización del almidón y para la termojación de las proteínas, así influye en la formación de la miga durante el horneado aunque en ese proceso es mejor una alta cantidad de humedad en la masa (Mesas *et al.*, 2009).

### **2.8.9 Azúcar**

El elevado contenido de azúcar en los productos amasados mejora e mantenimiento de su calidad a la vez que les brinda sabor dulce, ablanda a los productos amasados (Payehuanca *et al.*, 2012). Sufre una serie de complejas reacciones de pardeamiento por encima de los 160°C, y los productos de las mismas forman corteza color marrón de varios productos horneados. Se conoce como reacción de Maillard, y son esencialmente reacciones de caramelización catalizadas en medio ácido (Mesas *et al.*, 2009).

### **2.8.10 Leche en polvo**

La leche se comporta de la misma manera que el agua (es decir, como solvente, ayuda a distribuir los sabores y se vaporiza durante la cocción colaborando con la textura final del producto). La lactosa en la leche se carameliza y crea color en la superficie, a su vez, ayuda en el desarrollo de una corteza firme. La grasa y las proteínas de la leche y de otros productos lácteos contribuyen con sabor y volumen (Cortázar *et al.*, 2012). El ácido

láctico de la leche aumenta la estabilidad del gluten. El resultado es un producto con una textura inferior fina (Mesas et al., 2009).

### **2.8.11 Grasa**

Las grasas ablandan, suavizan y moderan su estructura y realzan el sabor. La grasa debilita acorta una masa aflojando su red, causando que el producto horneado sea más suave, que se quiebre más fácilmente y que tenga una palatabilidad más blanda. La grasa puede atrapar el aire durante el amasado y mezclado, produciendo un batido que consiste en masas de pequeñas burbujas de aire atrapadas dentro de gotitas de grasa (Cortázar, 2012). Esto es muy importante en panes amasados en los cuales son estas burbujas de aire las que se expanden durante el horneado formando una estructura liviana y aireada. La grasa hace posible incorporar grandes cantidades de líquidos y esto evita que los productos se sequen (Ricca *et al.*, 2013).

Las materias grasas, tanto solidas como liquidas, tienen la característica de absorber muy fácilmente los olores del ambiente en el cual estén almacenadas. Se esta forma, modifican sus características organolépticas y por ende las de un pan amasado que se elabore con ellas (Ricca *et al.*, 2013).

### **2.8.12 Levadura**

Según ortega *et al.*, (2008), la levadura es un componente importantísimo ya que tiene la función de convertir azúcares fermentables en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y etanol. Los gases resultantes de la fermentación por la levadura serán los responsables de levantar la masa y de airearla.

En sus comienzos, la elaboración de pan se hacía con levaduras, pero desde que se descubrió que ésta, fermenta y esponja la masa, haciéndola más redonda y produciendo panes más suaves y de mejor sabor,

las levaduras se convierten en un elemento indispensable para la panificación (Ricce *et al.*, 2013).

Las levaduras son más conocidas por su habilidad para producir fermentación alcohólica y por las enzimas que producen, así algunas producen la enzima invertasa, que transforma la sacarosa (azúcar de caña) en dextrosa y levulosa, otras producen la enzima maltasa, que parte a la maltosa en dos dextrosas y a esta en alcohol y bióxido de carbono, está última se emplea en la fabricación de cerveza de malta (Sandoval *et al.*, 2012).

La cantidad usada en panadería está en relación inversa con la duración de fermentación más larga, generalmente aplican temperaturas algo más bajas a la masa. La actividad de la levadura aumenta rápidamente con la temperatura y la cantidad a utilizar se reduce (Ortega *et al.*, 2008).

Las levaduras son los microorganismos más vinculados al progreso y bienestar humano. Esto ha sido así debido principalmente a su capacidad de convertir eficientemente azúcares, como los que se encuentran en mostos de cebada y otros cereales en alcohol y CO<sub>2</sub>. La levadura es la "planta" más antigua que ha sido cultivada (Mesas *et al.*, 2009).

*Saccharomyces cerevisiae* utiliza glucosa aeróbicamente consume solo el 50% del O<sub>2</sub> necesario para la respiración azúcar tomado del medio de las piezas, o dar cambio no deseables en las masas (Sandoval *et al.*, 2012).

## 2.9 Enzimas

Las enzimas son catalizadores biológicos que poseen alta especificidad sobre los sustratos, además de que la cantidad necesaria para llevar a cabo una transformación es relativamente pequeña. El uso en niveles bajos hacen de las enzimas aditivos económicos y prácticos para su aplicación comercial en la elaboración de productos (Rodríguez, 2012).

Las enzimas que nos resultan de interés en los productos de elaborados a base de cereales son las amilasas, proteasas, hemicelulosas y lipasas. Tanto los contenidos en la harina como los adicionados en el molino o en la panadería, actúan en las diferentes partes del proceso de panificación. Su presencia en cantidades superiores o inferiores a las necesarias afectara la calidad del producto final, tanto a su volumen y aspecto, como su conservación (Sandoval et al., 2012).

La mayoría de las enzimas se conciben como productos naturales, por lo que al derivarse de plantas, animales o fuentes microbianas son preferidos frente a los aditivos químicos empleados en los procesos de elaboración de alimentos. Las enzimas en la industria de la panificación y molienda de trigo pueden ser adicionadas para modificar las propiedades de la masa y mejorar la calidad del producto terminado (Caballero *et al.*, 2008).

El uso de enzimas en diferentes productos como pan, galletas o pasteles ha sido ampliamente desarrollado. Algunas de las funciones de las enzimas en los productos horneados incluyen el mejoramiento de la calidad de la harina y el manejo de la masa (Rasiah *et al.*, 2009). Las enzimas también se utilizan para reforzar el color de la corteza del pan, para blanquear la harina, para mejorar la calidad de los productos horneados con altas concentraciones de fibra y para reducir el contenido de fitatos en formulaciones con granos enteros. Las enzimas fúngicas y bacterianas disponibles para el uso en panadería incluyen oxido-reductasas, amilasas, proteasas, amiloglucosidasas y pentosanasas (Rodríguez, 2012).

Las hemicelulosas su función es facilita el amasado dando extensibilidad a la masa y facilitando el desarrollo del pan en el horno. Altera el greñado, creando una greña nítida y proporcionando el color dorado tan buscado en algunos panes. Suele adicionarse es cantidades entre 4 a 15g/100kg de harina (Fernández, 2013).

Existen otras de gran importancia en harinas como por ejemplo las proteasas, pero que tiene funciones más específicas, (como romper la red de gluten en harinas de fuerzas en masas en las que tecnológicamente no sea deseable, por ejemplo en la industria galletera). Por este motivo no son utilizados como aditivo fundamental de los mejorante panarios (Caballero *et al*, 2008)

### 2.9.1 $\alpha$ -amilasas

Su función principal es degradar el almidón progresivamente, facilitando azúcares simples que sean utilizados por levaduras como sustratos de fermentación. También reducen la viscosidad del almidón. Ayudan a regular la velocidad de fermentación, acortando los tiempos, y favoreciendo también el aspecto de los productos finales (mejoran el color) (Velázquez, 2012).

Son enzimas que actúan hidrolizando el almidón, proporcionando azúcares fermentables por las levaduras, lo que provoca un aumento en volumen del pan, influencia positivamente en su conservación, retrasando la retrogradación del almidón (Barrera *et al.*, 2012).

Las amilasas de origen fúngico son las más utilizadas en la fabricación de pan, como alternativa a la harina de malta. La producción de azúcares fermentables para la levadura se realiza mediante la rotura de estas cadenas de moléculas de glucosa por acción de las amilasas lo que se denomina hidrolisis enzimática. La eficacia de este proceso depende de la temperatura del grado de hidratación del almidón, su máximo se alcanza cuando se gelifica el almidón en los inicios de la cocción. Cuando el contenido de amilasas especialmente de  $\alpha$ -amilasas es correcto se obtiene por influencia positiva no solamente en el volumen del pan, sino también en su conservación, produciéndose un efecto de ralentización de la retrogradación del almidón (Jovanovich *et al.*, 2009).

La  $\alpha$ -amilasa fúngica tiene una mayor tolerancia a la sobredosificación que la de origen cereal, lo que se basa en su desactivación durante la primera fase de la cocción (60-65°C) por lo que no existe el riesgo de que se produzca exceso de dextrinas (Fernández, 2013).

El estado de pan envejecido muestra la "reformación" de estructuras de doble hélice en la fracción amilopectina y su reorganización en regiones cristalinas durante el envejecimiento. Esta nueva organización imparte rigidez tanto al gránulo de almidón gelatinizado como el material intergranular, funcionando como un "entrelazamiento físico" sobre toda la estructura de gel. La cocción de la retrogradación del almidón, podría iniciarse en el horno, tras la gelatinización del almidón (Aguilar *et al.*, 2012).

Tras un recalentamiento, el envejecimiento del pan puede ser momentáneamente reversible. En este caso, los principales cambios se producen en la fracción amilopectina, más lábil que las moléculas de amilosa retrogradadas (Velázquez, 2012).

### 2.9.2 Pentosanasas

Estas enzimas incluyen a las xilanasas que transforman hemicelulosa insoluble en agua en un compuesto soluble, la cual liga el agua a la masa disminuyendo su firmeza, incrementando el volumen, disminuyendo ligeramente la extensibilidad y creando migas más finas y uniformes. Esto mejora significativamente las condiciones de manufactura. La masa que se obtiene es más moldeable y no se adhiere a la maquina (García *et al.*, 2011).

Las xilanasas es una clase de enzimas que degradan el polisacárido lineal beta-1,4-xilano en xilosa, rompiendo así la hemicelulosas, uno de los principales componentes de las paredes celulares de las pasta (Laguna, 2013).

Los efectos de la xilanasas en panificación son los siguientes:

- Reacción: la hidrólisis del almidón y arabinosanos

- Mejora la flexibilidad de la masa sin reducir la elasticidad
- Mejorar el volumen y el aspecto del pan (García et al., 2013).

Los pentosanos forman una red con el gluten; cuantos más pentosanos hay implicados, más firme es la red. Éste es el motivo por el que las harinas de trigo más oscuras y las mezclas que contienen harina de centeno tienen un rendimiento de volumen menor que las harinas blancas (Steffolani, 2010).

La mayoría de estas enzimas derivan de las clases *Aspergillus* seleccionadas o especializadas en la producción de hemicelulosas. Las hemicelulosas designan una familia de enzimas como lo es la xilanasas, estructura de la masa, retención de agua, rendimiento de volumen (García et al., 2013).

Los preparados enzimáticos de pentosanos y/o xilanasas, se añaden con el fin de frenar el envejecimiento rápido del pan. Se ha podido observar que retardan la velocidad de retrogradación del almidón. Al mismo tiempo, dichas enzimas retienen agua durante la cocción y posteriormente esta agua puede ser suministrada gradualmente al almidón, lo que permite mantener más tiempo el pan fresco. La presencia de Pentosanasas hace que se acelere la formación de la miga, consiguiendo una pronta firmeza en su estructura, pudiéndose de esta manera reducir el periodo de precocción (Steffolani, 2010).

Con el fin a de aumentar la cantidad de pentosanos solubles, se añaden xilanasas a la masa de pan. Durante el proceso de hidrólisis enzimático, las xilanasas pueden romper enlaces glucosídicos en arabinoxilanos., llevando a fragmentos más pequeños de hidratos de carbono y por lo tanto el agua se libera en la masa (Laguna, 2013).



Especialmente la endo-1,4- $\beta$ -xilanasas, se adiciona para mejorar su calidad, obteniéndose productos de panadería con mejor textura y sabor (Ronquillo et al., 2012).

### 2.9.3 Xilanasas

La xilanasas es uno de los polisacáridos más abundantes de la naturaleza. Su principal componente es la D-Xilosa, la cual está unida por enlaces  $\beta$ -1,4. La estructura de la xilana no es homogénea dependiendo de la fuente natural, su estructura varía desde una cadena lineal de D-Xilosas hasta polisacáridos altamente ramificados. La degradación de la xilana requiere de un complejo de enzimas que actúan de una manera cooperativa para convertir la xilanasas a sus constituyentes más simples. La enzima crucial para la despolimerización de la xilana es la  $\beta$ -1,4 endoxilanasas (EC 3.2.1.8), la cual hidroliza el enlace  $\beta$ -1,4 generando xilosacáridos, que a la vez son hidrolizados por la  $\beta$  xilosidasas (EC 3.2.1.37). Este complejo enzimático es sintetizado principalmente por hongos, actomicetos, levaduras y bacterias (Mayorga *et al.*, 2009).

El mecanismo de producción de los hongos filamentosos por medio de secreción extracelular, se caracteriza por presentar altas tasas de rendimiento en comparación con las xilanasas bacterianas y levaduras (Gupta et al., 2009). Algunos hongos como *Penicillium*, *Fusarium*, *Chaetomium*, *Humicola*, *Talaromices* y otros, de los cuales, el género *Aspergillus* ha sido más explotado (Davies, 2009).

Los efectos de la xilanasas en panificación son los siguientes:

- Reacción: la hidrólisis del almidón y arabinoxilanos
- Mejora la flexibilidad de la masa sin reducir la elasticidad
- Mejorar el volumen y el aspecto del pan (Betini *et al.*, 2009).

Los pentosanos forman una red con el gluten; cuantos más pentosanos hay implicados, más firme es la red. Éste es el motivo por el que las harinas de trigo más oscuras y las mezclas que contienen harina de

centeno tienen un rendimiento de volumen menor que las harinas blancas (Steffolani, 2010)

La mayoría de estas enzimas derivan de las clases *Aspergillus* seleccionadas o especializadas en la producción de hemicelulosas. Las hemicelulosas designan una familia de enzimas como lo es la xilanasas, estructura de la masa, retención de agua, rendimiento de volumen (Davies, 2009).

Los preparados enzimáticos de pentosanos y/o xilanasas, se añaden con el fin de frenar el envejecimiento rápido del pan. Se ha podido observar que retardan la velocidad de retrogradación del almidón. Al mismo tiempo, dichas enzimas retienen agua durante la cocción y posteriormente esta agua puede ser suministrada gradualmente al almidón, lo que permite mantener más tiempo el pan fresco. La presencia de Pentosanasas hace que se acelere la formación de la miga, consiguiendo una pronta firmeza en su estructura, pudiéndose de esta manera reducir el periodo de precocción (Laguna, 2013).

Con el fin a de aumentar la cantidad de pentosanos solubles, se añaden xilanasas a la masa de pan. Durante el proceso de hidrolisis enzimático, las xilanasas pueden romper enlaces glucosídicos en arabinoxilanos., llevando a fragmentos más pequeños de hidratos de carbono y por lo tanto el agua se libera en la masa (Betini *et al.*, 2009).

Especialmente la endo-1,4- $\beta$ -xilanasas, se adiciona para mejorar su calidad, obteniéndose productos de panadería con mejor textura y sabor (García *et al.*, 2013).

## **2.10 Proceso de panificación**

El pan se obtiene por muchos procedimientos diferentes. El proceso aplicado particularmente depende de varios factores, entre ellos la tradición, la calidad, el costo y el tipo de energía disponible, el tipo de pan deseado y el

tiempo que se ha de transcurrir entre la cocción y el consumo (Ronquillo, 2012).

Existen 2 métodos importantes de panificación:

a) Método polish o de la "esponja": Consiste en preparar un previo cultivo o "esponja" unas horas antes del comienzo del amasado. La esponja se prepara con una cantidad 1/3 a 4/5 partes del total se va usar durante el amasado, toda la levadura y la cantidad de agua suficiente como para conseguir el desarrollo de la masa. En el momento del amasado, se incorporan a la amasadora el resto de la harina, el resto del agua y la sal junto con las esponjas (De la Horra, 2012).

b) Método directo: el cual todos los ingredientes se mezclan desde el inicio del proceso; el tiempo de fermentación varía entre 2 y 12 horas, a temperatura entre 26 y 28°C. El mezclado se hace hasta que la masa alcance la suavidad y la apariencia deseadas y desarrollada la elasticidad necesaria (De la Horra, 2012).

Lo importante para hacer un buen pan es que la masa logre:

- ✓ La extensibilidad necesaria para expandirse cuando se incrementa el volumen.
- ✓ La elasticidad que permita retener los gases producidos y la forma de la hogaza (Barrera *et al.*, 2012).

### 2.10.1 Amasado

Durante el amasado las partículas de harina se hidratan lentamente. A su vez, y gracias al trabajo mecánico que se aplica durante el proceso, las partículas de gluten interaccionan entre si y dan lugar a la formación de una red tridimensional, lo que se traduce en una masa cohesiva, extensible y con capacidad de retener los gases producidos en la fermentación. El almidón también se integra en la red de gluten, al igual que el resto de componentes de harina, mientras que los ingredientes solubles, como la sal o el azúcar, permanecen en solución. Cuando se han completado estos procesos debe detenerse el amasado ya que un exceso suele llevar consigo un debilitamiento

de la red de gluten, una pérdida de elasticidad de las masas y una menor capacidad de retención de gases (Payehuanca *et al.*,2012).

El propósito de la preparación de la masa junto con el mezclado de los componentes mediante el amasado de la mezcla es la consecuencia de una determinada estructura de la masa, de una determinada actividad enzimática de las levaduras y bacterias, de un esponjamiento por la formación de gas y de una formación de sustancias aromáticas, así como de un determinado estado autocatalítico de los complejos proteína-proteasas y carbohidratos-amilasas para la preparación de los componentes reactivos durante el proceso de horneado. Los proceso de preparación de la masa deben darse con unas condiciones apropiadas de temperatura, concentración de nutrientes, humedad, concentración de microorganismos y el tiempo de reposo para asegurar las condiciones ambientales vitales para los microorganismos de modo que puedan darse los procesos metabólicos y de multiplicación necesarios (Sandoval *et al.*, 2012).

- **Prefermentación**

El reposo corresponde a un periodo de descanso entre el boleado y el formado, asegura una recuperación de la flexibilidad necesaria para un buen manejo de la masa. El reposo se efectúa en cámaras de fermentación (Payehuanca *et al.*, 2012).

- 1) **Laminado:** Para producir una estructura uniforme, la masa se lamina haciendo pasar la bola entre dos rodillos que, girando en sentido opuesto aplastan la masa en forma de galleta. Solo los grandes alvéolos son eliminados en esta fase. Para evitarse el desgarrado de la pieza de los rodillos deben abrirse o cerrarse, dependiendo del tamaño o volumen de la pieza (Mesas *et al.*,2009)
- 2) **Enrollado:** Consiste en plegar la masa laminada en forma de capas para preparar la estructura del pan. La masa, previamente laminada en los rodillos, cae a una cinta que avanza muy lentamente. La rápida

velocidad con la que está alimentada provoca un movimiento de enrollado (Payehuanca *et al.*, 2012).

- 3) **Alargamiento:** La masa enrollada pasa por entre dos tapices que dan vuelta en sentido inverso, lo que provoca su alargamiento, asegurando así la longitud deseada de la barra (Cortázar *et al.*, 2012).

### 2.10.2 Fermentación

La fermentación final corresponde al periodo que transcurre desde que se forma la pieza definitiva hasta el momento que entra al horno, durante el cual el pan se desarrolla hasta alcanzar el volumen considerado, optimo por el panadero. Su duración es variable y depende mucho de la manera en que la masa siga amasada, pero también de la temperatura de la masa y del ambiente, así como la humedad, tanto antes de esta fase como después. La temperatura por encima de 28°C en la cámara de fermentación debe usarse solo en fermentaciones cortas. Los periodos largos de fermentación, suelen ir acompañados de temperaturas más bajas: 23-25°C (Mesas *et al.*, 2009).

En cuanto a la humedad, es conveniente que la superficie de la pieza evapore una pequeña cantidad de agua con objeto de que se forme una finísima película más "seca" sobre la superficie de la misma, para mejorar su manejabilidad al posterior horneado. La humedad del ambiente influye en la actividad de las levaduras, siendo el índice óptimo de humedad entre 80-85% (Cortázar *et al.*, 2012).

Las condiciones óptimas de la fermentación alcohólica de la masa panaria se establece a un pH próximo a 5. A un pH igual 6, la fermentación tiene lugar produciendo una cantidad excesiva de glicerina y ácido acético además de etanol y CO<sub>2</sub> (Sandoval *et al.*, 2012)

La fermentación intermedia (duración de 3 a 6 minutos) de las piezas moldeadas proporciona una relajación de la tensión, previa a la forma final. La forma final en los panes de trigo se alcanza tras el moldeado y la fermentación intermedia (Cortázar *et al.*, 2012).

### 2.10.3 Horneado

El horneado es la última fase en el proceso de panificación. La temperatura y duración de la cocción varía según el tamaño y el tipo de pan. La temperatura oscila entre 220° y 260°C en una atmósfera de vapor y el tiempo puede variar desde 13-18 minutos para panes de 200g a 45-50 minutos para panes grandes de 2000 gramos. En cualquier caso, en el interior de la pieza no superan jamás los 98°C. el pan pierde, como término medio, un 20% de su peso en masa y en los primeros minutos que transcurren una vez sacado el pan del horno, vuelve a registrarse una pérdida de peso de más o menos el 3% sobre su peso en masa (Mesas *et al.*, 2009).

El calentamiento en el horno rápido da lugar a la formación de una costra impermeable que retiene la humedad y la grasa e impide la degradación de diversos nutrientes y componentes aromáticos. Se forma, como consecuencia de ello un acusado gradiente de presión de vapor entre el interior ( $a_w$  elevada) y la superficie del alimento ( $a_w$  baja). El vapor introducido al principio de la cocción se condensa sobre la superficie del producto, limitando la deshidratación de la capa superficial de la masa, así permanece elástica más tiempo, permitiendo mejor el empuje del  $CO_2$  en los primeros instantes de cocción, el vapor provoca grandes turbulencias que facilita la transferencia del calor al producto (Velázquez, 2012).

Las condiciones drásticas de calentamiento en las capas superficiales provocan reacciones de Maillard entre los azúcares y los almidones. Así mismo, la elevada temperatura y el bajo contenido del agua de las capas superficiales provocan la caramelización de los azúcares y la oxidación de los ácidos grasos a aldehídos lactosas, cetonas, alcoholes y ésteres. Las reacciones de Maillard y las reacciones de Strecker dan lugar a diferentes sustancias aromáticas, derivadas de la combinación de los aminoácidos libres con los azúcares presentes. Cada aminoácido desarrolla, cuando se calienta con un azúcar determinado, un aroma característico (Laguna, 2013).

Para el desarrollo de panes funcionales con adición de proteína de cebada se debe tener en cuenta, no solo el efecto en el proceso de panificación y en las características organolépticas y físicas del producto terminado, sino también el valor nutricional por porción, ya que la adición de estos ingredientes muchas veces requiere una dosis por porción muy bien calculada para que el efecto se cumpla (Farjas, 2010).

### 2.11 Evaluación de la calidad del pan

La forma tradicional de evaluación de la calidad panadera es y ha sido siempre a través del volumen de pan, sin embargo hay otros parámetros que intervienen en un pan de calidad tales como el volumen específico (volumen/masa) y la relación de forma (ancho/alto) (Barajas *et al.*, 2011).

**Figura 9. a) Alvéolos de variado tamaño en pan artesanal; 10 b) pan industrial (molde) con alveolado uniforme.**



(Crowley *et al.*, 2008).

Es ampliamente conocido que harinas de distinta calidad darán diferentes volúmenes de pan. La relación de forma de los panes se ha convertido en un descriptor importante. Ambos parámetros, el volumen específico y la relación de forma de los panes (figura 9a) son reflejo de la capacidad de deformación de la masa y de la retención del CO<sub>2</sub> durante el proceso de horneado en el que coagulan las proteínas del gluten y gelatiniza el almidón conduciendo a la formación de alvéolos en la miga (figura 9b) (Scanlon *et al.*, 2009).

La evaluación textural de los panes a través del perfil de textura de miga y corteza resultan también herramientas útiles para evaluar productos de panadería de los diferentes tipos de harinas (Crowley *et al.*, 2008).

### **2.11.1 Evaluación del volumen y densidad**

El método más normal para determinar el volumen total del producto es mediante el uso de alguna técnica apropiada de desplazamiento de semillas. El equipo normalmente comprende un contenedor de volumen conocido, que previamente se ha calibrado con una semilla adecuada, normalmente semilla de colza o de cebada perlada, en el que el producto se introduce y, después, se rellena con las semillas desplazando un volumen de las mismas igual al de la pieza (Barajas *et al.*, 2011).

### **2.11.2 Evaluación de la impronta**

Es importante, las características internas se limita normalmente al tamaño, número y distribución de alveolos en la miga, el color de la misma y cualquier defecto de calidad que pueda apreciarse, como oquedades impropias o manchas densas visibles en un corte transversal del producto. Cada tipo de pan tiene sus propios requisitos sobre la estructura alveolar de la miga y, por lo tanto, no hay un solo estándar que pueda aplicarse a todos los productos. Debido a esta situación, el método más común que se utiliza es la estimulación subjetiva de la estructura alveolar de la miga del producto, comparándola con algún material de referencia, como imágenes. El juicio de la estructura alveolar de la miga puede incluir también una evaluación del grosor del material de la pared (Ortega *et al.*, 2008).

La estructura alveolar de la miga es uno de los atributos más importantes de las características del pan, persiste como un parámetro muy difícil de cuantificar desde el punto de vista de su correlación con la percepción humana de la calidad (Crowley *et al.*, 2008).



### III. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo general

Desarrollar un producto funcional a base de harina de trigo y proteína de cebada empleando un extracto enzimático a través de la elaboración de pan por el método de directo, para obtener un producto con alta calidad.

#### 3.2 objetivos específicos:

- Caracterizar la calidad física del grano de trigo través del empleo de normativas vigentes para evaluar si es apto para consumo
- Caracterizar las fracciones de la molienda de la harina de trigo obtenida y comercial, para valorar si las fracciones de molienda son aceptables para el uso de panificación.
- Analizar las propiedades físicas de la harina de trigo obtenida mediante la determinación de color y tamaño de partícula, para evaluar si la harina es apta para elaborar panes.
- Caracterizar las propiedades de hidratación de harina de trigo obtenida como la comercial mediante el uso de diferentes metodologías descritas, para determinar la calidad física y química de las harinas de trigo
- Elaboración del producto funcional mediante la formulación de diferentes porcentajes de sedimento proteína de cebada (1%, 3%, 5% y 10%) y preparado enzimático xilanasa para determinar cuál es mejor pan con propiedades funcionales.
- Evaluar los panes obtenidos de los diferentes porcentajes de proteína de cebada y extracto crudo de *xilanasa* basándonos en sus propiedades físicas para asegurar la calidad del pan.
- Analizar vida de anaquel mediante un monitoreo de vida útil de los panes y asegurar las características de los panes.
- Analizar los panes obtenidos por medio de un análisis sensorial, para medir el grado de aceptación de jueces y cuál de los panes tiene el mayor grado de aceptación.

## IV. Material y métodos

### 4.1 Materia prima

Para el desarrollo de un producto funcional se utilizaron las siguientes materias primas: Trigo en grano (adquirido en el laboratorio de tecnología de alimentos aproximadamente 20 kg), Harina de trigo comercial marca "tres estrellas (seis bolsas de 1 kg cada una, se eligió el mismo lote, para evitar variaciones), Sal "La Fina" (empaquete de 1 kg), Azúcar "Great Value" (una bolsa de 2kg), Levadura "Nevada" (empaquete de 450g), agua embotellada (apta para consumo humano).

La proteína empleada es una proteína de cebada aislada por Perea (2010), en el laboratorio de tecnología de alimentos 2 de la U.A.E.H. Las enzimas (xilanasas), proveniente de un hongo (*Sporisorium reilianum*) aislada y purificada por Álvarez (2012), con una actividad enzimática de 12.6 U/mL. Con una concentración de 15 ml para cada 100 g de harina, concentración óptima de 15mL sugerida por Rodríguez (2012).

### 4.2 Métodos

#### 4.2.1 Muestreo del grano de trigo

Para la realización del análisis se efectuó un muestreo aleatorio simple (en el cual se selecciona un tamaño de muestra  $n$  de una población de tamaño  $N$  de tal manera que cada muestra posible de tamaño  $n$  tenga la misma probabilidad de ser seleccionada) en cada uno de los sacos con los residuos anteriormente descritos, de tal manera que se obtuvo una muestra representativa de toda la población tomando porciones de distintos puntos de los sacos. Se trabajó directamente con estas muestras para el análisis físico.

El tamaño de la muestra fue de 20 kg. La limpieza se llevó a cabo mediante un agitador de tamices y posteriormente se procedió a retirar, de forma manual los restos de hojas y flores, de la misma manera, se

seleccionaron los mejores granos de trigo para proceder a su acondicionamiento y molienda.

#### 4.2.2 Molienda del grano

Se tomó como muestra 1 kg de grano de trigo. Para el acondicionamiento se realizó un proceso de molienda seca. El acondicionamiento de grano del trigo fue a un 16.5% de humedad con un reposos de 24 horas (para ablandar el pericarpio y facilitar la molienda), ya que un porcentaje entre 16-17% se obtiene un mejor rendimiento (callejo, 2002). La fórmula que se utilizó para acondicionar el grano a una humedad de 17% en 100g de materia seca fue:

$$X = \left( \frac{HfM}{Dh} \right) - Hi$$

Dónde: Hf=Humedad requerida (%); Ms=Materia seca (g); Dh=Diferencia de humedad (%); Hi=Humedad inicial (%); X=Cantidad de agua (mL)

Los granos de trigo acondicionados fueron molturados en un molino de laboratorio (Chopin CD1, Francia). La fracción de semolina que fue obtenida se tamizó para obtener un mayor rendimiento, extrayendo harina que se encontraba mezclada.

#### 4.2.3 Propiedades físicas de las harinas.

##### 4.2.3.1 Tamaño de partícula

Las muestras no fueron secadas previamente ya que el análisis se realiza en húmedo. El estudio fue realizado en un analizador de partículas Beckman Coulter LS 13320 el cual mide la distribución de tamaños de partículas suspendidas en líquido o en polvo, mediante el principio de dispersión de luz para la determinación se utilizó aproximadamente 1 g de

muestra de cada una de las fracciones de molienda, con un índice de refracción de 1.494 y una precisión de  $\pm 10\%$  en  $Dv_{50}$ .

#### 4.2.3.2 Determinación de color

Para esta prueba se utilizaron 20g de harina. La determinación del color se efectuó con un colorímetro Hunter lab, cuyo principio se basa en registrar la intensidad de luz absorbida por el color negro y la reflejada por el color blanco, así como la descomposición de luz en los colores rojo, azul, amarillo y verde. El método se basa en la determinación por reflexión de la luz, de tres parámetros, "L," que mide el grado de luminosidad y varía de 100 para el blanco perfecto a 0 para negro; "a" y "b," son indicativos de la cromaticidad, los valores positivos de "a" están relacionados con el color rojo y los negativos con el color verde; mientras que los valores positivos del parámetro "b", están asociados con el amarillo y los negativos con azul. Las mediciones de las muestras se hicieron por quintuplicado, se utilizó como referencia una teja blanca, que se usa para la calibración del equipo.

#### 4.2.4 Análisis proximal del grano y de las harinas

Se llevó a cabo el análisis proximal del grano de trigo, de la harina obtenida de la molienda del grano y la harina comercial de acuerdo a los métodos establecidos en la AACC (American Association of cereal Chemists, 2002). Los análisis fueron:

- **Humedad.** Método 44.15
- **Cenizas.** Método 8.01
- **Grasas.** Método 30.10
- **Proteínas.** Método 40.26
- **Fibra dietética total.** Método 32.05
- **Carbohidratos.** El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia de porcentaje de todos los constituyentes en base seca respecto al cien por ciento.

## **4.2.5 Propiedades de hidratación de la harina de trigo**

### **4.2.5.1 Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS)**

La CAAS, se determinó mediante el método propuesto por Anderson *et al*, (2008) y que se describe a continuación. Se determinó pensando 100g de harina, adicionando agua en forma gradual, realizando un amasado manual y suave hasta obtener una masa viscoelástica. La cantidad de agua adicionada se registra como la capacidad de absorción de agua de la harina

### **4.2.5.2 Capacidad de hidratación (CH)**

Para esta determinación se utilizó el método 56.20 de la AACC, con algunas modificaciones que consistieron en usar tres temperaturas de (60, 70 y 80°C), para abarcar parte del intervalo donde ocurre la gelatinización del almidón. Cada muestra de harina de 0.5g previamente deshidratada se colocó en tubo de propileno de 15 ml. a peso constante, se adicionaron 10 ml de agua destilada y se colocaron en baño María. La suspensión se mantuvo en agitación y temperatura constantes durante 30 min; posteriormente se centrifugó a 3000 x g durante 10 min. El sobrenadante se evaporó en una estufa (Imperial V, Lab-line) a una temperatura de 105°C± 3°C hasta peso constante y luego se pesó.

### **4.2.5.3 Índice de retención de agua alcalina (IRAA)**

Para ésta determinación se utilizó el método 56-10 de AACC (2002). Se pesaron 0.95g de muestra de humedad y se colocó en un tubo para centrifuga puesto previamente a peso constante, se adicionaron, al cual se adicionaron 5ml de una solución de NaHCO<sub>3</sub> 0.1 N. Se agitó vigorosamente y se dejó en reposo durante 20 min. Transcurrido ese tiempo, se volvió a agitar en periodo de 5, 10, 15 y 20 min, posteriormente se centrifugo a 1000g x 15 min. el sobrenadante se decantó y la humedad se limpió con papel filtro. El tubo se volteo a un ángulo de 90°C por 5 minutos para eliminar los restos de

humedad y posteriormente se pesó. El índice de retención de agua alcalina se calculó con la fórmula siguiente:

$$\%IRAA = \left( \frac{P_{tm} - P_t}{M} \right) \left( \frac{86}{100 - H} \right) - (1 * 100)$$

Dónde:  $P_{tm}$  = Peso del tubo de la muestra;  $P_t$  = Peso del tubo ;  $M$  = Peso de la muestra;  $H$  = Humedad de la muestra.

#### 4.2.5.4 Índice de absorción en agua (IAA) é Índice de solubilidad en agua (ISA)

Se utilizó la metodología descrita por Anderson et al (1969). Una porción de 1.5g de cada muestra se agregó en 10 ml de agua destilada en un tubo de propileno a peso constante. La suspensión se homogenizó con una varilla de vidrio por 1 min a 25°C y se centrifugo a 3000rpm por 10 min. El sobrenadante se separó y se colocó en crisoles previamente tarados. El IAA se calculó a partir del peso del precipitado y se expresó como g gel/g sólidos. El ISA, expresado como g sólidos/g sólidos originales, se calculó a partir del peso de los sólidos secos recuperados al evaporar el sobrenadante a 105°C ± 5°C en una estufa durante 24 horas

#### 4.2.6 Elaboración del pan

En las tablas 7, 8, 9,10 se describen las formulaciones utilizadas en este trabajo, el método utilizado se realizó igual para todas ellas describiéndose a continuación:

Todos los ingredientes se mezclaron en una charola de aluminio, iniciando con los secos (harina, sal, azúcar, proteína de cebada a los porcentajes de 1, 3, 5 y 10% y enzima *xilanasa*) poco a poco se fue

adicionando agua, al mismo tiempo que se amasaba, cuando se preparó el pan con enzima y proteína de cebada, la enzima se adicionó después de mezclar todos los ingredientes secos, el pan control se realizó mezclando los ingredientes excepto levadura, proteína de cebada y enzima. Después del mezclado la masa se sometió a fermentación durante una hora a 45°C/1 Hora.

**Tabla 6. Formulación de la masa para elaborar el pan testigo**

INGREDIENTES	CANTIDAD
Harina de trigo	100g
Azúcar	8.9 g
Levadura	2.3 g
Leche en polvo	2.7 g
Manteca	3.8g
Sal	2g
Maguimix	1g
Enzima <i>xilanasa</i> (12.6U/mL )	15 mL
Agua	60 mL

(Mesas et al., 2009)

**Tabla 7. Formulación de la masa para el desarrollo de producto funcional con un porcentaje de proteína de cebada con un porcentaje de 1%**

INGREDIENTES	CANTIDAD
Harina de trigo	100g
Azúcar	8.9 g
Levadura	2.3 g
Leche en polvo	2.7 g
Manteca	3.8g
Sal	2g
Maguimix	1g
Proteína de cebada	1%
Enzima <i>xilanasa</i> (12.6 U/mL)	15 mL
Agua	60 MI

Fuente: Elaboración propia

El tiempo óptimo de "maduración" de la masa (amasado-fermentación) para buenas propiedades reológicas depende de la fuerza de las harinas. Una vez fermentada se volvió a amasar, esto con el fin de sacar el gas producido y obtener un mejor desarrollo del gluten, se moldeó y se volvió a dejar fermentar por un periodo de 47°C/30 minutos y en esta segunda fermentación se añade la levadura hidratada. Una vez alcanzado el volumen necesario, se procedió a hornear, el cual fue durante 30 minutos a

175°C. Finalmente el pan recién salido del horno (Self Cooking Center Rational, SCC61, Alemania) se dejó enfriar a temperatura ambiente.

**Tabla 8. Formulación de la masa para el desarrollo de producto funcional con un porcentaje de proteína de cebada con un porcentaje de 3%**

INGREDIENTES	CANTIDAD
Harina de trigo	100g
Azúcar	8.9 g
Levadura	2.3 g
Leche en polvo	2.7 g
Manteca	3.8g
Sal	2g
Maguimix	1g
Proteína de cebada	3%
Enzima <i>xilanasa</i> (12.6 U/mL)	15mL
Agua	60mL

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9. Formulación de la masa para el desarrollo de producto funcional con un porcentaje de proteína de cebada con un porcentaje de 5%**

INGREDIENTES	CANTIDAD
Harina de trigo	100g
Azúcar	8.9 g
Levadura	2.3 g
Leche en polvo	2.7 g
Manteca	3.8g
Sal	2g
Maguimix	1g
Proteína de cebada	5%
Enzima <i>xilanasa</i> (12.6 U/mL)	15 mL
Agua	60 mL

Fuente: Elaboración propia

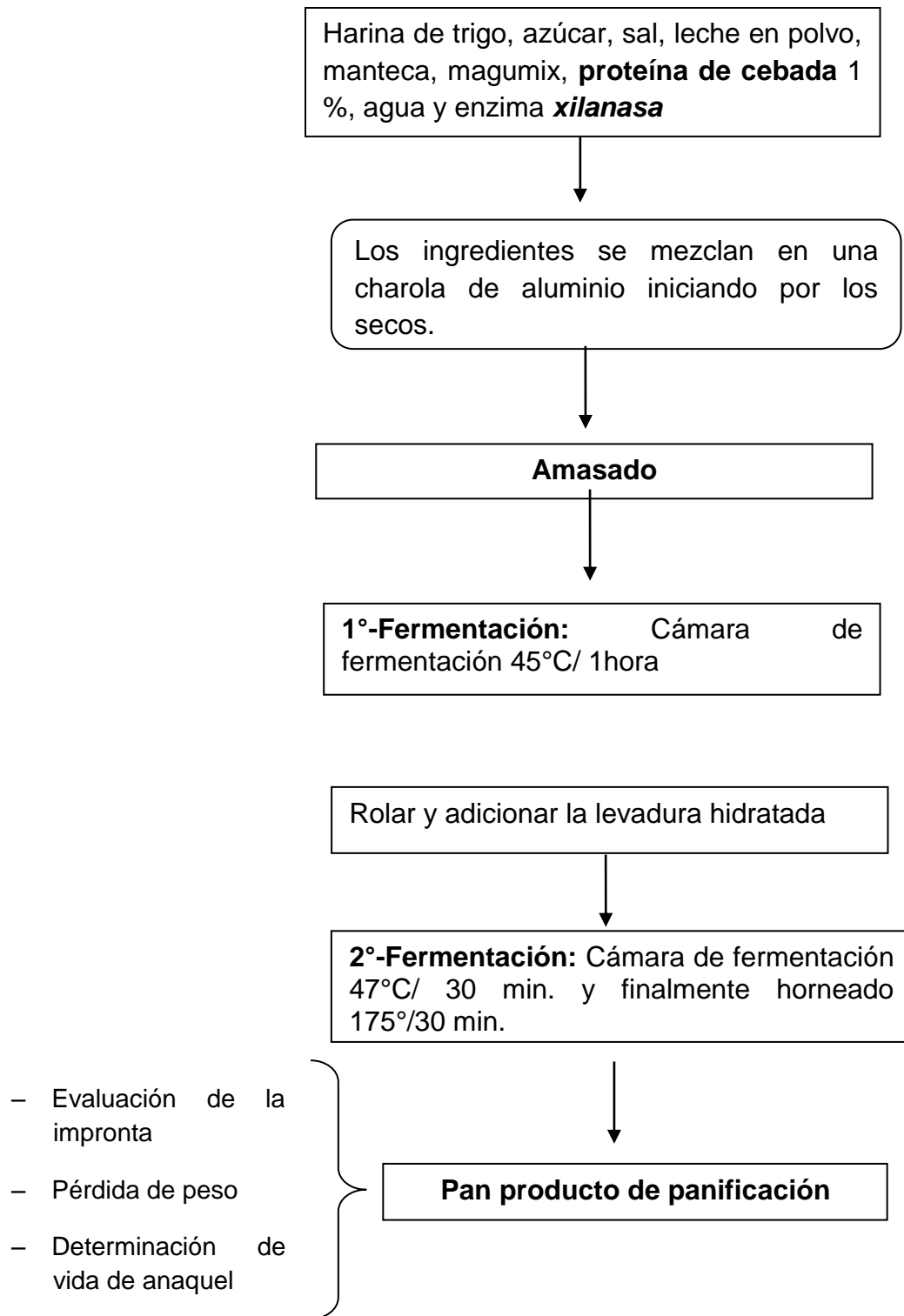
**Tabla 10. Formulación de la masa para el desarrollo de producto funcional con un porcentaje de proteína de cebada con un porcentaje de 10%**

INGREDIENTES	CANTIDAD
Harina de trigo	100g
Azúcar	8.9 g
Levadura	2.3 g
Leche en polvo	2.7 g
Manteca	3.8g
Sal	2g
Maguimix	1g
Proteína de cebada	5%
Enzima <i>xilanasa</i> (12.6 U/mL)	15mL
Agua	60 mL

Fuente: Elaboración propia.



#### 4.2.6.1 Diseño de un alimento funcional



#### 4.2.7 Determinación de volumen y densidad del pan

Se determinó el volumen del molde vacío llenándolo con sopa de pasta de munición, rosando con cuidado. Se transfirió sopa con cuidado, a una probeta y se midió su volumen. Para medir el volumen del pan, cuando ya se ha enfriado, se colocó en el mismo molde y se le añadió la sopa de munición cuidando que ocupara todos los espacios y rosando igual que se hizo con molde vacío. La sopa utilizada, se volvió a transferir a la probeta y se registró su volumen. El volumen del pan se calcula la diferencia. La densidad se determinó mediante el peso del pan entre el peso de la sopa desplazada del pan (AACC, 2001).

#### 4.2.8 Evaluación de la impronta

Para evaluar las características internas, se cortó la rebanada transversal del centro, con un cuchillo eléctrico para obtener un corte limpio. Se impregnó de tinta para sellos y se colocó la rebanada en una hoja de papel blanco. A través de ésta prueba se evalúa la textura de la impronta mediante una escala hedónica, para evaluar la textura y color de la miga.

**Tabla 11. Escala hedónica para evaluar la textura y color de la miga**

TEXTURA DE LA MIGA	COLOR DE LA MIGA
10 Excelente. Celdas pequeñas y uniformes	10 Blanco
9 Muy buena. Presencia de algunas celdas grandes	9 Acremado
8 Buena. Presencia de muchas celdas grandes	8 Amarillo crema
7 Regular. Celdas grandes y chicas con distribución no uniforme	7 Amarillo
6 Pobre Celdas grandes con desgarraduras	6 Café
5 Mala. Celdas grandes con desgarraduras y compactación en algunas zonas	5 Café oscuro

(Laguna, 2013)

#### 4.2.9 Pérdida de peso

Primero se determinó el peso de la masa que se elaboró a partir de 100g de harina, posteriormente se introdujo al horno para obtener el pan. Una vez enfriado el pan se procedió a pesarlo y finalmente de la pérdida se calcula por diferencia.

#### 4.2.10 Determinación de la vida de anaquel

El pan después de pesarlo y determinar su volumen, así como apariencia general y color de la costra, se empacó en papel plástico hermético y se conservó en condiciones conocidas; al primer día, al tercero y al sexto se evaluó la costra y apariencia general, con especial atención en la posible presencia de hongos. Se suspendieron las evaluaciones cuando el desarrollo de hongos era evidente (Ferrera *et al.*, 2009).

#### 4.2.11 Análisis sensorial

Se realizó una prueba afectiva de grado de satisfacción. Estas pruebas son intentos para manejar más objetivamente datos tan subjetivos como son las respuestas de los jueces acerca de cuánto les gusta o les disgusta un alimento (Davies *et al.*, 2010). Para la realización de ésta prueba se utilizó una escala hedónica verbal de nueve puntos (tabla 12). Estas escalas son las que presenta a los jueces una descripción verbal de la sensación que les produce la muestra. Siempre deben incluir el punto central "ni me gusta, ni me disgusta." A éste punto se le asignó la calificación de cero. A los puntos de la escala por encima de éste se le otorgaron valores positivos, indicando que las muestras son agradables; en cambio a los puntos por debajo del valor de indiferencia se les asignaron valores negativos, correspondiendo a calificaciones de disgusto.

**Tabla 12. Escala hedónica verbal de nueve puntos**

Escala	Calificación
Me gusta muchísimo	4
Me gusta mucho	3
Me gusta bastante	2
Me gusta ligeramente	1
Ni me gusta ni me disgusta	0
Me disgusta ligeramente	-1
Me disgusta bastante	-2
Me disgusta mucho	-3
Me disgusta muchísimo	-4

(Davies *et al.*, 2010).

**Todos los experimentos se realizaron por quintuplicado.**

## V Resultados y discusión

### 5.1 Calidad física del grano

En México, la comercialización de trigo para consumo humano, está regido por la norma NMX-FF-036-1996. En la tabla 13, se muestran los resultados del análisis físico del grano de acuerdo a la norma, considera solamente a flores, paja, tallos, granos de otros cereales y piedras como impurezas, el porcentaje de impurezas no deben de exceder el 2% para que sea considerado apto para consumo humano; aunque en una muestra de trigo también se encuentran otros interferentes como son; granos dañados por hongos, quemados, quemados por frío, etc., pero estos no afectan demasiado a la muestra ya que después de eliminarlos se pueden utilizar.

**Tabla 13. Análisis físico de grano**

Parámetro	Obtenido en el laboratorio	NOM-FF-036
Color	Café claro	Café claro
Olor	Libre de olores extraños	Libre de olores extraños(moho, humedad, fermentación, putrefacción rancidez)
Temp. En 5 puntos	22°C (0.0)	>5 ° en comparación de cada punto
Flores	0.15 (0.01)	2.0 - 3.0%
Paja	-	
Tallos	0.11 (0.007)	
Granos de otros cereales	-	
Piedras	0.19 (0.28)	
Granos limpios	905.8 (1.3)	
Granos quebrados	15 (2)	3.0%
Granos dañados por hongos	13.2 (1.3)	2.0%
Granos quemados	24.6 (1.8)	2.0 - 3.0%
Granos chupados	33.8 (1.5)	
Insectos vivos	-	
Insectos muertos	7.2 (1.5)	

\*() Desviación estándar

La muestra con la que se trabajó, cumple con los parámetros establecidos en la NMX-FF-036-1996, es de buena calidad lo que indica que el grano de trigo es de buena calidad y puede ser usado para elaborar productos de panificación.

## 5.2 Rendimiento de la molienda

Se llevó a cabo a partir de 1kg muestra de trigo previamente seleccionado, libre de impurezas, se sometió a un proceso de molienda y se obtuvieron diferentes rendimientos de las distintas fracciones como son: harina, sémola y salvado ya que el equipo separa estas fracciones al final de la molturación, como se puede observar en la tabla 14. El rendimiento de semolina se obtuvo al cribar la sémola obtenida en el molino y separar los restos de harina.

Para obtener un buen rendimiento el grano de trigo debe de acondicionarse a una humedad del 17%, ya que la humedad facilita la separación del salvado del germen y evita que ocurran daños mecánicos durante el procesado de grano (De la O Olán *et al.*, 2012).

**Tabla 14. Rendimiento de la molienda**

Fracción	Rendimiento(g)	%Rendimiento
Salvado	280 (5)	28 %
Sémola	156 (4)	15.6 %
Semolina	72 (1)	7.2 %
Harina	492( 4)	49.2 %

( ) Desviación estándar

Para su utilización en forma de harina o sémola el grano de trigo debe de ser sometido a una molienda y en éste proceso se descartan partes anatómicas externas del grano, el 100% de extracción se considera solamente para harinas integrales, para harina blanca el grado de extracción debe de

estar entre un 70-74%, De la O Olán *et al.*, (2012) menciona que la harina blanca está constituida por dos fracciones con diferentes porcentajes de rendimiento, éstas fracciones son: harina de flor o de patente y harina clara, la harina de flor o de patente a su vez está compuesta por tres fracciones que son: patente con un porcentaje de rendimiento del 65%, larga con 45% de rendimiento y corta con 20% de rendimiento según lo anterior se puede decir que la harina que se obtuvo es harina flor "larga" con un porcentaje de 49.2% , esto quiere decir que proviene directamente del endospermo y no contiene gran parte de germen (Hernández *et al.*, 2013).

Desacuerdo a Barrera *et al.*, (2012), el rendimiento de la harina fue alto, y esto se obtuvo por que se acondicionó al 17% y la sémola obtenida se pasó por una serie de cribas para aumentar el porcentaje de harina. El grano de trigo entre más duro sea se necesitara más fuerza para para eliminar el salvado y germen ya que para obtener harina el primer objetivo es eliminar el salvado y germen del endospermo.

Esto se consigue en su mayor parte en el sistema de fragmentación del molino después de hacer la separación el siguiente objetivo es reducir el endospermo en harina. En la primer fragmentación, el endospermo se separa en trozos grandes y en las últimas, la acción es más para eliminar el salvado, por lo que el molino al tener un grano bien acondicionado pudo quebrarse y molerse de manera adecuada (Gambarotta, 2008).

Como se pudo comprobar el grado de dureza influye en el rendimiento de sémola y de harina, y como lo menciona Mora, (2012) entre mayor sea la dureza del grano, se obtendrán fracciones de mayor granulometría como sémola y salvado.

### 5.3 Análisis proximal del grano y las harinas de trigo

En la tabla 15 se muestran se muestran los resultados del análisis proximal, del grano, para tomar en cuenta la materia prima de la cual se partió, para estos análisis se trituro es grano completo, harina de trigo artesanal por el proceso de molienda del grano de trigo, así como de harina de trigo comercial que fue utilizada como un comparativo.

**Tabla 15. Análisis proximal del grano de trigo y harinas de trigo expresado en porcentaje en base seca.**

Componentes	Grano de trigo	Harina artesanal	Harina comercial
<b>Humedad</b>	13.1( $\pm$ 0.083)	11.7( $\pm$ 0.070)	12.0( $\pm$ 0.070)
<b>Proteína</b>	15.0( $\pm$ 0.054)	17.0( $\pm$ 0.044)	12.3( $\pm$ 0.054)
<b>Grasa</b>	2.6( $\pm$ 0.083)	2.0( $\pm$ 0.070)	1.9( $\pm$ 0.083)
<b>Fibra</b>	2.0( $\pm$ 0.054)	1.0( $\pm$ 0.054)	1.5( $\pm$ 0.054)
<b>Cenizas</b>	1.9( $\pm$ 0.054)	0.5 ( $\pm$ 0.037)	0.5( $\pm$ 0.041)
<b>Carbohidratos</b>	80.0 ( $\pm$ 0.070)	83.0( $\pm$ 0.070)	81.0( $\pm$ 0.044)

( ) Desviación estándar.

Los granos de trigo deben de cumplir con ciertos parámetros esto con el fin de asegurar que servirán para su fin determinado, en general los parámetros deben de oscilar para panificación entre un 12-14% de humedad, 11.5-17% de proteína, 1.8-2.8% de grasa, 2.8-3% de fibra, 1.8-2.1% de cenizas, y 75.2-82.1% de carbohidratos, como se puede observar en la tabla 15, el contenido de humedad, proteína, carbohidratos y grasa están dentro de los parámetros establecidos, sin embargo fibra, cenizas quedan un poco abajo del parámetro establecido (Ferrerías, 2009).

La humedad en este tipo de granos que, son recolectados, almacenados y transportados para su comercialización es natural que se

encuentre dentro de los parámetros mínimos porque dentro de lo contrario, durante algunos de estos procesos, de acuerdo a Rodríguez *et al.*, (2012), pueden ser susceptibles al ataque por hongos y ocasionar olores rancios y olores extraños por la implantación de moho en el grano. En el caso de harina de trigo, después de su obtención se sometió a un calentamiento de 40°C durante algunas horas, para reducir su humedad y así evitar el ataque por hongos, aunque no fue almacenada por un largo periodo y no represento algún riesgo que la humedad fuera alta, comparado con el porcentaje de humedad de harina comercial es significativamente menor porque a lo mencionado por Lucas *et al.*, (2012) a nivel industrial y o por para ser empaquetada y tenga una vida de anaquel de casi un año si se debe de cuidar éste parámetro para evitar el desarrollo de microorganismos.

Dentro de los parámetros establecidos los tres parámetros más importantes para las harinas destinadas a panificación son: humedad, cenizas y contenido de proteína. De acuerdo con el análisis estadístico los datos obtenidos en la tabla 15 de las harinas no hay diferencia significativa ( $P=0.05$ ) por dos de los efectos antes mencionados pero hay diferencia significativa en el valor de cenizas del grano ( $1.9 \pm 0.05$ ) en comparación de la harina de trigo artesanal y comercial ( $0.5 \pm 0.04$ ), en estos dos últimos el contenido de cenizas es bajo el porcentaje, se encuentra dentro de los parámetros establecidos, para la harina de trigo y comercial que son harinas blancas, obtenidas directamente del endospermo, sin interferentes como salvado, como lo menciona Rodríguez *et al.*, (2012), el contenido de cenizas es menor; para el caso del grano su contenido de cenizas está en relación con la tasa de extracción de la harina contiene más elementos de la periferia del grano, más ricos en materias minerales que el endospermo y, por tanto, tendrá mayor contenido de cenizas como se puede observar .



El contenido de proteínas en harinas de trigo puede oscilar entre 7 y un 15% o incluso más, pero también depende de la tasa de extracción de la harina y del contenido inicial en el grano, de acuerdo a Hernández *et al.*, (2013) para panificación se requiere como mínimo un 9% de proteína para obtener buenos resultados en el producto final, en la tabla 15, se muestran los resultados del análisis de proteína, en el caso de harina artesanal por molienda del grano de trigo el contenido de proteína es alto, comparado con el contenido de grano de trigo, esto se debe a que después de la molienda son liberados compuestos nitrogenados, se encuentran en el centro como lo menciona, De la Cruz *et al.*, (2013) y cuando es analizado el grano de trigo estos compuestos se ven interferidos por otros. Tomando en cuenta el contenido de proteína, la harina fue viable para su uso en panificación sin embargo la harina comercial también tiene un porcentaje de proteína aceptable (Barajas *et al.*, 2011).

La grasa es un parámetro que se considera irrelevante, ya que es uno de los componentes minoritarios en la composición del grano (Ponzio, 2011). Lo que en harinas comerciales, podría parecer relevante porque pueden ocasionar reacciones de oxidación lipídica y así afectar su vida de anaquel (Barrera *et al.*, 2012). En la tabla 10 se puede observar que el valor más bajo en contenido de grasa corresponde a la harina comercial, debido a que a nivel industrial interesa quitar el germen que es el lugar donde se concentran los lípidos del grano para evitar reacciones indeseables y también obtener un color más blanco, en harina de trigo, el valor es indicativo de que tal vez parte del germen no se separó de todo el endospermo y paso a la harina.

El contenido de fibra en el grano es bajo, como se puede observar en la tabla 15, por lo que en la harina obtenida a partir de ese grano también resulta bajo, como lo menciona Morales *et al.*, (2012) esto es debido a que la mayor parte se pierde en el proceso de molienda ya que se elimina el salvado, lo cual es deseable para obtener una harina blanca de buena calidad, en la harina comercial el proceso es más minucioso, los cribados son más estrictos y el contenido de fibra por consiguiente es bajo también.

El último parámetro son los carbohidratos, en todos los cereales es el mayor contribuyente, en la tabla 15 se puede observar que es el parámetro que tiene el porcentaje más grande tanto en harina de trigo artesanal, comercial y el grano de trigo, los carbohidratos participan en la en el proceso de fermentación, en la absorción de agua, de productos de panificación (Barajas *et al.*, 2011).

La mataría prima de la cual se obtuvo la harina de trigo así como ésta, según el análisis proximal, fue viable para ser utilizadas en la elaboración de productos de panificación ya que cumplió con los parámetros más importantes.

## 5.4 Análisis físico de las harinas

### 5.4.1 Tamaño de partícula

El tamaño de partícula se relaciona con la dureza del grano y también se relaciona con el daño al almidón, pérdidas en contenido de proteína y absorción de agua (De la Horra *et al.*, 2012).

**Tabla 16. Distribución del tamaño de partícula (D%) en  $\mu\text{m}$**

Producto	D10	D25	D50	D75	D90
Harina comercial	18	24	60	130	180
Harina Artesanal	22	50	108	169	280
Sémola	20	198	539	698	910
Semolina	18	80	262	382	520

En la tabla 16. Se puede observar los promedios de los tamaños de partícula en el caso de harina comercial con un porcentaje del 50% de los datos obtenidos tuvo un tamaño de partícula de  $60\mu\text{m}$ , al igual que la harina de trigo artesanal obtenida por el proceso de molienda el 50% de estos datos tuvo un tamaño de partícula de  $108\mu\text{m}$ , según lo reportado los tamaños de partícula deben ser para harina: 20-200  $\mu\text{m}$ , sémola 0.5-1mm, semolina 150-500 $\mu\text{m}$ , y para salvado 1-5 mm los datos obtenidos quedan dentro de los parámetros

establecidos, por tal motivo, se considera que la harina de trigo, el producto que se obtuvo después del proceso de molienda del grano de trigo, es un parámetro que nos da un indicio de almidón dañado, es muy probable que el almidón se tendría en buenas condiciones (De la O Olán *et al.*, 2012).

La harina comercial en el tamaño de partícula a un porcentaje de 10% tiene un valor de 18 $\mu$ m. que es menor que el de harina de trigo obtenida con valor de 22  $\mu$ m, esto es debido a que a nivel industrial la etapa que se evita para lograr tamaños de partícula muy pequeños es la compresión, pues el objetivo de esta etapa es reducir la sémola y semolina ya limpias debidamente clasificadas por tamaños a harinas.

Esto se consigue mediante un gradual sistema de compresión que controle el daño del almidón y minimice la suma de partículas de salvado que pasan por el tamiz a la harina, al no tener esta etapa, estas fracciones son eliminadas del sistema harina blanca, directamente del endospermo (Hernández *et al.*, 2013).

La fracción que presento un mayor tamaño de partícula fue la sémola, por lo que esta fracción presenta restos de salvado, y el tamaño de partícula más grande debería corresponder al salvado, para este análisis se decidió no analizarlo, porque su tamaño de partícula excede la capacidad de equipo y no es uniforme.

#### **5.4.2 Determinación de color de las harinas**

Esta prueba tiene la finalidad de notar la diferencia que existe entre la harina comercial y la harina de trigo artesanal, para poder saber si este es un parámetro podría afectar al final de panificación obteniendo un pan pálido. Como se puede mostrar en la tabla 17 los parámetros son diferentes, la harina comercial presenta un índice de blancura (valor L) mayor con valor de 93.82, comparado con la harina obtenida por molienda del grano de trigo con un valor de 90.12.

**Tabla 17. Análisis de calidad física realizados a la harina de trigo y comercial**

	L	a	b	Color
<b>Harinas</b>				
<b>Artesanal</b>	90.12 (0.04)	0.92 (0.01)	12(0.04)	
<b>Comercial</b>	93.82 (0.08)	0.62(0.02)	7.2(0.05)	

(Desviación estándar), L; negro=0, blanco=100, A: += rojo/-verde, B: +=amarillo/-azul.

Montoya *et al.*, (2012) indica que el color está relacionado con los pigmentos de trigo y con el salvado que forzosamente quedan en la harina. Si el acondicionamiento no fue bien realizado y en la proceso de la molienda no facilito una buena separación del salvado quedarán partículas que den color a la harina, es por este motivo que el valor L en la harina de trigo artesanal, presento un valor menor comparado con la harina comercial, en procesos comerciales también son usados compuestos químicos como lo son cloruros para blanquear las harinas y asimismo el proceso de extracción es muy eficiente.

Con relación al parámetro a es más grande en la harina de trigo artesanal que en la harina comercial, como lo menciona Giraldo *et al.*, (2012) esto es debido a que se presenta una mayor cantidad de pigmentos, lo mismo sucede con respecto al parámetro B, es notorio que en los valores de B es mayor en la harina de trigo comercial.

#### **5.4.3 Capacidad de absorción de las harinas**

Se calculó el porcentaje de CAAS en harina de trigo, de acuerdo a Jovanovich *et al.*, (2009), la rápida absorción de agua ésta directamente relacionada al endospermo suave, mientras que si el grano tiene endospermo duro, la absorción de agua será más lenta. En este caso se observó la tabla 18 tuvo mayor porcentaje de CAAS 73.1% que fue la harina de trigo artesanal, fue la que obtuvo un mayor porcentaje, en tanto la harina comercial tuvo el menor

porcentaje, esto esta ocasionado porque la harina comercial tiene una mayor cantidad de proteína y carbohidratos, y éstos interacciones que se dan entre proteínas y agua (principalmente), esa nueva estructura se forma por agregación puede retener agua por acción física. Así mismo a mayor porcentaje de componentes mayor retención de humedad en el grano (De la Horra *et al.*, 2012).

**Tabla 18. Análisis de calidad física realizada a la harina de trigo y comercial**

Variedad De harina	% CAAS	IAA (G GEL/G SÓLIDOS	ISA (G SOLIDOS/ GSÓLIDOS ORIGINALES)	%CH 60°C	%CH 70°C	%CH 80°C	% IRAA
Artesanal	73.1 (1.2)	7.3 (0.12)	2.3 (0.33)	7.9 (0.1)	9.6 (0.5)	7.8 (03)	142.4 (1.14)
comercial	60 (1.6)	6 (0.15)	1.3 (0.11)	8.1 (0.1)	8.6 (0.2)	8.1 (0.2)	153.4 (2.8)

CAAS=Capacidad de absorción de agua subjetiva, IAA=Índice de absorción, en agua, ISA=Índice de solubilidad en agua, CH=Capacidad de hidratación, IRAA=Índice de retención de agua alcalina, () Desviación estándar

Los valores obtenidos en la CAAS algunas veces van a depender de las características de las harinas como humedad inicial, la temperatura, cantidad de proteínas porcentaje de almidón dañado en la molienda (Guttieri *et al.*, 2009).

El análisis de las propiedades de hidratación se realizó para determinar la cantidad de agua necesaria para formular una masa, y así poder hidratar adecuadamente sin desaprovechar el contenido de agua (Ram *et al.*, 2009).

El ISA y el IAA, son indicativo del peso de solidos secos y el peso del precipitado respectivamente. Con este análisis se determinó cuál de las harinas dos harinas tanto comercial como de grano de trigo absorbió más agua según su contenido, la calidad de proteína y el porcentaje de fibra que contengan. De acuerdo a lo mencionado por Guttieri *et al.*, (2009). Este factor evalúa la calidad de la harina en cuanto a la pérdida de sólidos en agua.

El valor de IAA la harina de trigo tuvo un mayor valor con respecto a la harina de trigo comercial, lo cual se ve reflejado directamente en la humedad, ya que en el análisis proximal de harina comercial presenta una humedad más baja que la harina de trigo artesanal. El aumento de IAA en harinas podría estar relacionado con la presencia de almidón dañado (Remondetto *et al.*, 2008).

En lo que respecta al valor de ISA es mayor con un 2.3% en harina de trigo artesanal comparado con la harina comercial, esto es en relación con la presencia de moléculas de almidón soluble, lo cual relaciona con la dextrinización. Este comportamiento puede ser causado por la degradación de almidón, debido a la presión de corte sobre éste durante la molturación (Jovanich *et al.*, 2009).

El almidón es insoluble en agua fría; pero es capaz de retener agua. El agua se adhiere a la superficie de los gránulos de almidón, algo se introduce por las grietas y lleva él gránulo a su hinchamiento (hinchamiento de poros). El hinchamiento se acelera por calentamiento (De la Horra *et al.*, 2012). Se observa que los valores aumentan y son directamente proporcionales al aumento de la temperatura excepto a altas temperaturas, que es cuando disminuye la capacidad de hidratación del almidón, por lo que el granulo de almidón revienta y ya no es capaz de retener agua, como la temperatura que presenta de 80°C por que el valor disminuyo.

Por lo que respecta en la última columna en donde se observan los resultados obtenidos de %IRAA, estos valores son un parámetro por medio del cual se evalúa la tolerancia al agregar sal durante la incorporación de ingredientes en el proceso de amasado. Se observa que la mayor tolerancia la tiene la harina comercial, al tener el valor más alto, esto significa que tiene una mayor capacidad de retención de agua alcalina, al ser una harina comercial tiene varios usos, especialmente pueden ser aptas la industria galletera y la elaboración de pastas para pizza (Jovanich *et al.*, 2009).

Los componentes químicos como proteínas y carbohidratos pueden influir en la CAAS. Si se toma en cuenta las interacciones que hay entre la proteína, el agua y el porcentaje de almidón dañado, debido a que puede existir una retención física de agua por acción capilar en la nueva estructura formada por agregación de proteínas. Así mismo por lo mencionado por Guttieri *et al.*, (2009), a mayor porcentaje de estos componentes, mayor retención de humedad en el grano.

### 5.5. Elaboración del pan

En la elaboración del pan para este trabajo de investigación se utilizó el apartado de materia y métodos 4.2.6.1. El cual se trató con el extracto crudo de enzima xilanas procedente de un hongo (*Sporisorium reilianum*) aislado por Álvarez (2012). Presentando las siguientes características: La actividad de las xilanasas en presencia de xilano es mayor con una actividad xinolítica (12.6 U/ml), la cual fue encontrada en fermentación sumergida en el medio con xilano abedul como fuente carbono y extracto de levadura. La enzima fue purificada a través de cromatografía de intercambio iónico, presentando un peso molecular de 42 kDa. Los valores óptimos de pH de 5.0 y temperatura 70°C. Con una concentración de 15 ml para cada 100 g de harina, concentración óptima de 15mL sugerida por Rodríguez (2012).

Así mismo se enriquecieron con proteína de cebada, Stamler *et al.*, (2009) señala que la proteína vegetal, consiste en aminoácidos, el ácido glutámico es el más común de estos, por lo cual una ingesta más alta de ácido glutámico como parte de una ingesta proteica total en la dieta (>4.72%), se correlaciona con la reducción de la presión arterial sistólica (1.5-3 puntos) y una reducción de en la diastólica (1-1.6 puntos) (Perea, 2010).

La proteína de cebada también contiene leucina, Mathews *et Van Holde* (2002), señalan que el papel de la leucina es crítico al ser detectado por las vías de señalización de insulina y participar en la iniciación de síntesis de proteínas.

Por otro lado, se encontró el contenido de leucina de 7.294gaa/100g de proteína que al compararla con los requerimientos reportados por la FAO (1985), para adultos es de 19mgaa/g proteína, lo que podría ser aprovechable en el enriquecimientos en productos de panificación.

Los datos están reportados en base seca tomando en cuenta que el contenido de humedad es de 68%.

**Tabla 19 Análisis proximal del sedimento en base seca**

	%
<b>Cenizas</b>	1.44
<b>Proteína</b>	59.37
<b>Carbohidratos</b>	39.06

Fuente: Elaboración propia.

## 5.6 Evaluación del pan

### 5.6.1 Evaluación de la impronta

La características internas de los panes se limita normalmente al tamaño, número y distribución de alveolos en a miga (grano de miga), el color de la misma y cualquier defecto de calidad que pueda apreciarse, como oquedades impropias o manchas densas visibles en un corte transversal del producto.

Scanlon *et al.*, (2009) menciona que la estructura alveolar es uno de los atributos más importantes de las características del pan como se muestra en la evaluación de la impronta (figura 10).

En la figura 10 se observa los panes hechos con diferentes concentraciones de proteína de cebada 1, 3, 5 y 10%, así como los elaborados con levadura y método de esponja en el sello "A" y "E" se aprecia una distribución de celdillas uniforme, lo cual es indicativo que hubo una buena



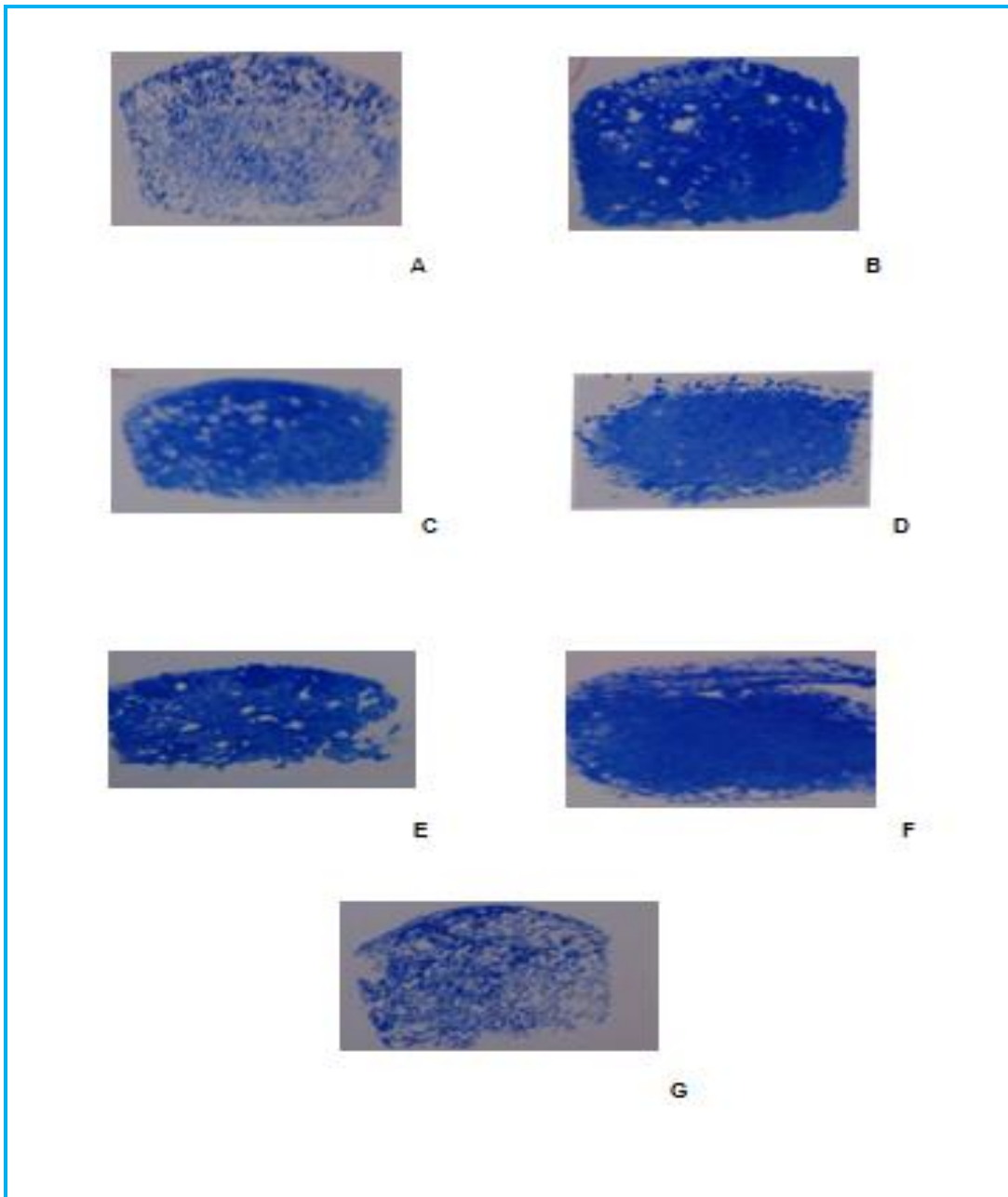
aireación durante el proceso de amasado y por lo tanto el CO<sub>2</sub> producido durante la fermentación se difundió correctamente y no escapó de la masa provocando que el producto tenga el volumen apropiado y migas uniformes (Ortega *et al.*, 2008).

Se observa que en el sello "B" se observan las celdillas son poco uniformes, como menciona Crowley *et al.*, (2008), lo cual es indicativo de que no tuvo una adecuada aireación durante la etapa de amasado y por lo tanto el CO<sub>2</sub> no se difundió adecuadamente.

En el resto de los sellos, se puede notar que las celdillas son totalmente distintas, no presentan uniformidad, lo cual permite suponer que durante la cocción no se produjeron celdillas interconectadas entre sí, a su vez interviene el proceso de fermentación, por lo que durante la cocción de la masa fermentada se transforma en una estructura esponjosa y de celdillas interconectadas (Cortázar *et al.*, 2012).

Según (Crowley *et al.*, 2008), un aspecto crucial en el proceso de panificación es favorecer la estabilidad de las burbujas, antes de la cocción, por medio de la fermentación; y durante la cocción, usar la temperatura adecuada para el tipo de pan. Puesto que estos son parámetros que afectan directamente a la textura en el número, tamaño y distribución de las celdillas, y de igual manera influye en el volumen del producto final. Por otra parte el sello "C", que fue la concentración de proteína de cebada de 1% y junto con el extracto de enzima xilanasa fue el pan que a esta concentración de 1% fue el que presentó mayor uniformidad en sus migas, mejor elasticidad de la masa sin reducir la elasticidad, como un control se utilizó pan sin nada es decir pan testigo, éste pan también mostró uniformidad y de acuerdo por lo mencionado por Betini *et al.*,(2009). En general la proteína de cebada con una concentración de 1% favorece la distribución de migas.

**Figura 10. Evaluación de la impronta en panes hechos con harina de trigo: levadura, método de esponja, diferentes concentraciones de proteína de cebada y testigo.**

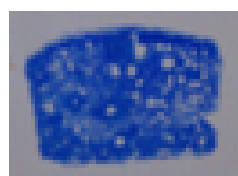


**A (Levadura), B (Esponja), C (1%), D (3%), E (5%), F (10%) G (Testigo).**

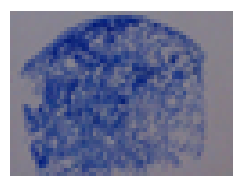
En cuestión con los sello "D" y "F", el origen puede ser que la enzima no fue capaz de actuar sola, la temperatura a la que se fermento la masa fue la temperatura óptima de la enzima (40°C), también a su vez se pudo deber al tiempo de fermentación (De la Horra, 2012), la enzima tal vez necesitaba más tiempo de fermentación que la levadura y el método de esponja. En cuanto al sello g tuvo una buena distribución.

En la figura 10 se observó que la concentración de proteína de cebada (1%), fue la que dio mejores resultados, se comprobó con harina de trigo y comercial, para analizar cuál de estas arroja un mejor resultado.

**Figura 11. Evaluación de la impronta con proteína de cebada de 1%**



**Harina de trigo**



**Harina comercial**

Como se observó en la figura 11 los mejores resultados se obtuvieron en harina de trigo obtenida, que en harina comercial.

**Tabla 20. Análisis físicos del pan que se realizaron a las muestras de pan**

Panes	%Pérdida de peso	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/mL)
Levadura	12.46 (0.45)	326.4 (26.4)	0.37(0.02)
Método de esponja	15.82 (0.94)	360 (2.2)	0.61(0.03)
Proteína 1%	25.84(0.40)	355.2(3.7)	1.52(0.02)
Proteína 3%	27.38(0.37)	314(21.5)	1.71(0.2)
Proteína 5%	26.5(0.33)	360.4(2.7)	1.64(0.02)
Proteína 10%	25.8(0.33)	358.6 (1.1)	1.83(0.02)
Testigo	15.58 (0.40)	356.2(1.9)	1.59(0.04)

(Desviación estándar).

Esto es debido a que la harina de trigo se obtuvo de manera artesanal, se extrajo del endospermo y en esta fracción quedan una mayor cantidad de pentosanos. Esto hace que se acelere la formación de la miga consiguiendo una pronta firmeza en su estructura, reduciendo así el tiempo de cocción, sobre estas estructuras actúan las enzimas xilanasas especialmente las endo-1.4- $\beta$ -xilanasas (Betini *et al.*, 2009). Por lo anterior mejoran su calidad, obteniéndose productos con textura y sabor, lo que no ocurre en la harina comercial, debido a que las estructuras de pentosanos se encuentran en cantidades trazas. Lo anterior se debe a, que estas harinas pasan por un proceso de purificación o de extracción disminuyendo la cantidad de pentosanos presentes (De la Horra *et al.*, 2012).

Con los datos obtenidos en la tabla 19 se observó que el pan presentó una pérdida de peso, en particular él que se elaboró con una concentración de proteína 10%; esto indica que sufrió una mayor evaporación en su superficie, ocasionando que la corteza fuera más dura que las demás muestras. Esta evaporación conduce a que la humedad del producto final disminuya, provocando que la pérdida de humedad y de peso sean parte fundamental en la formación de la corteza (Scanlon *et al.*, 2009).

Respecto al volumen del pan elaborado con proteína al 5%, indica que tuvo la mejor retención de gas en la red de gluten al igual que la buena penetración de calor durante la cocción, como lo menciona Crowley *et al.*, (2008), lo cual hace que los gases se expandan, incrementando así el volumen del pan, por lo que el incremento de la temperatura aumenta la presión de los gases y por lo tanto causa la expansión de las celdillas.

En cuanto a la densidad de los panes, se observó que el pan elaborado con una concentración de proteína del 1% tuvo una menor densidad lo cual indica que la estructura de la miga alveolar es más compacta de acuerdo a lo mencionado por Barajas *et al.*, (2011).

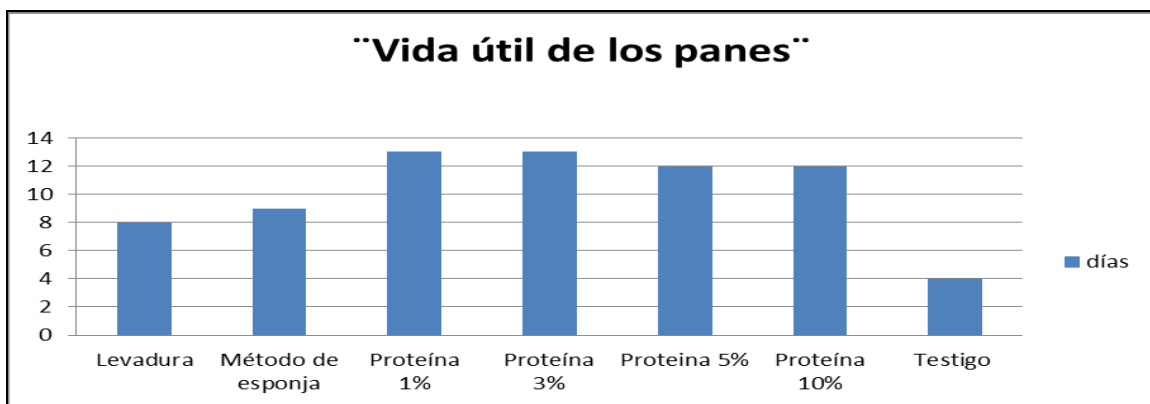
## 5.5 .2 Vida de anaquel

Los efectos de las xilanasas es frenar el envejecimiento rápido del pan. Al mismo tiempo, estas enzimas retienen agua durante la cocción y posteriormente esta agua puede ser suministrada gradualmente al almidón, lo que permite mantener más tiempo el pan fresco y mejorar su calidad, según Steffolani, (2010), se obtienen productos de panadería con mejor textura y sabor. La finalidad de las xilanasas es incrementar el volumen de los panes, esto es sin provocar efectos negativos en cuanto al manejo de la masa y para retardar el endurecimiento y por lo tanto, aumentan la vida útil (Fernández *et al.*, 2013).

En la figura 12 se muestran los días de vida de anaquel de acuerdo los análisis realizados, se observa que la mayor vida útil de 13 días es para los panes con la enzima y la proteína de cebada, al 1 y 3 %. De acuerdo a Ortega *et al.*, (2008), con lo anterior se confirma que las xylanases se adicionan a la masa para mejorar su calidad, obteniéndose productos de panadería con mejor textura, y sabor, el efecto de las xylanases es incrementar el volumen específico de los panes, y el de la proteína de cebada en sus nutrientes es la proteína de cebada.

En el pan de la mezcla de levadura, proteína de cebada (1%) y enzima, transcurrieron 13 días hasta la aparición del crecimiento de hongos.

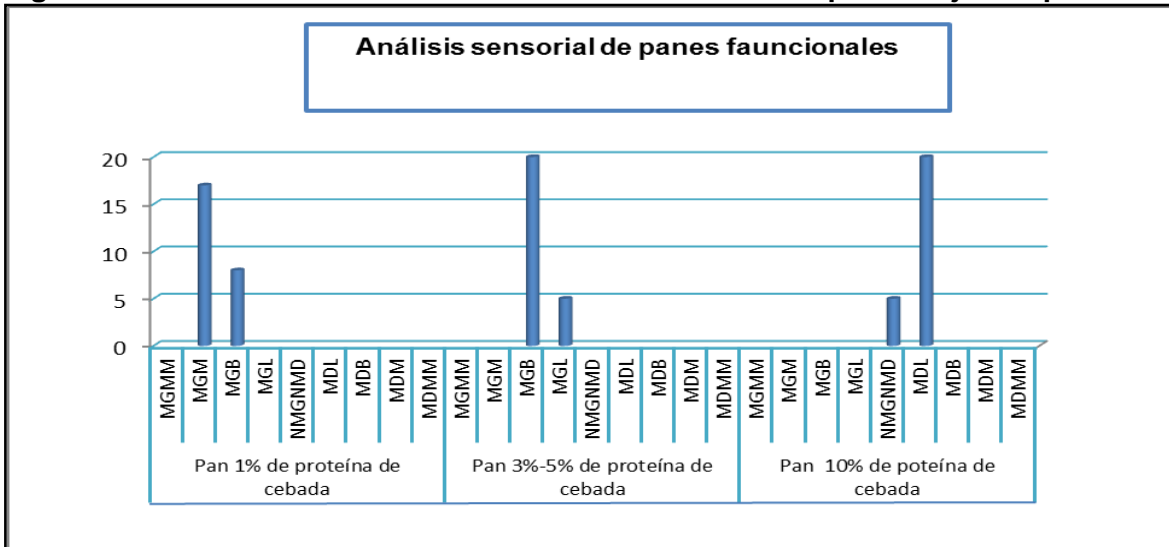
**Figura 12. Monitoreo de la vida útil de los panes**



### 5.5 .3 Análisis sensorial del pan

Mediante la prueba afectiva de grado de satisfacción la cual se realizó con jueces no entrenados se determinó que los panes elaborados en un porcentaje de 1 % en los cuatro porcentajes, fueron de mayor aceptación.

**Figura 13. Resultados de análisis sensoria a los diferentes porcentajes de proteína**



**MGMM:** Me gusta muchísimo, **MGM:** Me gusta mucho, **MGB:** Me gusta bastante, **MGL:** Me gusta ligeramente, **NMGNMD:** Ni me gusta ni me disgusta, **MDL:** Me disgusta ligeramente, **MDB:** Me disgusta bastante, **MDM:** Me disgusta mucho, **MDMM:** Me disgusta muchísimo.

Sin embargo, los panes elaborados con el 3% y 5% también fueron aceptados por los jueces, ya que en cuanto al sabor, indicaron que les gustaba bastante, por lo que resultó agradable para el consumidor. La mayoría optó que los panes elaborados por el método de esponja tenían una mejor textura y sabor agradable, pero los panes que resultaron menos favorecidos fueron los que presentaban el 10% de proteína de cebada, ya que los jueces indicaron un sabor y regusto amargo. El pan elaborado con levadura tuvo una mediana aceptación, a pesar de esto, los jueces indicaron un sabor y textura agradable. Por lo tanto, elaborar pan con proteína de cebada al 1% y xilanasas, haciendo uso de mejoradores, proporcionan panes con características organolépticas aceptables.

## VI Conclusiones y perspectivas

### 6.1 Conclusiones

El grano de trigo obtenido del laboratorio es de buena calidad al tener un porcentaje bajo de impurezas, debido a lo anterior, se trabajó con este grano y se sometió al acondicionado, y posteriormente el proceso de molienda, cumpliendo con las normas alimentarias de calidad.

El rendimiento de molienda fue bueno al obtener un 49.2% de harina de flor larga gracias a un buen acondicionado y tamizado.

En general las harinas tanto de trigo artesanal y comercial, el tamaño de partícula, tuvieron valores aceptables, a un 50% un tamaño de partícula de 60 $\mu$ m para harina comercial, y de 108  $\mu$ m a un 50% para harina artesanal, que se encuentran reportados en la bibliografía para elaborar panes.

Con respecto a la determinación de color de harinas, la harina comercial es más blanca, que la que se obtiene de manera artesanal (del grano de trigo), esto se debe a que la harina comercial es tratada con un compuesto químico para blanquear y la harina artesanal quedaron partículas de salvado es por eso que presento un bajo valor de "L" de 90.12, esto a su vez se relaciona con el contenido de cenizas que es menor el contenido de cenizas de 0.5 porque son harina que obtenidas directamente del endospermo, también con el contenido de (Humedad, y proteína).

En cuanto a la calidad física de las harinas, la harina de trigo artesanal tuvo un valor superior en cuanto al porcentaje de IAA 7.3%, CAAS 73.1% e ISA 2.3%, y con un menor porcentaje en cuanto a el índice de retención de agua alcalina (IRAA) 142.4, esto es indicativo que no tolera la cantidad de sal añadida a la mezcla para la formación de la masa lo que ocurre de manera contraria con la harina comercial.

El análisis proximal para el grano como para la harina de trigo artesanal, a partir de la molienda, dio valores aceptables para el uso en panificación en cuanto al contenido de humedad (11%-13.17% para el grano y la harina respectivamente), proteína (15%-17% para el grano y la harina respectivamente), carbohidratos (80%-83% para el grano y la harina respectivamente), y grasa (2% 2.6% para el grano y la harina respectivamente).

El producto de panificación obtenido con el 1% de proteína de cebada es de mejor calidad que el testigo, ya que se tuvo una mayor uniformidad de sus migas, al tamaño, mejor estructura alveolar, el color volumen adecuado y mayor vida útil anaquel de 13 días. En cuanto al análisis sensorial en la escala de hedónica verbal tuvo valores positivos que son agradables, y alto contenido de proteína elevado y una cantidad importante de ácido glutámico, el cual puede ayudar a disminuir problemas de presión arterial, por todo esto este producto de panificación es adecuado para consumo humano por lo cual la adición del extracto xilanasa y la proteína de cebada pueden ser empleado para elaboración de productos funcionales.

En productos de panificación obtenidos del 3% y 5% no tuvo una uniformidad de migas comparado con panes el testigo, y la levadura en tanto para estos porcentajes no se tuvo una buena estructura alveolar, una larga vida de anaquel 13 y 12 días respectivamente, en cuanto al análisis sensorial tuvieron un grado de aceptación "me gusta mucho".

En cuanto al producto de panificación con un porcentaje de 10% a este porcentaje no hubo una uniformidad de miga, no hubo una buena estructura alveolar, ya que en el amasado no presenta una buena elasticidad en el momento de trabajar la masa, fue de los panes que presento una mayor pérdida de peso y ocasionando que la corteza fuera más dura que las demás, en cuanto al análisis sensorial no tuvo una buena aceptación sensorial de parte de los jueces ya que en la escala hedónica verbal obtuvo valores negativos de "me disgusta bastante" esto es por dejar un resabio a amargo.



## 6.2 PERSPECTIVAS

Al realizar la mezcla de la levadura con enzimas se observó que al adicionar la enzima y fermentar, posteriormente adicionar la levadura y someter a una segunda fermentación, se obtuvieron resultados favorables, en estudios posteriores se podría evaluar el mejor tiempo de fermentación para que las enzimas con la ayuda de la levadura presente mejores resultados.

Se podría lograr utilizar la enzima con harina de centeno, triticale el tipo de harina de estos cereales se obtiene a partir de la molienda del grano de centeno y triticale sin eliminar ninguna fracción, ya que la harina que resulta contendrá mayor cantidad de pentosanas, sobre esta fracción de pentosanas puede actuar con mayor facilidad la enzima y también con el uso de la levadura.

Posteriormente se podría realizar una investigación para evaluar la textura de la masa por medio de un texturometro obtenida de cereales como triticale y centeno, para obtener mejores efectos sobre las migas de panes.

## VII BIBLIOGRAFÍA

Álvarez Cervantes Jorge. (2013). Estudio de la actividad xilanolíticas del hongo patógeno del maíz *Sporisorium reilianum*. Tesis doctoral

Antoine C, Lullien-Pellerin V, Abecassis J, Rouau X. (2010). Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. *Sciences des Aliments*. 22:545-556.

Autio K. (2009). Effects of cell wall components on the functionality. *Biotech Adv*. 24, 633-635.

Arboleda Toledo, V. A., & Caicedo Santana, D. V. (2010). Evaluación del potencial de la molienda experimental en la producción de harina de trigo del molino real y el molino piloto en Molinera Manta.

Aguilar-Zárate, P., Aguilar-Zárate, M., Inungaray, M. L. C., & Rivera, O. M. P. (2012). Importancia de la producción de transglutaminasa microbiana para su aplicación en alimentos. *Revista Científica*, 4(8). Consultado 18 de octubre 2013.

Bernal, L., & Barajas, E. M. (2008). Una nueva visión de la degradación del almidón. *Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle*, 7(25), 77-90. Consultado 7 de octubre 2013.

Brijs K, Ingelbrecht JA, Schlichting L, Marchylo BA, Courtin CM, Delcour JA. (2008). Combined effects of endoxylanases and reduced water levels in pasta production. *Cereal Chem*. 81, 361-368. Consultado 18 de noviembre 2013.

Bonnin E, Saulnier L, Vigouroux J, Dervilly G, Thibault JF. (2009). Potentialities of endogenous peroxidases and feruloyl esterases in wheat for modifications of arabinoxylans. En: 2nd European Symposium on Enzymes in Grain Processing. Simoinen T, Tenkanen M. (Eds.) VTT Symposium 207, Espoo, Finland. pp 81-89. Consultado 5 de noviembre 2013.

Barrera, G. N., Bassi, E., Reyes Martínez, R. J., León, A. E., & Ribotta, P. D. (2012). Efectos de diferentes fracciones de harinas de trigo pan obtenidas con molino industrial sobre la calidad de galletitas dulces. *Agriscientia*, 29(2), 69-79. Consultado 2 de noviembre 2013.

Barajas, E. M., Wong, B. R., Chávez, P. I. T., Machado, D. I. S., & Cervantes, J. L. (2011). Efecto del contenido de proteína, grasa y levadura en las propiedades viscoelásticas de la masa y la calidad de pan tipo francés. *Interciencia*, 36(4), 248-255. Consultado 27 de octubre 2013.

Betini J.H.A., Micheline M., Peixoto S.C., Terenzi H.F., Polizeli M. (2009). Xilanases from, *Apergillus niger*, *Aspergillus niveus* and, *Aspergillus ochraceus* produced under solid-state fermentation and their application in cellulose pulp bleaching. *Bioprocess Biosyst*. 32, 819-824.

Crowley, P., T.J. Schober, C.J. Clarke and E.K. Arendt. (2008). The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat

bread. *European Food Research Technology*, 214: 489-496. Consultado 16 de octubre 2013.

Cortázar Lascano, H. E., & Cáceres, P. J. (2012). Desarrollo de un mejorador con tecnología enzimática para el mejoramiento de textura y volumen en pan de molde en una industria panificadora.

Cabrera Llano, Jorge Luis; Cárdenas Ferrer, Mercedes. (2008). Importancia de la fibra dietética para la nutrición humana. *Revista Cubana de Salud Pública*, Octubre-Diciembre. Consultado 5 de octubre 2013.

Chang C, Zhang HP, Xu, J, Li, WH, Liu GT, You Ms, Li BY. (2009). Identification of allelic variations of puroindoline genes controlling grain hardness in wheat using a modified denaturing. *Crop Sci.* 152: 225-234. Consultado 23 de noviembre 2013.

De la Cruz-González, M. L., Grageda-Cabrera, O. A., Suaste-Franco, M. P., Solís-Moya, E., Ledesma-Ramírez, L., & Báez-Pérez, A. (2013). Efecto de la densidad y método de siembra en el rendimiento de grano de trigo (*Triticum aestivum* L.) en el Bajío, México. *Agrociencia*, 47(2), 159-170.

Dervilly G, Saulnier L, Roger P, Thibault JF. (2009). Isolation of homogeneous fractions from wheat water-soluble arabinoxylans. Influence of the structure on their macromolecular characteristics. *J Agric Food Chem.* 48, 270-278.

De la Horra, A. E., Seghezzo, M. L., Molfese, E., Ribotta, P. D., & León, A. E. (2012). Indicadores de calidad de las harinas de trigo: índice de calidad industrial y su relación con ensayos predictivos. *Agrosiencia*.29 (2), 81-89.

De la O Olán, Micaela; Espitia Rangel, Eduardo; López Sánchez, Higinio; Villaseñor Mir, Héctor E.; Peña Bautista, Roberto J.; Herrera Hernández, Juan. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Sin mes, 271-283. Consultado 6 de noviembre 2013.

De la O Olán, Micaela; Espitia Rangel, Eduardo; Molina Galán, José D.; Peña Bautista, Roberto J.; Santacruz Varela, Amalio; Villaseñor Mir, Héctor E.. (2008). Efecto de diferentes subunidades de Gluteninas-APM sobre la calidad panadera en trigos harineros mexicanos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, octubre - diciembre, 291-297. Consultado 8 de octubre 2013.

Davies G., Hennissat B. (2009). Structures and mechanism of glucosyl hydrolases structure 3, 853-859. Consultado 12 de octubre 2013.

De la O Olán, Micaela; Espitia Rangel, Eduardo; López Sánchez, Higinio; Villaseñor Mir, Héctor E.; Peña Bautista, Roberto J.; Herrera Hernández, Juan. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Sin mes, 271-283. Consultado 12 de octubre 2013.

Espinosa Trujillo, Edgar; Mendoza Castillo, Ma. Del Carmen; Castillo González, Fernando; Ortiz Cereceres, Joaquín; Delgado Alvarado, Adriana; Carrillo Salazar, Alfredo.(2009).Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de trigo pigmentado. Revista Fitotecnia Mexicana, Octubre-Diciembre, 303-309. Consultado 15 de noviembre 2013.

Espitia, Rangel, Eduardo; Peña, Bautista, Roberto J.; Villaseñor, Mir, H. Eduardo; Huerta, Espino, Julio. (2009). Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I. Comparación de variedades y causas de la variación. Revista Fitotecnia Mexicana, octubre-diciembre, 249-256. Consultado 8 de octubre 2013. Consultado 16 de octubre 2013.

Escudero Álvarez, E.; González Sánchez, P. (2009). La fibra dietética. Nutrición Hospitalaria, Mayo-Sin mes, 61-72.

Fernández Islas, F. (2013). Producción de xilanasas por cepas de *Aspergillus niger* en cultivo sólido sobre salvado de avena y salvado de trigo (Doctoral dissertation).

Ferreras Charro, R. (2009). Análisis reológico de las distintas fracciones de harina obtenidas de la molienda del grano de trigo. (Tesis doctoral). 250-256.

Fernández Islas, F. (2012). Producción de xilanasas por cepas de *Aspergillus niger* en cultivo sólido sobre salvado de avena y salvado de trigo (Doctoral dissertation).

Ferreras Charro, R. (2009). Análisis reológico de las distintas fracciones de harina obtenidas de la molienda del grano de trigo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Sin mes, 283-294.consultado 11 de octubre 2013.

Farjas, Abadía, Pilar. (2010). Sobre los alimentos funcionales. Revista Española de Salud Pública, mayo-junio, 313-316. Consultado 23 de noviembre 2013.

Gupta V.K.,Gaur R., Yadava S.K., Darmwal N.S. (2009). Optimization of xylanase production from free and immobilized cells of *Fosarium Solani*. Bio Resources. 4, 932-945. consultado 16 de octubre 2013.

García, M. I. S., Wong, B. R., Chávez, P. I. T., Millan, E. C., Pérez, L. A. B., & Hoyos, J. M. B. (2013). Cambios fisicoquímicos en masa congelada y su efecto en la calidad del pan: una revisión. Interciencia, 38(5), 332-338. Consultado 21 de octubre 2013.

Guttieri, M.J., C. Becker and E.J. Souza. 2009. Application of wheat meal solvent retention capacity tests within soft wheat breeding populations. Cereal Chemistry, 81: 261–266.consultado 14 de noviembre 2013.

Gambarotta, L. (2008). Caracterización de las fracciones de harina de trigo pan. Análisis de las propiedades físico-químicas y reológicas de las fracciones de harina de trigo pan obtenidas en el molino experimental BÜHLER MLU-202.

Giraldo, Giraldo; Montoya-López, Jairo; Germán A.; Lucas-Aguirre, Juan C. (2012). Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico. *Vitae*, Enero-Abril, 417-419. Consultado 12 de noviembre 2013.

Granito, M., Torres, A., & Guerra, M. (2008). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*, 28(7), 372-379. Consultado 12 de octubre 2013.

García, F. E. V., Morales, M. O. R., & Sánchez, D. P. C. (2011). El calcio en el desarrollo de alimentos funcionales. *Revista Lasallista de Investigación*, 8(1), 104-116. Consultado 5 de noviembre 2013.

Hernández Espinosa, N., Posadas Romano, G., Cervantes López, F., González Santoyo, H. I., Santacruz Varela, A., Benítez Riquelme, I. & Peña Bautista, R. J. (2013). Distribución de fracciones de proteína y su contribución a las características de calidad de trigo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(2) 137-145. Consultado 20 de noviembre 2013.

Herrera, Gómez, A.; Canónico, Franco, M.; Ramos, G.. (2008). Mecanismo de desagregación en gránulos de almidón. *Superficies y vacío*, marzo, 10-16. Consultado 17 de octubre 2013.

Indraní D, Rao GV. 2008. Rheological characteristics of wheat flour dough as influenced by ingredients of parotta making. *Journal of Food Engineering*. 79: 100-105. Consultado 3 de octubre 2013.

Jovanovich, G., M.C. Puppo, S.A. Giner and M.C. (2009). Water uptake by dehydrated soy protein isolates: Comparison of equilibrium vapour sorption and water imbibing methods. *Journal of Food Engineering*. 56: 331-338.

Kabesh, M. O., M. F. El-kramany, G. A. Sary, H. M. El-Naggar, and S. H. B. Gehan.(2009).Effects of sowing methods and some bio-organic fertilization treatments on yield and yield components of wheat. *Res. J. Agr. Biol. Sci.* 5: 97-102. Consultado 16 de octubre 2013.

Latham M.C.,(2010).Procesamiento y fortificación de los alimentos. *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. FAO. 18/01/2014. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/006/W0073S/w0073s10.htm>

León, A. E., Rosell, C. M., Gómez Pallarés, M., Brites, C., Haros, M., Trigo, M. J., & Benedito, C.(2008).De tales harinas, tales panes. *Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica*. Consultdo 27 de octubre 2013.

Lucas, J. C., Montoya, J., & Giraldo, G. A. (2012). Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de la viscosidad y la cristalinidad de la pasta. *Vitae*, 19(1), 346-348. Consultado 28 de noviembre 2013.

Laguna Cruaños, L. a. u. r. a. (2013). Reformulación de galletas de masa corta: cambios en reología, textura y propiedades sensoriales. Consultado 15 de 18 de octubre 2013.

Mayorga R., Lino; Gutiérrez N., Angélica; Salgado, Luis M.; Ponce N., Teresa. (2009). Aislamiento de una clona que contiene un gen de xilanasa a partir de una genoteca de *Cellulomonas flavigena*. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. Consultado 25 noviembre 2013.

Montoya-López, Jairo; Giraldo-Giraldo, Germán A.; Lucas-Aguirre, Juan C. (2012). Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de calorimetría diferencial de barrido y análisis termo gravimétrico. *Vitae* 19(2) 318-320. Consultado 13 de noviembre 2013.

Montoya-López, J., Giraldo-Giraldo, G. A. & Lucas-Aguirre, J. C. (2009). Determinación del índice de blancura en harina de trigo comercial. *Vitae*, 19(1) 415-416. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914130>. Consultado 20 de octubre 2013.

Martínez Cruz, Eliel; Espitia Rangel, Eduardo; Villaseñor Mir, Héctor Eduardo; Huerta Espino, Julio; Rodríguez García, Ma. Florencia; Santa Rosa, René Hortelano; Peña Bautista, Roberto Javier. (2011). Efecto de la translocación 1bl.1rs en la calidad del grano y harina de trigo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Marzo-Abril, 207-219. Consultado 13 de noviembre 2013.

Morales, Christian; Nieto, Andrea; Quiroga, Laura; Quicazan, Marta. (2009). Validación del método y determinación de fibra dietética soluble e insoluble en harina de trigo y pan. *Vitae*, Enero-Abril, 340-342. Consultado 24 octubre 2013.

Montoya L., Jairo; Giraldo G., Germán A.; Lucas A., Juan C. (2010). Caracterización física de harina de trigo y pan mediante determinación de la viscosidad y la cristalinidad de la pasta. Consultado 218 de noviembre 2013.

MacRitchie F. (2008) .Wheat proteins. Characterization and role in flour functionality. *Cereal Food World*. 44 188-193. Consultado 26 de noviembre 2013.

Mora Guzmán, A. C. (2012). Evaluación de la calidad de cocción y calidad sensorial de pasta elaborada a partir de mezclas de sémola de trigo y harina de quinua (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín).

Morales, Christian; Nieto, Andrea; Quiroga, Laura; Quicazan, Marta. (2012). Validación del método y determinación de fibra dietética soluble e insoluble en harina de trigo y pan. *Vitae*, Enero-Abril, 340-342.

Mesas, J. M.; Alegre, M. T. (2009). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, diciembre, 307-313. Consultado 15 de noviembre 2013.

Ortega, J. M. A. (2008). La importancia del aire en la creación y modificación de la estructura alveolar del pan. *Molinería y panadería: Revista profesional de panadería y pastelería*, (1107), 74-83. Consultado 25 de noviembre 2013.

Olivera C., Margarita; Ferreyra D., Verónica; Giacomino M. Silvia; Curia C., Ana; Pellegrino G., Néstor; Fournier U., Martín; Apro C., Nicolás. (2012). Desarrollo de barras de cereales nutritivas y efecto del procesado en la calidad proteica. *Revista Chilena de Nutrición*, Septiembre, 18-25. Consultado 18 de octubre 2013.

De la O Olán, Micaela; Espitia Rangel, Eduardo; López Sánchez, Higinio; Villaseñor Mir, Héctor E.; Peña Bautista, Roberto J.; Herrera Hernández, Juan. (2012). Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Sin mes, 271-283.

Olagnero Gabriela, Abad Andrea, Bendersky Silvia, Genevois Carolina, Granzella Laura, Montonati Mara. (2008). Alimentos funcionales: fibra, prebióticos, probióticos y simbióticos. *Revista profesional de nutrición*

Ponzio, N. R. (2011). Calidad panadera de variedades de trigo puras y sus mezclas (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales). Consultado 27 de octubre 2013.

Pulluquitín, Á., & Alexandra, M. (2012). Utilización de mejoradores en la harina de trigo nacional (*Triticum aestivum*) para la elaboración de pan (Doctoral dissertation). Consultado 27 de noviembre 2013.

Payehuanca- Mamani, Irma, Matos-Chamorro, Alfredo. (2012). La formación de la masa, la fermentación y los métodos de proceso en la elaboración del pan. *Interciencia*, 30(3), 123-129. Consultado 19 de octubre 2013.

Pera Zúñiga Diana Marlene. (2010). Evaluación nutrimental del residuo obtenido de la molienda húmeda de cebada. 1-10. Consultado 25 de enero 2014.

Rosell CM. (2008). Vitamin and mineral fortification of bread. En: *Technology of Functional Cereal Products*. Ed B. Hamaker. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, UK. 21: 452-462.

Ritchie S, Swanson SJ, Gilroy S. (2009). Physiology of the aleurone layer and starchy endosperm during grain development and early seedling growth: new insights from cell and molecular biology. *Seed Science Research*. 10: 193-212.

Rodríguez Martínez Ortencia. (2012). Elaborar un producto de panificación mediante el uso de xylanases en diferentes harinas para mejorar la calidad y características del pan. Consultado 18 de diciembre 2013

Rodríguez-Sandoval, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2011). Influence of the partial substitution of wheat flour for quinoa and potato flour on the thermomechanical and breadmaking properties of dough. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 199-207. Consultado 22 de noviembre 2013.

Ronquillo Gutiérrez, H. R. (2012). Estudio del efecto de la adición de la enzima alfa amilasa en un pan elaborado con diferentes tipos de harina de trigo (Doctoral dissertation). Consultado 26 de noviembre 2013.

Ricce, C., Leyva, M., Medina, I., Miranda, J., Saldarriaga, L., Rodríguez, J., & Siche, R. (2013). Uso de residuos agroindustriales de La Libertad en la elaboración de un pan integral. *Agroindustrial Science*, 3(1), 41-46.

Rouau X., Mayek M.L., Moreau D.M. (2009). Effect of enzyme preparation containing pentosanases of bread making quality of flours to changes in Pentosans properties. *J Cereal Sci.* 19, 259-272. Consultado 14 de octubre 2013.

SIAP. (2011). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA. México. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>.

Sarmiento Rubiano, L.A.. (2009). Alimentos funcionales, una nueva alternativa de alimentación. *Orinoquia*. 16-23. Consultado 17 de diciembre 2013..

Soomro, U. A., M. U. Rahman, E. A. Odhano, S. Gul, and A. Tareen. (2009). Effects of sowing method and seed rate on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*). *World J. Agr. Sci.* 5:59-162.

Sandoval, G., Álvarez, M., Paredes, M., & Lascano, A. (2012). Estudio reológico de las mezclas de harinas: trigo (*Triticum vulgare*), cebada (*Hordeum vulgare*) y papas (*Solanum tuberosum*) para la utilización en la elaboración de pan. *Scientia Agropecuaria*, 3(2), 123-131.

Scanlon, M.G., H.D. Sapirstein and D. Fahloul. (2009). Mechanical properties of bread crumb prepared from flours of different dough strength. *Journal of Cereal Science*, 32: 235-243.

Steffolani, M. E. (2010). Efecto de las enzimas pentosanasa, glucosa oxidasa y transglutaminasa en productos de panificación (Facultad de Ciencias Exactas).

Velázquez, (2012). Evaluación de la calidad fisicoquímica y fitosanitarias de trigo (*triticum aestivum*) de temporal de México. Consultado 16 de noviembre 2013.