



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

“Evaluación del efecto de las xilanasas en
productos de panificación elaborados a
partir de harina blanca de trigo”

Presenta.

Santillán Hinojosa Karla Yazmín

Asesores.

Dra. María Angélica Gutiérrez Nava

Dra. Alma Delia Román Gutiérrez



Pachuca de Soto, Hgo., 2010.



QUÍMICA EN ALIMENTOS

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Alimentos I del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.



El presente trabajo de investigación ha participado en el siguiente foro científico:

- Primer Foro Estudiantil “Jóvenes en el desarrollo de la Ciencia UAEH-2009”

DEDICATORIAS



Quiero agradecer en primer lugar a mis papas por ser una fuente de inspiración muy grande para cumplir mis objetivos y lograr mis metas, por su cariño, comprensión y apoyo, también por brindarme todo lo que han podido, por sus enseñanzas y recomendaciones.

****Gracias por todo****

A mi hermano por su apoyo en la traducción e interpretación de algunos artículos, por su paciencia, cariño y enseñanzas.

****Muchas gracias****

A Miguel por su apoyo totalmente incondicional, por estar siempre ahí en los momentos más difíciles, por su inmenso cariño, dedicación y comprensión.

****Mil gracias****



AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Alma Delia Román Gutiérrez, por su gran apoyo en la realización de este proyecto, por su dedicación y consejos que fueron de mucha ayuda.

A la Dra. Angélica Gutiérrez Nava, por su apoyo, paciencia y dedicación en la realización del proyecto.

A todos los profesores que participaron en mi formación profesional, por compartir sus experiencias y conocimientos.

MUCHAS GRACIAS!!

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE TABLAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
RESUMEN	1
SUMARY	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. ANTECEDENTES	4
2.1 Los cereales en la alimentación humana	4
2.2 Trigo	4
2.2.1 Producción de trigo en México	4
2.3 Clasificación del trigo	5
2.3.1 Tipos de trigo	6
2.4 Estructura y composición química del trigo	6
2.4.1 Carbohidratos	9
2.4.1.1 Fibra dietética	14
2.4.2 Proteínas	15
2.4.2.1 Gluten	17
2.4.3 Lípidos	18
2.5 Proceso de molienda	19
2.5.1 Características de los granos destinados para molienda	19
2.5.2 Molienda de trigo	20
2.5.3 Productos de la molienda	21
2.5.4 Etapas de la molienda	23
2.6 Ingredientes y Aditivos	27
2.6.1 Harina	28
2.6.1.1 Tipos de harina de trigo	29
2.6.1.2 Características de las harinas para ser utilizadas en panificación	29
2.6.1.3 Análisis de la harina	30
2.6.1.4 Caracterización y calidad física de las harinas de trigo (Capacidad de absorción)	32
2.6.1.5 Microscopía electrónica de barrido (MEB)	34
2.6.2 Sal	35
2.6.3 Agua	36
2.6.4 Azúcar	36
2.6.5 Levaduras	39
2.6.6 Enzimas	38
2.7 Industria de la panificación	45
2.7.1 Proceso de panificación	46
2.7.1.1 Amasado	47
2.7.1.2 Fermentación	48
2.7.1.3 Horneado	48
2.8 Evaluación de la calidad del pan	50
2.8.1 Análisis del perfil de textura	50
2.8.2 Evaluación del volumen y densidad	51
2.8.3 Evaluación de la impronta	52
III. OBJETIVOS	54

3.1	Objetivo General	54
3.2	Objetivos Específicos	54
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS	55
4.1	Materia Prima	55
4.2	Métodos	55
4.2.1	Muestreo	55
4.2.2	Molienda del grano	55
4.2.3	Análisis proximal de las harinas	56
4.2.4	Calidad física de las harinas	57
4.2.4.1	Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS)	57
4.2.4.2	Capacidad de hidratación (CH)	57
4.2.4.3	Índice de retención de agua alcalina.	57
4.2.4.4	Índice de absorción en agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA).	57
4.2.4.5	Tamaño de partícula	58
4.2.4.6	Determinación de color	58
4.2.5	Caracterización física de las masas	58
4.2.5.1	Microscopia electrónica de barrido (MEB).	58
4.2.6	Elaboración del pan.	58
4.2.7	Evaluación del pan	59
4.2.7.1	Determinación de volumen y densidad del pan	59
4.2.7.2	Evaluación de la impronta	59
4.2.7.3	Capacidad de fermentación	60
4.2.7.4	Pérdida de peso	60
4.2.7.5	Determinación de la vida de anaquel	60
4.2.8	Análisis estadístico	61
V.	RESULTADOS Y DISCUSION	62
5.1	Calidad física del grano	62
5.2	Rendimiento de la molienda	63
5.3	Caracterización fisicoquímica del grano y las harinas de trigo.	65
5.4	Análisis físico de las harinas.	68
5.4.1	Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)	68
5.4.2	Tamaño de partícula	78
5.4.3	Determinación de color	79
5.4.4	Capacidad de absorción de las harinas	80
5.5	Evaluación del pan	82
5.5.1	Absorción de agua a diferentes concentraciones de enzima.	82
5.5.2	Evaluación de la impronta	84
5.5.3	Análisis físicos	88
5.5.4	Vida de anaquel.	90
VI.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	92
6.1	Conclusiones	92
6.2	Perspectivas	94
VII.	BIBLIOGRAFÍA	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
1. Clasificación del trigo en México con base en la funcionalidad del gluten.	5
2. Comparación de la composición química de los trigos.	6
3. Composición del grano de trigo.	9
4. Características de las proteínas del gluten.	16
5. Tamaño de particular de las fracciones de la molienda.	23
6. Principales componentes de la harina de trigo	28
7. Escala hedónica para evaluar la textura y color de la miga	60
8. Análisis físico del grano	62
9. Rendimiento de la molienda	64
10. Análisis proximal del grano de trigo y harinas	65
11. Promedio de tamaño de partícula (μm)	79
12. Valores L, a y b de la harina de trigo y harina comercial	79
13. Análisis de calidad física realizados a la harina de trigo y comercial	80
14. Análisis físicos del pan	88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Estructura del grano.	8
2. Constitución histológica de un grano de cereal.	9
3. Estructura de amilosa y amilopectina.	10
4. Estructura de un xilano.	12
5. Estructura de un arabinoxilano.	13
6. Proceso de molienda del trigo.	26
7. Diagrama de espacios de color (L, a y b).	32
8. Micrografías de los productos de molienda a 2000X.	71
9. Micrografías de harina sémola y salvado a 1000X.	73
10. Micrografías de las fracciones de molienda a 500X.	75
11. Microscopia electrónica de barrido a 100X.	77
12. Absorción de agua por las masas.	84
13. Evaluación de la impronta de panes hechos con harina de trigo con: levadura, royal, testigo y diferentes concentraciones de enzima.	86
14. Evaluación de la impronta con enzima de 10 UI en ambas harinas.	87
15. Evaluación del pan: levadura, royal y levadura - enzima a 10UI.	88
16. Monitoreo de la vida de anaquel de los panes.	91



El pan es un alimento básico que forma parte de la dieta tradicional, no sólo es uno de los alimentos más antiguos que haya sido elaborado por el hombre, sino también es el alimento que más ampliamente se consume. Este se prepara mediante el horneado de una masa elaborada fundamentalmente con harina de trigo, sal y agua. La mezcla a veces suele tener levaduras para que fermente la masa y sea más esponjosa. Para su elaboración se utilizan diversos cereales, el más importante es el trigo, pero también se utilizan otros cereales como el centeno, la cebada, el maíz, el arroz, triticale, etc., dando cada uno de éstos características y sabores diferentes. Existen diversos tipos de aditivos en la industria de panificación, un ejemplo son las enzimas, en este grupo se encuentran las xilanasas específicamente mejoran el volumen del pan, cuál se considera uno de los parámetros más importantes con una estrecha relación con sus características organolépticas, mejoran directamente o indirectamente la fuerza de la red del gluten y por lo tanto, mejora la calidad.

La calidad final del pan está determinada por numerosos factores desde el origen de la harina, es decir de las características del trigo y del proceso de molturación, hasta la formulación del pan, los procesos de mezclado y de fermentación empleados, así como el horneado

En el presente trabajo se evaluaron los efectos de las xilanasas en panes elaborados a partir de harina de trigo. Los resultados obtenidos no mostraron efectividad en la textura y el volumen debido a que no pudieron superar las características obtenidas por el pan elaborado con levadura y harina de trigo. Las xilanasas no pudieron actuar solas sobre los restos de pentosanos que se encuentran en la harina, sin embargo cuando se utilizó una mezcla de levadura con una concentración de xilanasas de 10UI se obtuvieron mejores resultados y características sensorialmente aceptables. Así mismo se observó que la adición de xilanasas en los panes retardaba el desarrollo de microorganismos.

Palabras clave: productos de panificación, trigo, aditivos, enzimas.



Bread is a basic food that is part of the traditional diet, is not only one of the oldest foods that have been developed by man, but the food is also widely consumed. Bread is prepared by baking dough elaborate primarily from wheat flour, salt and water. The mixture sometimes can content yeast to ferment the dough and be spongier. Use for producing various grains, the most important is wheat, but also can be used other grains as rye, barley, corn, rice, triticale, etc., each of them give different characteristics and flavors. In the bakery industry exist different kind of additives for example enzymes in this group are the xylanases these enzymes enhance the volume of bread, because is considered one of the most important parameters that are closely related to their organoleptic characteristics directly or indirectly improve the strength or the gluten network and therefore the quality.

The final quality is determined by many factors from de origin of the flour, it means the wheat grain characteristics and the milling process, until bread formulation, the mixing and fermentation process employed, as well as baking.

In this study were evaluated the effects of xylanases in bread made from wheat flour the results showed no effect on the texture and volume because they could not overcome the characteristics obtained from the bread made with yeast and wheat flour. The xylanases could not act alone on the remains of pentosanoses found in flour, however when using a mixture of yeast with a concentration of 10 IU xylanases gave better results and acceptable sensory characteristics. It also found that the addition of xylanases in bread to retard the growth of microorganisms.

Key words: Bakery products, wheat, additives, enzymes.



Cocinar es el arte de preparar alimentos calentándolos hasta que cambian de sabor, suavidad, apariencia y composición química. La panificación es una forma de cocinar que se efectúa en horno y es el origen de un proceso que es tan antiguo como la misma historia (Desrosier, 1999).

El pan es un alimento básico que forma parte de la dieta tradicional en Europa, Oriente Medio, India y América, se prepara mediante el horneado de una masa elaborada fundamentalmente con harina de trigo, sal y agua. La mezcla a veces suele tener levaduras para que fermente la masa y sea más esponjosa (Collister *et Blake*, 2001, Desrosier, 1999).

Se utilizan diversos cereales para elaborar productos de panificación, el más utilizado es el trigo, pero otros cereales son usados: centeno, cebada, maíz, arroz, triticale, etc, generando características y sabores diferentes (Collister *et Blake*, 2001).

En panificación el uso de aditivos se ha hecho muy común, se definen como sustancias que se añaden directa e intencionalmente a los alimentos con la finalidad de modificar sus características (Desrosier, 1999), algunos ejemplos de estos aditivos son reguladores de pH, gasificantes, leudantes, mejoradores de miga, enzimas, etc. (Collister *et Blake*, 2001).

El grupo de enzimas utilizadas en panificación ha crecido significativamente y mostrado que en la elaboración de pan mejoran la pasta y la calidad que lleva a la flexibilidad de esta, a la estabilidad, al volumen y a la estructura de la miga. (Butt *et al.*, 2007). Específicamente las xilanasas mejoran el volumen (Camacho *et Aguilar*, 2003), mejoran directamente o indirectamente la fuerza de la red del gluten y por lo tanto, mejora la calidad (Butt *et al.*, 2007), por tal motivo se evalúa el efecto de estas enzimas en los productos de panificación.

2.1 LOS CEREALES EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA

Los cereales constituyen la fuente de nutrientes más importante de la humanidad, son un grupo de plantas llamadas gramíneas (*Poaceae*). Se caracterizan porque la semilla y el fruto son el grano de cereal. Los más utilizados en la alimentación humana son el trigo, el arroz y el maíz, aunque también son importantes la cebada, el centeno, la avena y el mijo (Desrosier, 1999).

Contribuyen con el aporte energético (vitaminas, minerales y proteínas) para el organismo. Por esto han sido y seguirán siendo los mayores proveedores de alimento para la raza humana (Robles, 1990, Rico, 2010).

De entre todos los cereales, el trigo es el más utilizado en panificación, debido a sus múltiples propiedades; las variedades más cultivadas son: *Triticum durum* y *T. compactum*. El trigo harinero hexaploide llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo (ISAGRI, 2009)

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) el consumo de los cereales que se ha reportado es de 160 kilogramos por persona al año, esto para un país bien alimentado, un país con deficiencias en la alimentación estará por debajo de los 90 kilogramos. En México el consumo de los cereales es aceptable, ya que aproximadamente es de 132 kilogramos al año por persona (FAO, 2009).

2.2 TRIGO.

2.2.1 Producción de trigo en México.

El trigo es uno de los principales cultivos en el mundo, en México es el segundo cereal más consumido después del maíz (Ochoa et Ortega, 2009). Su importancia radica por la variedad de alimentos que se obtienen a partir de su molienda y por ser parte importante de la dieta de la población (Serna, 2001). Aproximadamente el 95% de la cosecha de trigo de nuestro país, se obtiene durante

II. ANTECEDENTES

el ciclo otoño – invierno. En este ciclo, se siembra de noviembre hasta enero y se trilla a finales de marzo o a principios de junio. Al no alcanzar la temporada de lluvias su cultivo es necesariamente de riego (Ochoa *et Ortega*; 2003).

Según cifras del Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la producción total mexicana de trigo durante los últimos diez años (1999-2008) fue de 32.18 millones de toneladas. Los estados con mayor producción fueron: Sonora, Guanajuato, Baja California, Sinaloa, Michoacán y Jalisco (SAGARPA, 2009).

2.3 CLASIFICACIÓN DEL TRIGO

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

En México encontramos un gran número de variedades que se comercializan actualmente.

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

<i>GRUPO</i>	<i>DENOMINACIÓN</i>	<i>CARACTERÍSTICAS DEL GLUTEN</i>
I	Fuerte	Gluten fuerte y elástico, apto para la industria mecanizada de panificación y mejorador de trigos suaves.
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	Gluten débil o suave pero extensible apto para la industria galletera y la elaboración de tortilla, buñuelos, etc.
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

Fuente: Serna, 2001; ASERCA, 2003.

2.3.1 Tipos de trigo.

La mayoría de las variedades de trigo son de color ámbar y endospermo duro, además carecen de vellosidades. El grano varía de medio a fuerte dependiendo del porcentaje de proteína como se muestra en la tabla 1. Tiene alta concentración de pigmentos amarillos (carotenoides) y baja concentración de lipoxidasa enzima que destruye los pigmentos durante el procesamiento de semolina, disminuyendo así el color amarillo en el producto terminado (Dexter *et al.*, 1997).

En la tabla 2, se observa la composición química del trigo panadero (*T. aestivum*) y del trigo cristalino (*T. durum*). Ambos presentan diferencias sobre todo en lo que respecta al contenido de proteína.

Los trigos cristalinos contienen mayores porcentajes de proteína que los comunes. Esto parece ser el resultado del ambiente en el cual han sido desarrollados; condiciones semiáridas, generalmente producen bajos rendimientos de cosecha (Pomeraz, 1998).

Tabla 2. Comparación de la composición química de los trigos

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%

Fuente: Fabriani *et Lintas*, 1998; Serna 2001, Willians *et al*, 2000

2.4 ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL TRIGO.

La estructura física del grano de trigo puede describirse en tres capas clasificadas de la siguiente manera:

1. Pericarpio, envuelta exterior, epidermis o cutícula, fina y transparente.
2. Germen, contiene el embrión de una futura planta.
3. Endospermo, material de reserva compuesto de gránulos de almidón.

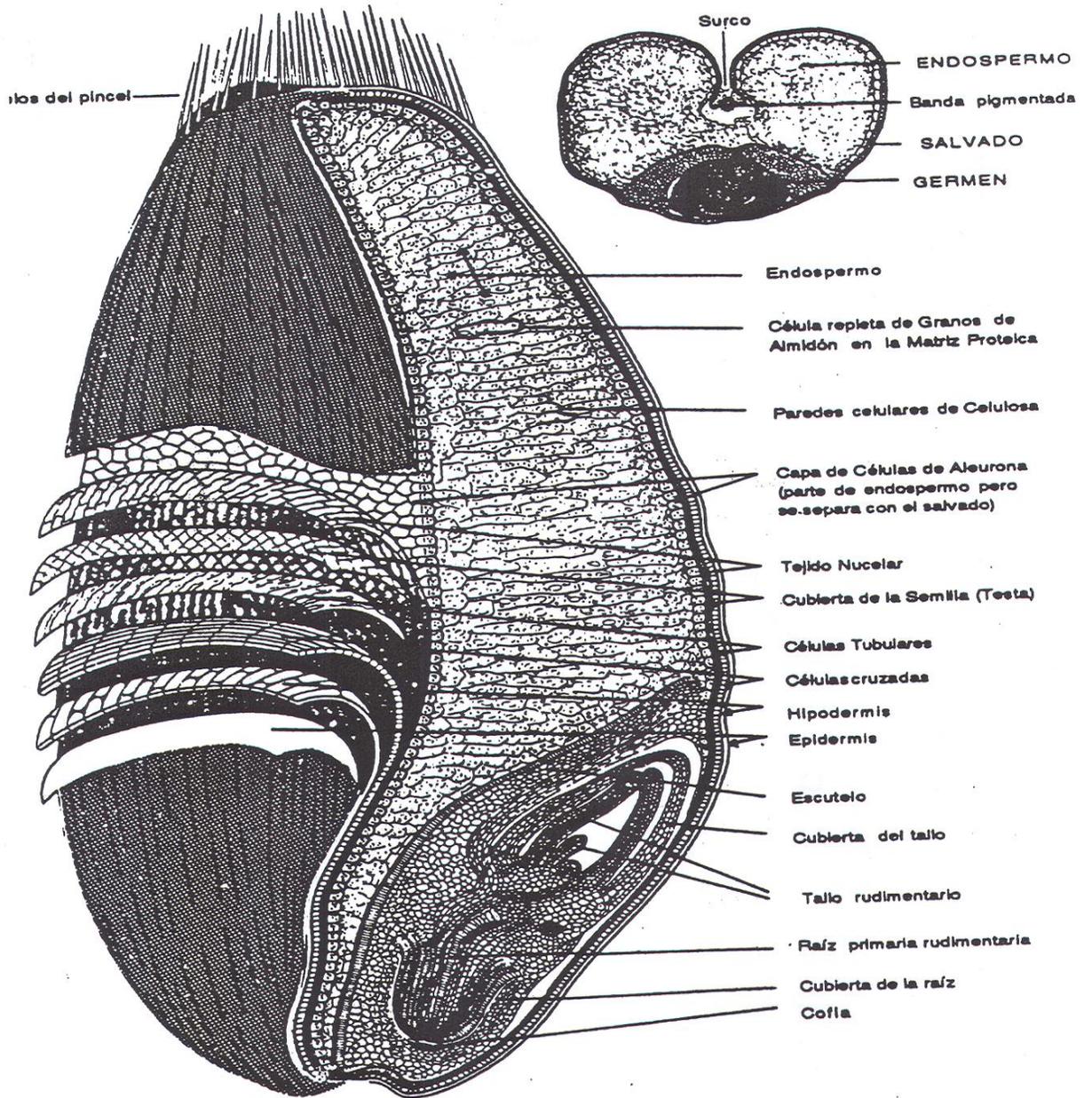
II. ANTECEDENTES

En la figura 1 se muestra la estructura de un grano de trigo, está compuesto por: hidratos de carbono, (fibra cruda, almidón, maltosa, sacarosa, glucosa, melibiosa, pentosanos, galactosa, rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: albúmina, globulina, prolamina, residuo y gluteínas), lípidos (ácidos grasos: mirístico, palmítico, esteárico, palmitoleico, oléico, linoléico, linolénico), sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua junto con pequeñas cantidades de vitaminas (inositol, colina y del complejo B), enzimas (B-amilasa, celulasa, glucosidasas) y otras sustancias como pigmentos (Gambarotta, 2005).

La cariopside, madura de los cereales como se muestra en la figura 2, está compuesta por carbohidratos, compuestos nitrogenados, lípidos, vitaminas y sales minerales. Es un grano clasificado como alimento almidonoso, puesto que contiene más del 60% de almidón. Éste es una excelente fuente de energía ya que se digiere totalmente en el sistema digestivo humano, en la tabla 3, se muestran los porcentajes en los que están presentes cada uno de los componentes del grano (Owen, 2001)

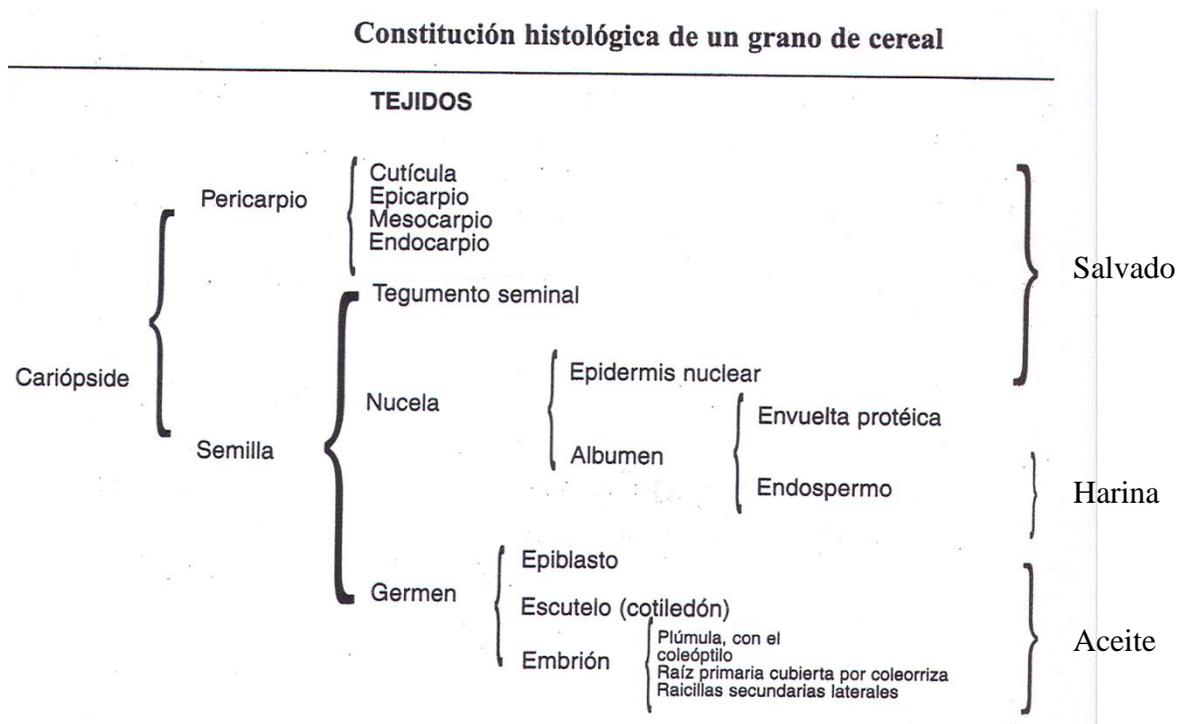
El endospermo se encuentra subdividido en el grano en pequeñas células, cuya pared celular se compone de complejas mezclas de moléculas de cadena larga compuestas sobre todo por restos de xilosa (Cauvain *et* Young, 1998).

Figura 1. Estructura del grano de trigo.



Fuente: Khan et Shewry, 2009

Figura 2. Constitución histológica de un grano de cereal



Fuente: Serna, 2001

Tabla 3. Composición del grano de trigo.

Componentes (%)	Trigo
Humedad	12.0 - 14.0
Carbohidratos	75.2 - 82.1
Proteína	11.5 - 17.0
Grasa	1.8 - 2.8
Fibra	2.8 - 3.0
Ceniza	1.8 - 2.1

Fuente: Serna, 2001.

2.4.1 Carbohidratos.

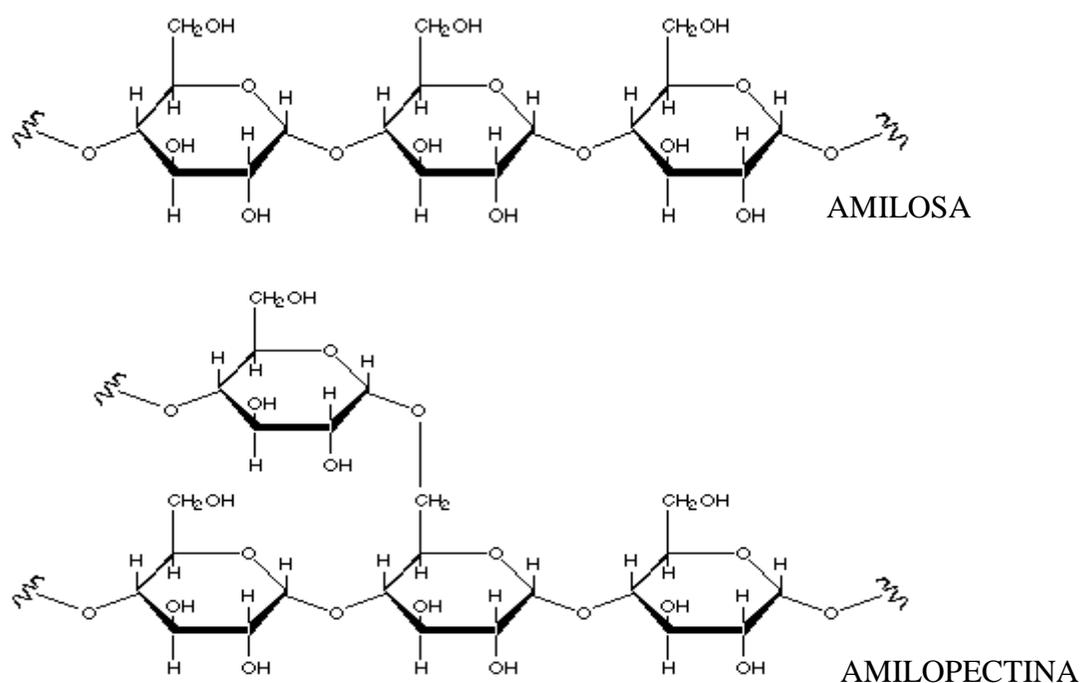
En las plantas los carbohidratos representan la mayor reserva de energía. Los carbohidratos simples son inmediatamente utilizados para energía por medio de las vías metabólicas y los carbohidratos complejos son reservados para posteriores requerimientos metabólicos. Otra de las funciones de los carbohidratos es el mantenimiento de los tejidos estructurales.- los hidratos de carbono comprenden

II. ANTECEDENTES

varios constituyentes, como son los almidones, azúcares, celulosas, hemicelulosas y/o pentosanos (Serna, 2001).

Aproximadamente el 80% del grano está compuesto por carbohidratos (extracto libre nitrogenado + fibra cruda). Únicamente del 3 – 5% de estos carbohidratos son estructurales, conformado por la fracción fibrosa. El resto es material de reserva constituido principalmente por el almidón. El almidón se almacena en gránulos dentro de las células del endospermo. Las moléculas del almidón son polímeros de glucosa unidos por enlaces glucosídicos alfa 1-4 y 1-6, está conformado por moléculas de amilosa y amilopectina (fig 3).

Figura 3. Estructura de amilosa y amilopectina



Fuente: Serna, 2001

II. ANTECEDENTES

Los polisacáridos no amiláceos incluyen todos los componentes del grano unidos mediante enlaces β -glucosídicos. Incluyen celulosa, β -glucanos, hemicelulosas y gluco y galactomananos. Las glicoproteínas son similares a las pentosanas porque poseen una larga fracción polisacáridica pero solo una relativamente fracción proteica (Callejo, 2000).

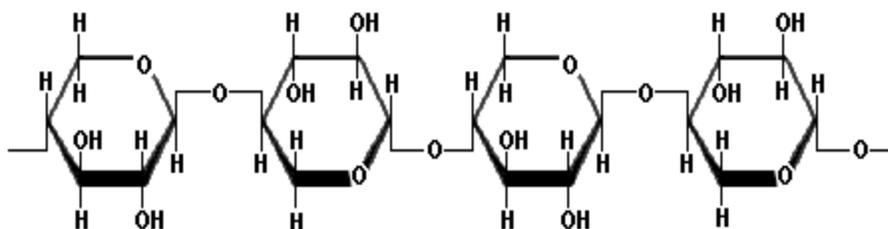
Los polisacáridos distintos del almidón representan solo el 2 – 2.5% de la harina, pero tienen una influencia desproporcionada en las propiedades de la masa a veces se les denominan hemicelulosas porque constituyen una parte de los materiales de la pared celular (de la cual forman parte junto con la celulosa) en las semillas, siendo elaborados por la planta cuando se sintetiza y madura el grano del trigo. Con mayor frecuencia se emplea la denominación de pentosanos, porque aproximadamente el 80% de los azúcares presentes son las pentosas D- xilosa y D-arabinosa (Michniewicz *et al.*, 1990).

Las hemicelulosas son heteropolisacáridos de alta masa molar, que se encuentran constituidos por diferentes unidades de monosacáridos: pentosas, hexosas y ácidos urónicos, enlazados entre sí por enlaces glicosídicos, formando estructuras ramificadas y en general amorfas (Basaure, 2005).

Se denomina pentosanos a un grupo heterogéneo de macromoléculas, donde el esqueleto estructural que predomina es una xilana (fig. 4), formada por unidades de D-xilosa unidas por enlaces β -1,4. A esta cadena se unen otros azúcares por enlaces α -1,3; el azúcar predominante en las cadenas laterales es la arabinosa, pero también se encuentran pequeñas cantidades de glucosa, fructosa y manosa. En la fracción hidrosoluble, además de las xilanas, también está presente una cantidad significativa de arabinogalactano, en la figura 5, se muestra la estructura de un arabinogalactano (una cadena de poligalactosa con cadenas laterales de arabinosa) (Cauvain *et Young*, 1998).

Las hemicelulosas forman aproximadamente una tercera parte de los carbohidratos en las partes maderosas de las plantas. La estructura química de las hemicelulosas consiste de cadenas largas con una gran variedad de pentosas, hexosas, y sus correspondientes ácidos úronicos. Las hemicelulosas se encuentran en frutas, tallos de plantas, y las cáscaras de granos. 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 $1\beta\rightarrow4$ (Roubroeks *et al.*, 2001).

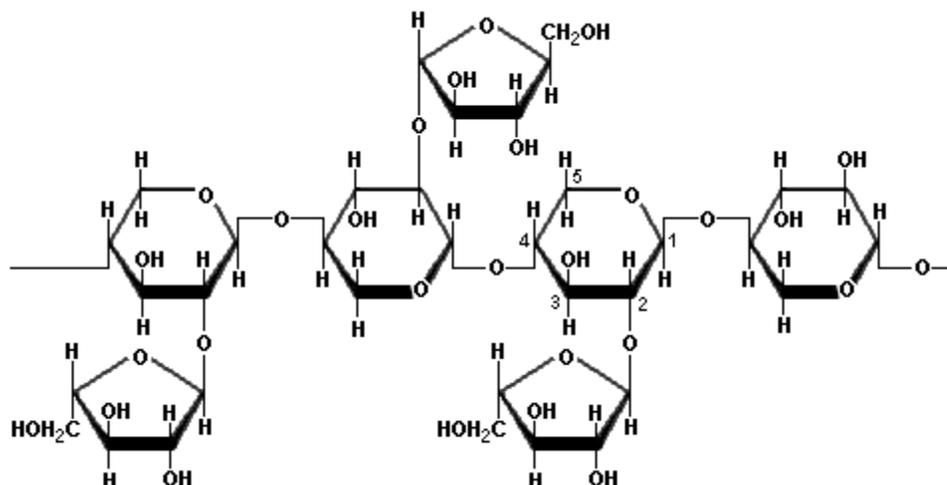
Figura 4. Estructura de un xilano



Fuente: modificado de Khan *et Shewry*, 2009

Los arabinoxilanos son polisacáridos que se encuentran en el salvado (la cubierta exterior de granos) como el trigo, el centeno, y la cebada. Los arabinoxilanos tienen un esqueleto químico de xilana con unidades de L-arabinofuranosa (L-arabinosa en su estructura pentagonal) distribuidas al azar con enlaces $1\alpha\rightarrow2$ y $1\alpha\rightarrow3$ a lo largo de la cadena de xilosas. Las xilosas y la arabinosa son ambas pentosas, por eso los arabinoxilanos (fig. 5) también se clasifican como pentosanos. Los arabinoxilanos son de importancia en la panadería. Las unidades de arabinosa producen compuestos viscosos con el agua que afectan la consistencia de la masa, la retención de burbujas de la fermentación en las películas de gluten y almidón, y la textura final de los productos horneados (Roubroeks *et al.*, 2001).

Figura 5. Estructura de un arabinoxilano



Fuente: modificado de Khan *et Shewry*, 2009

Los pentosanos son considerados gomas, por tener la capacidad de absorber agua y formar soluciones muy viscosas (Michniewicz *et al.*, 1990, Cauvain *et Young*, 1998).

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 viscoelastico de la masa (Cauvain *et Young*, 1998).

El contenido en pentosanos de la harina blanca de trigo se cifra en un 2.3%. Se encuentran presentes en las paredes celulares de las células del endospermo. Constituidas fundamentalmente por arabinoxilanos y arabinogalactanos, llevan una pequeña proporción de ácido ferúlico asociado a los arabinoxilanos (Calaveras, 1996). El significado de los pentosanos en la estructura de la masa es evidente si se examina la distribución del agua en la masa de pan. A pesar de que sólo representan el 2% del peso total de la harina, los pentosanos se asocian con aproximadamente, el 23% del agua de la masa, estas sustancias son captan en torno a diez veces su peso en agua, los pentosanos solubles mejoran el comportamiento del pan mientras que los insolubles lo perjudican (Cauvain *et Young*, 1998).

Efectos positivos de las pentosanas solubles que se ejercen a través de sus 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 pentosanos 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) tienen también un efecto positivo en la capacidad del pan de mantenerse fresco durante el almacenamiento (Callejo, 2002).

Las hemicelulosas y pentosanas forman las paredes celulares y el material de unión que mantienen juntas las células. Los azúcares, frecuentemente citados como componentes de la hemicelulosa en los cereales incluyen D. xilosa, L- arabinosa, D- galactosa, D- glucosa, ácido D-glucorónico, etc. (Callejo, 2002).

2.4.1.1 Fibra dietética.

La fibra dietética es aquella que está constituida por residuos de algunas células de plantas comestibles, polisacáridos, lignina y otras sustancias asociadas, que son resistentes a la digestión (hidrólisis) por las enzimas del tracto digestivo (Badui, 1996).

La fibra se clasifica en soluble e insoluble. La fracción insoluble está formada básicamente por celulosa y hemicelulosa. Estas entidades se localizan principalmente en las envolturas del grano y en el pericarpio. La celulosa está compuesta por polímeros lineales de glucosa unidos por enlaces β -1,4, la hemicelulosa es un polímero ramificado de diversos azúcares (xilosa, arabinosa, galactosa, ácido glucónico y glucosa). El peso molecular y la solubilidad en agua son muy variados (Serna, 2001).

La fibra dietética soluble se conforma por β -glucanos y pentosanas que tienen la propiedad de ligar agua, por lo que se les denomina comúnmente gomas. La fibra dietética soluble se localiza en las paredes celulares, se asocia con compuestos fluorescentes (López, 2005).

La solubilidad en agua depende del 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 (López, 2005).

Las variaciones geográficas y la falta de humedad durante la etapa de maduración del grano dan lugar a la concentración de estos componentes fibrosos. Estos compuestos son parcialmente solubles en agua e incrementan la viscosidad del contenido digestivo, lo que se supone un descenso de la ingestión y dificulta absorción de los demás nutrientes (Dend *et* Dobraszcyk, 2003).

2.4.2 Proteínas.

El gluten es una proteína que se encuentra en la semilla de trigo combinada con almidón. Representa un 80% de las proteínas y está compuesta de gliadina y glutenina, en la tabla 4, se muestran las características de éstas proteínas del gluten, éstas son responsables de la elasticidad de la masa de harina, lo que permite su fermentación, así como la consistencia elástica y esponjosa de los panes y masas horneadas. Así mismo son responsables de que los gases de la fermentación se queden retenidos en el interior de la masa, haciendo que esta suba en el proceso de horneado. Ésta característica de la harina de trigo no se encuentra en otros granos de cereal y permite la fabricación del pan blanco suave (Desrosier, 1999).

Tabla 4. Características de las proteínas del gluten.

<i>Prolaminas</i>	<i>Glutelinas</i>
(Gliadinas)	(Gluteninas)
Solubles en soluciones alcohólicas (70%)	Solubles en soluciones diluidas de ácidos y álcalis
Peso molecular promedio 40000	Peso molecular promedio de 100000 a varios millones
Constituidas por cadenas simples	Constituidas por cadenas ramificadas
Extremadamente pegajosas cuando están hidratadas	No coherente
Muy extensibles	Muy elásticas y tenaces
Responsables de la coherencia de la Masa	Responsables de la resistencia a la extensión.

Fuente: Hoseney, 1991

Inicialmente, la proteína existe en la masa en una condición semejante a la de un resorte, lo cual le proporciona un comportamiento elástico. Las uniones entre las cadenas no son igualmente fuertes en todos los puntos, de tal manera que, cuando la masa se trabaja o se mezcla, algunas de las uniones se rompen mientras que otras permanecen intactas. Este lento pero constante ajuste que ocurre dentro de la masa durante el mezclado, se efectúa con la presencia de almidón y de otros materiales presentes en la masa. La pasta de agua- almidón, la sal, azúcar, aceite, los emulsificantes, las enzimas, etc., tienen influencia en la estructura de la masa y le aportan las características físicas distintivas (Desrosier, 1999).

Cuando la harina se mezcla primeramente con agua, se encuentra que la proteína presente existe en una proporción al azar. A medida que ocurre el mezclado, las cadenas de proteína se orientan en una posición paralela. Cuando se

alcanza esta condición, la masa cambia de apariencia; y toma esa característica de suavidad de una masa que ha sido mezclada en forma adecuada; además, la proteína en ese momento ha alcanzado la elasticidad máxima. Prolongar el mezclado más allá de este punto causa un mayor rompimiento de las uniones moleculares y la masa se hace más suave y de carácter adherente (Desrosier, 1999).

Después de la cocción, las proteínas que se encuentran presentes en el gluten son las encargadas de otorgarle al pan características específicas y responsables de que el pan no se desinfe una vez cocido. (Gambarotta, 2005, Angioloni *et al.*, 2005). De acuerdo a la composición cualitativa y cuantitativa de proteína de acuerdo al cereal que se va a utilizar se pueden observar diferencias en la calidad del pan. (Angioloni *et al.*, 2005).

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 (Desrosier *et Norman*, 1999)

2.4.2.1 Gluten.

El gluten de trigo se encuentra entre los gránulos de almidón. Es el material pétreo o vítreo cuando está seco, pero la adición de una cantidad moderada de agua permite que se produzcan cambios en su naturaleza física y química; es una glucoproteína amorfa que se encuentra en la semilla de muchos cereales combinada con almidón. Representa un 80% de las proteínas del trigo y está compuesta de gliadina y glutenina (Liu *et al.*, 1996).

El gluten se transforma en un material gomoso y elástico que adquiere la capacidad de formar cadenas y láminas mediante el establecimiento de puentes intermoleculares (Liu *et al.*, 1996).

Estas propiedades son fundamentales para su papel como matriz continua que atrapa y encapsula al almidón en las masas y mantiene la forma del producto durante su elaboración y cocción. Al calentar el gluten hidratado se forman enlaces cruzados proteína – proteína irreversibles que, cuando se controlan adecuadamente, estabilizan la estructura y la textura comestible final (Feillet *et Dexter*, 1996).

-Papel del gluten en panificación

- Absorción de agua durante el amasado.
- Transmite propiedades físicas a la masa: extensibilidad y elasticidad.
- Es responsable del volumen del pan.
- Es responsable, junto con el almidón, de la textura de la miga.

2.4.3 Lípidos

Los lípidos son poco representativos en los granos, ya que constituyen hasta un 3% de su 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 (Serna, 2001).

En el grano de trigo los lípidos representan del 2 a un 3%, siendo unos de los compuestos minoritarios, se encuentran en el germen principalmente, el lípido predominante es el linoléico, el cual es esencial, seguido del oleico y del palmítico.

La porción lipídica se encuentra de manera más abundante en el germen de trigo (Feillet, 2000).

2.5 PROCESO DE MOLIENDA

El objetivo de la molienda es facilitar el consumo directo de los cereales, separando las partes del grano. Generalmente implica la eliminación del salvado o cubierta de las semillas que está formado el pericarpio, epidermis y capa aleurona, además de eliminar el germen, que por ser rico en aceites hace al producto más susceptible de enranciamiento (Camacho *et al.*, 2001).

2.5.1 Características de los granos destinados para molienda.

Vitrosidad. El grano es vítreo cuando la estructura de su almendra tiene aspecto translúcido. Lo opuesto es un grano farinoso, de aspecto opaco debido a la porosidad de su almendra

Dureza. La dureza física de los granos se define como la resistencia al aplastamiento, a la fragmentación, a la reducción. Es una propiedad mecánica. La dureza del grano de trigo condiciona su comportamiento durante la molienda. Es más fácil producir una harina rica en almidón dañado con trigos duros, vítreos. El daño del almidón, es tanto, proporcional a la dureza. En cualquier caso, la tasa de almidón dañado en harinas para panificación no debe ser superior al 8% (Callejo, 2002).

Humedad. El contenido de humedad del trigo es importante tanto para el agricultor como para el molinero, puesto que el trigo tiene que almacenarse antes de su empleo durante periodos de hasta 12 meses y, por tanto, debe ser lo suficientemente bajo para evitar la alteración. Como regla general no debería de exceder el 15%, pero si se pretende emplear el trigo en un periodo de tiempo relativamente corto, entonces se podrían aceptar cifras ligeramente superiores (Cauvain *et Young*, 2002).

2.5.2 Molienda del trigo

El salvado y el germen son ricos en proteínas, vitaminas, minerales y grasas, en tanto que el producto de la molienda es más pobre en esos componentes; es decir, que como resultado de la molienda, el grano mejora sus características sensoriales, se facilita el consumo y se diversifican los productos derivados, pero pierde valor nutritivo (Camacho *et al.*, 2001).

La molienda es específica para cada tipo de cereal y existen diferentes procesos de molienda para obtener diversos productos. En algunos casos, los cereales se muelen en húmedo tratando de conseguir la separación del salvado y el germen, y de fraccionar el endospermo en almidón y proteína. La industria molinera de trigo es una de las más importantes en el campo de los alimentos (Camacho *et al.*, 2001).

El proceso inicia con las dos operaciones de acondicionamiento 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 que el 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. 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 y roya (Feillet, 2000).

Para el ajuste de humedad, que también se llama temperado, se agrega al grano el agua que le falte para alcanzar la humedad requerida en la molienda. Además de añadir agua, debe darse un tiempo de reposo para que la humedad se distribuya uniformemente, y penetre en el grano, con lo cual (Feillet, 2000)

- El salvado se hace coriáceo y se evita que se fragmente durante la molturación; así es más fácil retirarlo y no se mezcla con la harina.
- El endospermo se suaviza para que se fragmente de manera más eficiente en el proceso.

El reposo requerido depende del contenido de proteína y de la dureza del grano y va de 6 horas para los suaves a 24 o más para los granos vítreos. El trigo se lleva a un contenido de humedad de 15 a 16% para la molienda. La difusión del agua en el grano se facilita con la temperatura por lo cual en los procesos industriales se emplean tratamientos de 40 a 45°C, este es un punto importante de control, ya que las temperaturas mayores causan desnaturalización de las proteínas, principalmente de las que constituyen el gluten, con la consecuente pérdida de propiedades funcionales (Camacho *et al.*, 2001).

En el trigo como en casi todos los granos con surcos, cuando se produce harina, la molienda se hace en seco, con molinos de rodillos que giran a velocidades diferentes: generalmente uno de ellos gira 2.5 veces más rápido que el otro, lo cual tiene un efecto de corte, además del efecto de compresión entre los rodillos. Después de cada molino se hace un tamizado con purificación ó separación de partículas por tamaño mediante corrientes de aire, para enviar los fragmentos al molino adecuado. Todas estas fracciones medianas de endospermo se denominan “medianos” (Camacho *et al.*, 2001).

2.5.3 Productos de molienda

El producto principal obtenido de la molienda es la harina y está formada por varias fracciones:

II. ANTECEDENTES

- Harina de grado directo, es la harina blanca, estándar que es el conjunto de las fracciones de harina obtenidas en el proceso. Representa entre 70 y 74% del total de productos y está constituida por 2 fracciones:
 - Harina de flor o de patente, es la fracción que se obtiene al inicio del sistema de reducción. Se caracteriza por el menos contenido de salvado y germen. A su vez está formada por las de patente larga y corta; la de patente corta tiene aún menos salvado y la fracción entre esta y el total de harina flor es la harina “límite”. La harina flor representa como el 65% del total de productos, la de patente corta es como el 45% y la harina límite alrededor de 20%.
 - Harina “clara”, es la que viene de las colas del sistema de fragmentación y generalmente es de color oscuro por su alto contenido de salvado y por lo tanto, de minerales. Esta fracción es como 7% del total de productos (Camacho *et al.*, 2001).

Otros productos de la molienda son:

- **Salvado.** Es el resultado del descascarillado, que es la separación de los gruesos de mayor tamaño, el salvado se separa 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. (Cauvain *et Young*, 1998)

La granulometría del producto final depende del tipo de harina y de uso 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 , es decir que pase la malla no. 80 (Camacho *et al.*, 2001).

En la tabla 5. Se muestran los tamaños de partícula de los productos de molienda (fracciones).

Tabla 5. Tamaño de Partícula de las fracciones de la molienda.

<i>Producto</i>	<i>Tamaño</i>
Harina	20 - 200 μm
Semolina	150 - 500 μm
Sémola	0.5- 1 mm
Salvado	1 - 5 mm

Fuente: Feillet, 2000

En el proceso industrial, la harina se somete después a operaciones como blanqueado, secado, aglomerado y enriquecimiento que recientemente es obligatorio en México, y en el cual se adicionan tiamina, niacina, riboflavina y hierro que se perdieron al eliminar el salvado y el germen. Finalmente se empaqueta para diferentes usos (Cauvain *et Young*, 1998).

2.5.4 Etapas de la molienda

El proceso de molienda es el más importante de la fabricación de harinas. La molienda de cereales se puede resumir en 2 etapas (Callejo, 2002). En la figura 6, se muestra el proceso completo de la molienda.

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

El proceso de molienda, se puede dividir en 4 sistemas:

- Trituración, separa el endospermo del salvado y germen.
- Desagregación, rompe grandes trozos de endospermo.
- Compresión (reducción), reduce pequeños fragmentos de endospermo a harina.

- Colas, separa la fibra del endospermo recuperado de los 3 sistemas (Callejo, 2002).

Trituración.

Consiste en pasar el trigo por una sucesión de cilindros estriados para abrir el grano de trigo y separar germen y endospermo del salvado, obteniendo la máxima granulometría en las sémolas y la mínima cantidad de harina y sémolas finas. Separando después de cada molienda los productos desprendidos por medio de cernedores extractores.

La molturación del grano en los cilindros estriados se realiza por dislaceración, que consiste en el efecto combinado de esfuerzos normales (compresión) y tangenciales (cizalladura), provocando la rotura del grano por abrasión (Callejo, 2002, Feillet, 2000).

Después de cada paso de molienda, un tamiz clasifica el material para el siguiente paso: otra molienda, purificación, etc.

Se separan 3 clases de material:

- Fragmentos gruesos, van a la siguiente trituración, hasta que solo quede salvado.
- Partículas de granulometría intermedia.
- Harina o partículas finas que van a un tamiz más fino

Es fundamental la clasificación en cada pasada de la trituración, para un ajuste óptimo.

Extracción.

La extracción se realiza en tamices tras la trituración, desagregación y compresión, separando del producto fino las partículas gruesas o inacabadas que salen por la cola (Desrosier, 1999).

El orden de los tamices es según el número de malla, de paso decreciente de arriba hacia abajo. Cada tamiz consta de una malla y una bandeja recolectora del producto cernido.

Purificación.

El objeto es separar las partículas de endospermo con salvado y germen adherido, originados durante la trituración, en 3 fracciones (Hoseney, 1998):

- Endospermo puro: Pasa a compresión.
- Endospermo con salvado adherido: pasa a trituración.
- Partículas de salvado.

Se pueden distinguir 3 secciones de purificación:

- 1.- Purificación primaria, para productos de la trituración.
- 2.- Purificación secundaria, para los productos procedentes de desagregación.
- 3.- Purificación de repaso, para los productos de los anteriores (Calaveras, 1996).

Desagregación

Consiste en hacer pasar los gránulos se sémolas puras y gruesas, ya purificadas en el tamiz, por cilindros finamente estriados.

El objetivo principal es fragmentar agregados de endospermo, dando lugar a sémolas de tamaño adecuado para su conversión en harina en los cilindros de compresión y obtención de una fracción de harina tras la clasificación de tamices (Hoseney, 1998; Calaveras, 1996).

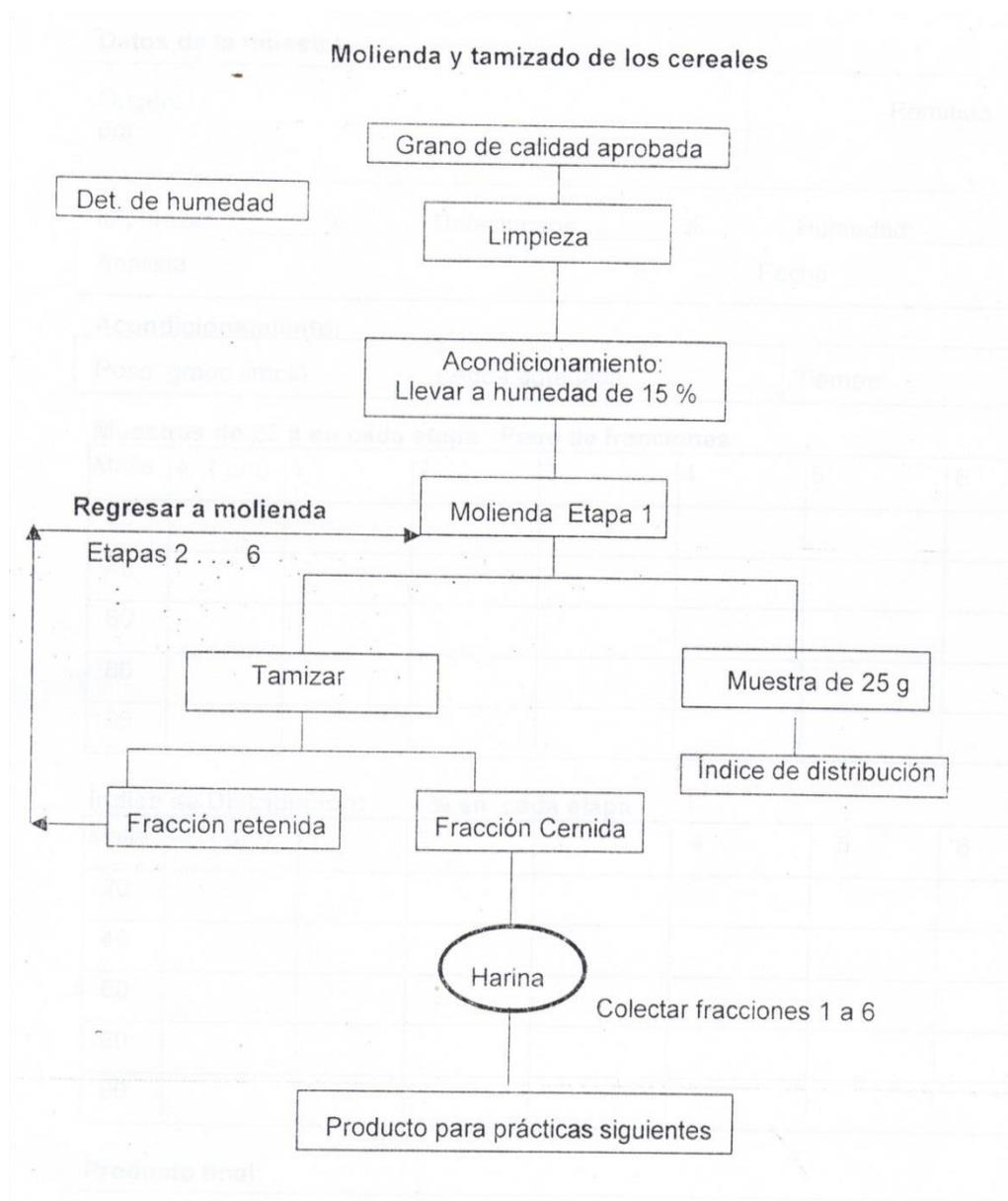
Compresión

El objetivo es reducir las sémolas y semolinas ya limpias y debidamente clasificadas por tamaños a harinas. Esto se consigue mediante un gradual sistema

II. ANTECEDENTES

de compresión que controle el daño del almidón y minimice la suma de partículas de salvado que pasan por el tamiz a la harina.

Figura 6 .Proceso de molienda de trigo



Fuente: Camacho *et al.*, 2001

2.6 INGREDIENTES FUNCIONALES Y ADITIVOS DEL PAN

La masa panaria más básica para obtener un producto de panadería necesita contener, como mínimo, los siguientes ingredientes: harina, agua, levadura y sal. Los panaderos siempre han añadido cantidades pequeñas de ingredientes extra para mejorar el comportamiento de la masa durante su procesado o la calidad del pan una vez elaborado. En panificación el uso de aditivos se ha hecho muy común, se definen como sustancias que se añaden directa e intencionalmente a los alimentos con la finalidad de modificar sus características, técnicas de elaboración, conservación y/o para mejorar su adaptación al uso que se destinen; se caracterizan por utilizarse en bajos niveles de concentración y se pueden clasificar según su funcionalidad. Se han denominado: nutrientes de levaduras, mejoradores de la harina y, en la actualidad enzimas (Cauvain *et* Young, 1998, Buitrón, 2006).

Existen diversos aditivos para mejorar la apariencia del pan, modificar algunas propiedades, mejorar sabor, etc. Algunos ejemplos de estos aditivos son:

- Reguladores de pH: son los productos acidulantes, alcalinizantes y neutralizantes que se añaden en conjunto con sus respectivas sales con la finalidad de controlar su acidez, neutralidad o alcalinidad. En panificación, aquellos reguladores de pH ácidos, son utilizados para disminuir el pH del sistema y de esta manera inhibir el crecimiento de la bacteria *Bacillus subtilis*, la cual es la causante de panes filamentosos.
- Gasificantes: Son aquellos productos que se usan como sustitutos de levadura para la producción de dióxido de carbono (CO₂), para incrementar el volumen de la pieza de pan antes de terminada la cocción y básicamente contienen un compuesto ácido y otro alcalino. Se les conoce mejor como polvos de hornear,

existen varios tipos en el mercado dependiendo de la etapa del proceso en el cual se quiera obtener la mayor cantidad de CO₂.

- Leudantes y mejoradores de miga. Son los productos que ayudan mejorar las características del pan como levaduras y enzimas (Buitrón, 2006).

2.6.1 Harina

La harina de trigo es el principal ingrediente para la elaboración de pan, sus componentes son: almidón (70 – 75 %), agua (14 %) y proteínas (10 - 12 %), además de polisacáridos no del almidón (2 - 3%) particularmente arabinoxilanos y lípidos (2%). La tabla 6 presenta los porcentajes de los principales componentes de la harina de trigo (De la Vega, 2009).

Tabla 6. Principales componentes de la harina de trigo.

<i>COMPONENTE</i>	<i>PORCENTAJE</i>
Almidón	70 – 75
Proteínas	10-12
Fibra	2- 3
Lípidos	2

Fuente: (De la vega, 2009).

La harina se obtiene del endospermo. En ocasiones interesa desgerminar el grano antes de proceder a su molturación, para evitar así que los aceites y enzimas contenidos en el embrión pasen a la harina. (Falder, 2002).

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:

- Amilosa (25 –27%), un polímero esencialmente lineal de alfa-(1 - 4) glucosa.

- Amilopectina, una estructura ramificada al azar por cadenas alfa-(1 – 4) glucosa unidas por ramificaciones alfa-(1 - 6)

2.6.1.1 Tipos de harina de trigo.

- **Harina de trigo integral:** es una harina oscura que se obtiene de la molienda del grano de trigo con todas sus envolturas celulósicas. Según el grado de molienda se admiten 3 tipos: grueso, 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.
- **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 (Petryk, 2009).

2.6.1.2 Características de las harinas para ser usadas en panificación

-Humedad. El contenido en agua de las harinas al final de la molienda deberá variar entre el 14 y 15%. Si no es así, no sólo estaremos pagando agua al precio de harina, sino que estamos ante una harina que puede dar problemas durante un almacenamiento prolongado (Callejo, 2002). Además de sus efectos en la conservación tiene influencia en el rendimiento y puede alterar otras cualidades de las harinas, como la acidez debida a rancidez hidrolítica y actividad de α -amilasa (Camacho *et al.*, 2001).

-Cenizas. El contenido en cenizas está en relación con la tasa de extracción de la harina. A medida que aumenta la tasa de extracción, la harina contiene más

elementos de la periferia del grano, más ricos en materias minerales que el endospermo y, por tanto, mayor será el contenido en cenizas (Guinet, 1996), se espera que el contenido sea alto en harinas integrales, pero debe de ser mínimo en harinas blancas (Camacho *et al.*, 2001).

-Proteínas. Son factor determinante de su aptitud panadera. El contenido en proteínas de las harinas de trigo, oscila entre un 7 y un 15%. Va a depender del contenido proteico del grano de trigo, 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 (Callejo, 2002).

2.6.1.3 Análisis de la harina

Las Normas Oficiales Mexicanas (NMX-F-007-1982, NOM-187-SSA1/SCFI-2002) como las de muchos otros países, establecen requisitos de calidad para las harinas, los cuales se pueden dividir en:

-Especificaciones higiénicas y sanitarias. Están orientadas a preservar la salud del consumidor y garantizar la adecuada calidad sanitaria de los productos. Incluye:

- Contenido de humedad. Para controlar el desarrollo microbiano, actividad enzimática e infestación; el máximo es de 14 a 15%.
- Aspecto sanitario general. La harina no debe presentar enmohecimiento, residuos de insectos, huevecillos o larvas, pelo ni excretas de roedores ni cualquier otra materia extraña que indique un estado higiénico sanitario deficiente.
- Infestación que puede presentarse tanto en granos como en harinas y que es inaceptable.

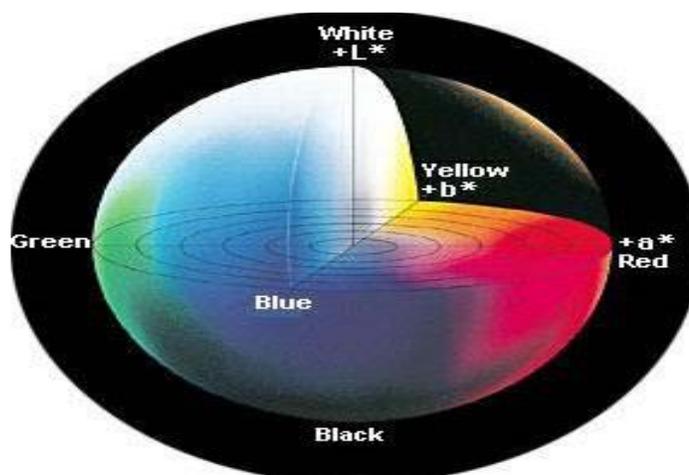
- Hongos y bacterias que se encuentran normalmente en los granos y por lo tanto, en las harinas, deben de estar en cantidades limitadas. El límite máximo aceptable de bacterias es de 10^4 ufc/g y de hongos es 10^3 ufc/g.
- Contaminantes. Las harinas deben estar libres de restos de plaguicidas, tanto aplicados al trigo como los de uso en harinas y molinos. Tampoco deben de contener metales pesados (Pb, Cd, Hg), micotoxinas, ni cualquier otra sustancia que ponga en riesgo la salud del consumidor.

-Especificaciones nutricias Su objetivo es garantizar el aporte de nutrientes que se espera de los productos. Incluye los contenidos de tiamina, niacina y hierro, así como riboflavina y calcio, que deben ser suplementados a la harina en cantidades adecuadas, como se establece en las normas aplicables.

-Especificaciones tecnológicas. Dependen de los productos a que se destine la harina. Las características más usuales son:

- Color, está relacionado con los pigmentos del trigo y con el salvado que inevitablemente queda en la harina. Si el acondicionamiento no fue bien realizado y la molienda no permitió una buena separación del salvado habrá partículas que den color a la harina. Se hace generalmente mediante el clasificador de color de Kent-Jones & Martin en el cual se compara fotoeléctricamente la reflexión de luz de una muestra de harina, con la de una superficie blanca de referencia (Camacho *et al.*, 2001), otro método para medir el color en harinas es el sistema de medición también conocido como CIELAB, que expresa la luminosidad L^* (claro u oscuro); a^* y b^* indican la orientación del color, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Diagrama de espacios de color (L^* , a^* , b^*)



Fuente: <http://www.metas.com.mx/guiamet/As-09-07-Medicion-de-color.pdf>.

- Contenido de humedad
- Contenido de cenizas
- Tamaño de partícula, que se relaciona con la dureza del grano y se requiere en rangos muy específicos para algunos usos, ya que también se relaciona con el daño al almidón, pérdidas en contenido de proteína y absorción de agua.
- Proteína (Camacho *et al.*, 2001).

2.6.1.4 Caracterización y calidad física de las harinas de trigo. (Capacidad de absorción).

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 el gránulo a su hinchamiento (hinchamiento de poros). El hinchamiento se acelera por calentamiento. El almidón sano retiene en las pastas y masas aproximadamente un tercio de su propio peso en agua (Petrick, 2009).

La capacidad de absorción de agua de las harinas, se define como la cantidad de agua que pueden incorporar para la producir una masa viscoelástica, se determina por el uso de métodos reológicos como el farinografo de Brabender (Román, 2002).

Las propiedades de hidratación de las 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 de agua por 100 g de harina. La inmersión puede ser realizada a pH neutro (agua destilada), a pH ácido (solución diluida de ácido láctico) o a pH básico (pH 8 por adición de bicarbonato) (Román, 2002)

La capacidad de retención del agua de las harinas de trigo es clásicamente descrita por la ayuda de los términos “Water Binding Capacity”, “Water Retention Capacity” y “Alkaline Water Retention Capacity” para las medidas de pH básico, sin embargo los valores de capacidad de retención de agua de las harinas dependen de las condiciones experimentales (tiempo de inmersión, condiciones de centrifugación, etc.), la capacidad de retención de agua está bien correlacionada con las medidas de absorción de agua obtenidas con la ayuda de métodos de tipo harinografo o Optimal baking Absorption, aunque los valores serán diferentes (Román, 2002).

Las propiedades de hidratación de las harinas han sido estudiadas por sorción de agua, ésta técnica permite seguir la cinética de hidratación de las harinas al contacto con el agua. Los resultados de las cinéticas son similares a los que se obtienen por métodos gravimétricos de referencia. Sin embargo el tiempo necesario para el equilibrio (entre 5 a 60 minutos) es bastante corto (son necesarios más días con el método gravimétrico) (Román, 2002).

2.6.1.5 Microscopia electrónica de barrido (MEB)

La inspección microscópica de la harina y los gránulos de almidón, es importante ya que puede estar adulterada con féculas de papa o de otros granos, así como detectar otras adulteraciones y contaminantes (Codex Alimentarius, 1995).

Resulta de gran ayuda examinar la muestra en un microscopio electrónico de barrido ya que crea una imagen ampliada de la superficie de un objeto, este puede colocarse en el microscopio con muy pocos preparativos. El SEM (Scanning Electron Microscope) explora la superficie de la imagen punto por punto. Su funcionamiento se basa en recorrer la muestra con un haz muy concentrado de electrones, de forma parecida al barrido de un haz de electrones por la pantalla de una televisión. Los electrones del haz pueden dispersarse de la muestra o provocar la aparición de electrones secundarios (Ojeda, 2007).

Los electrones perdidos y los secundarios son recogidos y contados por un dispositivo electrónico situado a los lados del espécimen. Cada punto leído de la muestra corresponde a un pixel en un monitor de televisión. Cuanto mayor sea el número de electrones contados por el dispositivo, mayor será el brillo del pixel en la pantalla. A medida que el haz de electrones barre la muestra, se presenta toda la imagen de la misma en el monitor. Los microscopios electrónicos de barrido pueden ampliar los objetos 200.000 veces o más. Este tipo de microscopio es muy útil porque, al contrario que los TEM (Transmission Electron Microscope) o los microscopios ópticos, produce imágenes tridimensionales realistas de la superficie del objeto (Ojeda, 2007).

También existen otros tipos de microscopios que pueden ayudar a la caracterización de las estructuras de los cereales; microscopia electrónica de transmisión (MET), y microscopia electrónica de barrido ambiental (MEBA), pero la

MEB ha sido una herramienta usada para la investigación de la microestructura de granos de cereales, harina y diversos productos como son las diferentes fracciones que se obtienen en la molienda de los granos (salvado, sémola, semolina y harina). La MEB se ha utilizado para evaluar los cambios estructurales durante el procesamiento del trigo, y más particularmente para estimar las diferencias estructurales entre las fracciones y la masa (Belitz *et Grosch*, 2000).

2.6.2 Sal

La razón principal por la que la sal común (cloruro de sodio) se añade al pan es para impartir sabor, ya que un pan sin sal tiene poco sabor. El porcentaje de sal varía, pero suele ser entre 1 y 2% en base de harina. La adición de sal tiene un aspecto técnico, porque influye en el desarrollo de gluten ya que absorbe agua, la reología de la masa ayudando a retener el gas y la velocidad de fermentación porque la controla o la reduce (Sluimer, 2005).

Con respecto al desarrollo del gluten, la sal añadida tiene una fuerte influencia en la formación de la masa durante la mezcla, sin sal, la formación de la masa inicial es más rápido, pero la adición de sal, sin embargo, aumenta la resistencia de la masa al amasado y disminuye la absorción de agua, debido a una mayor agregación del gluten (Sluimer, 2005, Cauvain *et Young*, 1998).

Sin embargo, la masa sin sal se queda más pegajosa que la masa con sal después de un prolongado tiempo de mezcla. Otro aspecto importante de la sal en la masa se refiere a la velocidad de fermentación, y la producción de dióxido de carbono. La adición de 1% de sal reduce la actividad de la levadura (y así la velocidad de fermentación) aproximadamente 6%; 2% de sal reduce en un 20%; y 4% de sal reduce la actividad de la levadura en aproximadamente 70%. Cada

panadero sabe que si el doble de la cantidad de sal que se agrega por error, la masa no se levantará (Sluimer, 2005).

La sal también contribuye de una forma indirecta a la formación del color marrón de la corteza del pan, debido a que retarda la fermentación y esto genera un "exceso" de azúcares que favorecen durante el horneado la formación de estos colores dorados de la corteza (McGee, 2004).

2.6.3 Agua

Está situada como el segundo ingrediente más importante en la masa de pan, esto es por mucho el ingrediente más barato, sin embargo juega un rol muy importante en la panificación. 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 se quede en las manos, así que en general el panadero prefiere una masa rígida con bajo contenido de humedad. También es esencial para la gelatinización del almidón y para la termofijación 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 (Sluimer, 2005).

Tradicionalmente el agua de la masa se subdivide en agua libre e inmovilizada, el agua inmovilizada debe ser fijada por las partículas de harina y el agua libre es la que da plasticidad a la masa (Sluimer, 2005).

2.6.4 Azúcar

Los azúcares en panificación contribuyen a la reacción de fermentación y a la coloración de la costra. Además de estas funciones principales, los azúcares en cantidades mayores pueden desempeñar un papel en la dulzura del pan, también en

menor importancia mejoran la textura de la miga. Esto se aplica tanto a los azúcares añadidos y maltosa producida por la degradación enzimática del almidón. Tradicionalmente, el azúcar ha sido añadido a la masa de pan como sacarosa en forma de azúcar de caña o de remolacha.

La levadura contiene invertasa, un exoenzima que trabaja fuera de la célula de levadura, que convierte la sacarosa en sus componentes, glucosa y fructosa, también llamado azúcar invertido. La velocidad de la conversión es tan rápido que, después de la mezcla, por lo general no hay sacarosa presente en la masa del pan. Así, no hay diferencia tecnológica entre la adición de azúcar invertido y la adición de sacarosa (Sluimer, 2005).

En situaciones prácticas, la concentración de azúcares en la masa de pan no es limitante de la velocidad de la reacción de la fermentación. Adicionar 1 – 2% de azúcar a la masa de pan solo incrementa ligeramente la velocidad de la fermentación. Cuando el porcentaje adicionado de azúcar es más alto del 4%, la velocidad de fermentación se vuelve más lento; esto es causado por la disminución de la actividad de agua, que se correlaciona con la presión osmótica en la masa. Para la masa con una concentración de 10% de azúcar, la velocidad de fermentación es más de un 25% más lento que el de la masa sin azúcar (Sluimer, 2005)

La adición de 1% de azúcar mejora el color de la corteza, con este nivel de adición de azúcar, en el momento de hornear, la levadura consume todos los azúcares añadidos, el desarrollo de color es el resultado de la producción de maltosa por la levadura, proviene de productos de reacción formados principalmente por pardeamiento de Maillard. La reacción de Maillard se da entre los aminoácidos o péptidos y azúcares reductores, los monosacáridos son más activos en esta reacción que los disacáridos (Sluimer, 2005).

2.6.5 Levaduras

La levadura que se utiliza en panificación es una variedad de la especie *cerevisiae*, que pertenece al género *Saccharomyces*, que significa “moho que fermenta el azúcar de un cereal (*saccharomucus cerevisiae*) para producir alcohol y dióxido de carbono” es un organismo celular simple, su tamaño es aproximadamente 10 veces más grande que el de la mayoría de las bacterias. Además de tener su capacidad para respirar, la levadura se caracteriza por su capacidad de fermentar los azúcares (Sluimer, 2005, Cauvain *et* Young, 1998).

El proceso del crecimiento de las levaduras se consigue mediante la estimulación de la reproducción, ofreciéndole las condiciones correctas de temperatura (30°C) y nutrientes (azúcares), en condiciones ideales, una célula puede multiplicarse en 20 minutos, de tal manera que el número de células aumenta de 1 a 2, de 2 a 4 y así sucesivamente (Cauvain *et* Young, 1998).

En presencia de oxígeno, por ejemplo, bajo condiciones aerobias, la levadura metaboliza la glucosa en dióxido de carbono. Esta es la reacción común de la respiración, por la que la mayoría de microorganismos obtiene energía. En ausencia de oxígeno, en condiciones anaerobias, la levadura es capaz de metabolizar glucosa por fermentación. La reacción produce dióxido de carbono y etanol (Sluimer, 2005).

En condiciones anaerobias, se necesita algún tiempo para que las células de un paquete de levaduras reanuden su actividad reproductiva; pero en el procedimiento de panificación que dura varias horas, el tiempo de reproducción de la levadura es corto (Sluimer, 2005).

Requisitos de la calidad de la levadura:

II. ANTECEDENTES

- Fuerza, es la capacidad de gasificación que permite una fermentación vigorosa.
- Uniformidad, la levadura debe producir los mismos resultados si se emplean las mismas cantidades.
- Pureza, evitar la ausencia de levaduras silvestres.
- Apariencia, debe ser firme al tacto y al partir no se desmorona, debe demostrar algo de humedad.

Funciones de la levadura en panificación:

- Hace posible la fermentación, la cual de alcohol y gas carbónico.
- Aumenta el valor nutritivo al suministrar el pan proteína suplementaria.
- Convierte a la harina cruda en un producto ligera.
- Da el sabor característico al pan.

Necesidades de la levadura:

Para actuar la levadura necesita:

- Azúcar, como fuente de alimento.
- Humedad, sin agua no puede asimilar ningún alimento.
- Materias nitrogenadas, necesita nitrógeno y lo toma de la proteína de la harina.
- Minerales, la levadura necesita sales minerales para una buena actividad.
- Temperatura adecuada, mantenerlo refrigerado hasta el momento de su uso.

Las enzimas de la levadura:

Las enzimas de la levadura actúan como catalizadores en la fermentación ayudando a la conversión de algunos azúcares compuestos a azúcares simples y

fácilmente digeribles por la levadura. Las enzimas que hay en la levadura son las siguientes:

- Proteasa, ablanda el gluten actuando sobre la proteína.
- Invertasa, actúa sobre los azúcares compuestos.
- Maltasa, actúa sobre la maltosa.
- Zimasa, actúa sobre los azúcares simples.

En el caso típico de acción de la levadura de pan, libera dos enzimas: invertasa o sacarasa y la zimasa (Jagnow, 1991).

2.6.6 Enzimas

Las enzimas son catalizadores biológicos. Estas sustancias aceleran las velocidades de reacción en los sistemas naturales, tanto de animales como de vegetales (Cauvain *et* Young, 1998).

Las enzimas que nos resultan de interés entre los productos elaborados a base de cereales son las amilasas, proteasas, hemicelulasas 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, afectará a la calidad del producto final, tanto a su volumen y aspecto, como a su conservación. (Khandeparker *et* Numan, 2008).

En panificación, la utilización de enzimas estaba estrictamente regulada por el Reino Unido. Existía una lista muy limitada de enzimas permitidas en las sucesivas *Bread and Flour regulations* (Cauvain *et* Young, 1998).

II. ANTECEDENTES

Hasta hace poco tiempo, las dos únicas enzimas permitidas eran la α -amilasa y las proteinasas. En 1995, después de una larga campaña orquestada por toda la industria panadera, se incluyeron en la lista las hemicelulasas. En 1996, la *Bakery and Allied Traders Association* quedó sorprendida al conseguir que el *Ministry of Agriculture, Fisheries and Food* del Reino Unido derogase completamente las limitaciones de la utilización de enzimas en la elaboración de pan y harinas, no obstante, esta derogación fue acompañada de una sugerencia: la inclusión de una nueva enzima en la elaboración de pan o de harina debería precederse de un examen de cada preparación, por parte del *Committee On Toxicity (COT)* del Reino Unido, que incluyera cualquier aspecto que estuviera relacionado con la seguridad alimentaria (Cauvain *et* Young, 1998).

Las hemicelulasas se incluyeron en las listas de sustancias permitidas en el Reino Unido con anterioridad a la total autonomía del empleo de las enzimas. Pueden ser sistemas enzimáticos bastante complejos cuyas fuentes suelen ser fúngicas o bien provienen de microorganismos genéticamente modificados (GMO). Su función, en los microorganismos de los que proceden, es degradar la pared celular de las plantas con el fin último de liberar los azúcares que la componen, principalmente xilosa y arabinosa, y aprovecharlos como fuente de energía. El endospermo del trigo, a partir del cual se produce la harina blanca se compone fundamentalmente de almidón, proteínas y lípidos (Cauvain *et* Young, 1998).

Durante mucho tiempo se creyó que la α y la β -amilasa eran las únicas enzimas que podían usarse en la industria de la molinería. Esta creencia ha cambiado radicalmente desde la introducción de las hemicelulasas y de la biotecnología de las xilanasas que empezó a principio de los años 80, primero en la alimentación animal seguida por aplicaciones en la industria de alimentos (Ponce *et* Pérez, 2002).

- Amilasas

La α -amilasa puede obtenerse a partir de hongos o de bacterias. Son las más utilizadas en la fabricación del pan (Trejo, 2008), son una serie de enzimas que catalizan, todas ellas, la misma reacción básica, la escisión de las moléculas hidratadas de almidón, es decir, de la amilosa, la amilopectina no ramificada y los polímeros de cadena larga y ramificados de maltosa, generándose moléculas de cadena corta no ramificadas conocidas como dextrinas. Actúan en combinación con la β -amilasa, una enzima que ataca las partes distales de las cadenas de amilosa y amilopectina, liberando moléculas de maltosa, consiguiendo, si se les da suficiente tiempo y se les mantienen en unas condiciones adecuadas, convertir prácticamente todo el almidón en maltosa (Cauvain *et* Young, 1998).

- Pentosanasas

Estas enzimas incluyen a las xilanasas que transforman la 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 máquina (Butt *et al.*, 2007).

Las xilanasas al igual que las celulasas son enzimas hidrolíticas que participan en el rompimiento de los enlaces glicosídicos β -1,4 presentes en los polisacáridos celulosa y hemicelulosa, respectivamente (Ponce *et* Pérez, 2002).

Son producidas por una gran variedad de microorganismos entre los que se encuentran hongos y bacterias. La mayoría de los microorganismos celulolíticos son capaces de producir tanto celulasas como xilanasas; sin embargo, algunos otros sólo producen una de las dos. (Popper *et* GmbH, 2008). Son heteropolisacáridos y su degradación total produce xilosa y/o arabinosa es llevada a cabo, como en la celulosa, por un grupo de enzimas que participan sinérgicamente. Las más

conocidas son las endo- β -D-xilanasas, las cuales rompen al azar los enlaces glicosídicos de la cadena principal de la molécula. (Ponce *et Pérez*, 2002).

En general los hongos son la fuente más común, los más usuales son los hongos Termofilicos, debido a la producción de enzimas termofilicas, y estas tienen una importancia comercial amplia. Estos hongos termofilicos pueden prosperar a una temperatura de 40-60 °C (Butt *et al.*, 2007).

Las xilanasas de origen microbiano se clasifican en dos grupos dependiendo de sus propiedades físico-químicas como la masa molecular y punto isoeléctrico, en lugar de en sus diferentes propiedades catalíticas.

Mientras que un grupo se compone de las enzimas de alto peso molecular con bajos PI (conocido como endoxilanasas de la familia 10), el otro grupo se compone de enzimas de bajo peso molecular y con altos valores de PI (Conocido como endoxilanasas de la familia 11) (Subramaniyan *et Prema*, 2002).

Se han introducido recientemente, ya que pueden mejorar las propiedades de manejo de la masa y el volumen del pan, tienen el potencial para retrasar el endurecimiento por tanto, aumentan la vida útil (Al-Wydyan *et al.*, 2008).

Son enzimas que específicamente hidrolizan xilanos que son los polisacáridos más abundantes. En la harina de trigo, los xilanos están presentes principalmente como arabinoxilanos, son los componentes de la pared celular también el endospermo se encuentra subdividido en el grano en pequeñas células, cuya pared celular se compone de complejas mezclas de moléculas de cadena larga compuestas sobre todo por restos de xilosa (Al-Wydyan *et al.*, 2008, Cauvain *et Young*, 1998), tienen un papel muy importante en la calidad del pan, debido a su gran capacidad de absorción de agua y a la fuerte interacción con el gluten (Butt *et al.*, 2007), pueden ser tanto solubles en agua como insolubles, los pentosanos solubles en agua absorben alrededor de 10 veces su peso en agua (Al-Wydyan *et al.*, 2008).

Los preparados enzimáticos de pentosanasas y/o xilanasas, se añaden con el propósito 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 este modo reducir el período de precocción (Trejo, 2008).

Cuando se añaden las enzimas ofrecidas comercialmente como hemicelulasas, a las masas se modifican los pentosanos del trigo. Cuando se utilizan en las masas, el manejo de éstas resulta más fácil y son más extensibles sin que esto redunde en la pérdida de resistencia ni en un incremento de su viscosidad. Incluso puede observarse un modesto aumento de la capacidad de absorción de agua (Cauvain *et al.*, 1998).

Con el fin de aumentar la cantidad de pentosanos solubles, se añaden xilanasas a la masa del 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 (Al-Wydyan *et al.*, 2008).

Especialmente la endo-1,4- β -xilanasas, se adicionan a la masa para mejorar su calidad, obteniéndose productos de panadería con mejor textura y sabor. El efecto de las xilanasas es incrementar el volumen específico de los panes, sin provocar un efecto colateral negativo en el manejo de la masa. (Ponce *et al.*, 2002).

Usos en otras industrias

Recientemente, el interés en enzimas xilanolíticas ha aumentado debido a su uso potencial en varios procesos industriales tales como blanqueo y bioconversión

de lignocelulosas (Camacho *et* Aguilar, 2003), esta industria fue la primera en demostrar que las xilanasas son aplicables para la deslignificación ya que la hidrólisis de xilano facilita la liberación de la lignina de la pulpa del papel y reduce el nivel de utilización de cloro como agente blanqueador (Subramaniyan *et* Prema, 2002), transformación de los alimentos, incluyendo la clarificación de la cerveza, del vino, y del jugo, digestibilidad cada vez mayor de la materia de base animal y fabricación del pan. (Camacho *et* Aguilar, 2003). También se usan en procesos de fermentación, (Butt *et al.*, 2007), extracción de saborizantes y pigmentos, aceites de plantas y semillas, maceración vegetal, acondicionamiento de piensos para aves y cerdos, entre otras. (Ponce *et* Pérez, 2002).

Para estudiar la efectividad de xilanasas en las industrias ya mencionadas, se han hecho diversos estudios, recientemente se aisló una cepa mexicana de *aspergillus* y se observó que los niveles producidos de varias enzimas xilanolíticas se dan a 37 y 45°C. Esta cepa, llamada *SP de Aspergillus. FP-470*, produce varias enzimas con actividad xilanolítica, y cuyo comportamiento termotolerante ha sido demostrado. (Camacho *et* Aguilar, 2003).

2.7 INDUSTRIA DE LA PANIFICACIÓN

El pan es un alimento básico y, actualmente, son muy pocos los países del mundo en los que no se fabrica y se come pan. Los productos de panadería han evolucionado hasta adquirir muchas formas, cada una con características muy diferentes que las distinguen unas de otras. A través de los siglos, los expertos panaderos del mundo han desarrollado variedades de pan, aplicando los conocimientos adquiridos acerca de cómo utilizar más eficazmente los materiales ciertos disponibles para conseguir la calidad de pan deseada. Esto se ha logrado adaptando y cambiando las técnicas de panificación preexistentes y, en ocasiones, desarrollando otras totalmente nuevas (Cauvain *et* Young, 1998).

El pan es el resultado del desarrollo técnico progresivo y la mejora de los productos fermentados hechos a partir de trigo durante muchos milenios (Cauvain *et al.*, 1998).

2.7.1 Proceso de panificación

La importancia del trigo en la industria alimentaria radica en la cualidad única que tiene su proteína (gluten) de formar, al contacto con el agua, una red tridimensional capaz de retener los gases producidos durante la fermentación en el proceso de panificación (Camacho *et al.*, 2001).

Existen 2 métodos importantes de panificación:

- Sistema de esponja ó método de esponja y masa, que consta de dos diferentes pasos: el primero es la formación de la esponja, para lo cual parte de la harina y del agua se mezclan con la cantidad total de levadura y se dejan fermentar durante cierto tiempo; posteriormente se agrega el resto de harina mezclada con sal y con el agua necesaria para darle la consistencia adecuada a la masa. La esponja por lo general contiene del 50 al 74% del total de la harina, así como el total de la levadura y aditivos de levadura; los aditivos restantes se adicionan en la segunda etapa. El procedimiento de fermentación se realiza a temperaturas relativamente bajas y es más lento: de 22 a 25 °C durante 13 horas, tiempo en el cual alcanza el volumen final.
- Sistema directo ó método de la masa directa, en el cual todos los ingredientes se mezclan desde el inicio del proceso; el tiempo de fermentación puede variar entre 2 y 12 horas, a temperaturas entre 26 y 28 °C. El mezclado se hace hasta que la masa alcance la suavidad y la

aparición deseada y desarrolla la elasticidad necesaria (Camacho *et al.*, 2001).

La calidad final del pan está determinada por numerosos factores desde el origen de la harina, es decir las características del trigo y del proceso de molienda, hasta la formulación del pan, los procesos de mezclado y de fermentación empleados, así como el horneado (Camacho *et al.*, 2001).

Lo esencial para hacer buen pan es que la masa logre:

- La extensibilidad necesaria para expandirse cuando se incrementa el volumen y
- La elasticidad que permita retener los gases producidos y la forma de la hogaza (Camacho *et al.*, 2001).

2.7.1.1 Amasado

El amasado o mezclado, es una operación que distribuye de manera homogénea los ingredientes y permite el desarrollo de la red de gluten; el tiempo de mezclado es importante y el óptimo varía para cada harina y método usado. Si el mezclado se prolonga, la masa puede volverse muy extensible pero poco elástica por lo que no retiene gases ni conserva la forma. Si esta operación es deficiente pueden quedar focos de ingredientes sin mezclar en los cuales no hay desarrollo de gluten y/o no hay fermentación, dando una mala apariencia a la miga del pan (Camacho *et al.*, 2001).

En el amasado también se logra homogenizar la humedad y la temperatura de la masa, para que la fermentación secundaria se desarrolle adecuadamente.

Durante dicha etapa la masa aumenta nuevamente su volumen, con una mejor distribución de las celdillas, así como un pleno desarrollo del sabor y del aroma (Camacho *et al.*, 2001).

El pan se moldea dando forma a las hogazas o piezas, después de la primera o de la última fermentación, según el proceso.

2.7.1.2 Fermentación

Una vez obtenida la masa, cuando el gluten ha formado esta red extensible y elástica, se somete a fermentación: la levadura metaboliza anaeróbicamente los azúcares disponibles, produciendo CO₂, etanol y otros productos responsables de olor y sabor. Con ello, transforma la masa densa en una mezcla suave y esponjosa, gracias a que la red de gluten retiene el gas; en esta etapa es cuando se dice que “sube la masa”, ya que incrementa su volumen (Camacho *et al.*, 2001).

El CO₂ producido se acumula alrededor de la levadura y al quedar rodeado por una fina capa de gluten, da lugar a las celdillas que conforman la estructura característica del pan. Después de una primera fermentación se requiere un amasado para distribuir homogéneamente el gas formado, lo cual dará lugar a celdillas más uniformes; esto es posible por el efecto mecánico del amasado y por la extraordinaria elasticidad y cohesividad del gluten, ya que se rompen y dispersan las burbujas grandes al tiempo que el gluten recupera la red que pueda retener el gas (Camacho *et al.*, 2001).

2.7.1.3 Horneado

El proceso efectivo para hornear es en realidad el último y más importante paso en la producción de los productos de panadería. Mediante la acción del calor, la

II. ANTECEDENTES

masa de pan se transforma en un producto ligero, poroso, fácilmente digerible y muy apetitoso. Los cambios en este proceso son complejos y básicos (Desroiser, 1999).

Algunos cambios que se suceden son:

El calor que penetra en la masa hace que los gases se expandan, incrementado el volumen; el incremento de la temperatura también aumenta la presión de los gases y causa la expansión de las celdillas.

- Al inicio del calentamiento la levadura sigue activa y también las enzimas como la alfa-amilasa, que sigue produciendo azúcares.
- El CO₂, que está disuelto al iniciar el horneado, pasa a estado gaseoso después de los 40 °C, expandiendo más las celdillas.
- El calor produce evaporación de líquidos: alcohol producido en la fermentación y agua.
- Cuando la masa alcanza unos 46°C, la levadura se inactiva; los azúcares que no haya consumido y los que sigue produciendo las amilasas, quedarán disponibles para las reacciones de oscurecimiento y formación de la costra. Los gránulos de almidón empiezan a incorporar agua y aumentan su volumen.
- A partir de los 60 °C el almidón se gelatiniza, dando consistencia a la pieza de pan.
- A 74 °C el gluten empieza adquirir rigidez en la forma en la que se encuentra, rodeando a las celdillas; se inactivan las amilasas.
- La cocción continúa y se considera que el interior del pan queda cocido cuando se alcanzan 98°C en el centro frío. Entre tanto hay pérdida de peso por evaporación de agua, que es muy rápida en la superficie porque al secarse sube su temperatura, hasta la del horno prácticamente.

- Cuando la temperatura de la superficie llega a 160°C o más se presentan las reacciones de Maillard entre azúcares y proteínas, así como de caramelización de azúcares; mediante estas reacciones se forman el color dorado de la costra y el aroma, característico del pan. Al mismo tiempo se forman nuevas sustancias de sabor distinto, incluyendo los azúcares acaramelados, pirodextrinas y melanoidinas, que dan al producto horneado sus propiedades organolépticas distintivas y convenientes (Camacho *et al.*, 2001, Desroiser, 1999)

El enfriamiento después del horneado también es importante. La temperatura debe bajar de unos 200°C en la superficie y 98°C en el centro, hasta 35°C o menos para que la hogaza no se dañe al rebanar (Camacho *et al.*, 2001).

Lo más importante en esta etapa es que el vapor, que aún se encuentra saturando el interior del pan, se evapore antes de empacarlo, pues una humedad excesiva en el pan envuelto, puede dañar la textura y favorecer el desarrollo de hongos (Camacho *et al.*, 2001).

2.8 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PAN

2.8.1 Análisis de perfil de textura

En el caso de la textura de la miga del pan nos interesan las propiedades mecánicas de la misma, como firmeza y elasticidad y a menudo se trata de ligar éstos parámetros con características asociadas a la palabilidad/masticabilidad mediante la adaptación de los más fundamentales métodos físicos de análisis. La blandura o firmeza de la miga es el atributo de la textura que ha atraído más atención en la estimación de la calidad de la misma debido, quizás, a la estrecha asociación

que tiene con la percepción sensorial de frescura. En la prueba subjetiva de “estrujamiento” medimos simultánea y subconscientemente diversas características del producto. La más evidente de éstas es la resistencia del producto a la deformación. Hay otras menos obvias, como la capacidad de recuperación del producto después que haya cesado la fuerza de compresión o la estimación de la fuerza que se ha aplicado para comprimir el producto hasta el nivel “estándar de estrujamiento”. El juicio subjetivo se registrará en grados de blandura o dureza y, a veces, como capacidad de recuperación o elasticidad (Cauvain *et* Young,,1998).

Habitualmente, la fuerza que se aplica en esas pruebas es insuficiente para romper la matriz de la miga en un grado significativo y el producto, mayormente, regresará a su estado inicial cuando se suspende la fuerza de compresión. Estas pruebas simulan en gran parte las estimaciones subjetivas de la textura de la miga que se hacen con los dedos mediante estrujamiento o compresión (Cauvain *et* Young, 1998).

El análisis de perfil de textura (TPA, del inglés *texture profile analysis*) es una técnica que trata de utilizar bases comunes para los métodos subjetivos y objetivos empleados para estimar la calidad asociada a la palabilidad/masticabilidad. La prueba objetiva aplica dos compresiones sucesivas en una muestra con fuerzas que ocasionan cambios irreversibles en el alimento que se está analizando (Cauvain *et* Young, 1998). El TPA se ha utilizado con diferente grado de éxito para estimar los cambios en la calidad asociada a la palabilidad/masticabilidad (Cauvain *et* Mitchell, 1996).

2.8.2 Evaluación del volumen y densidad

Entre las características que son con más frecuencia se estiman bajo este encabezamiento son las dimensiones, el volumen, densidad, la apariencia, el color y la formación de corteza.

Las dimensiones críticas para la mayoría de los panes son la longitud y la altura, relegándose la anchura a un lugar menos importante. Existen dispositivos muy simples para medir las dimensiones del producto una vez acabado; entre ellos reglas y cintas graduadas. También se puede medir la altura y la forma en tiempo real mediante el uso de técnicas de análisis de imagen. La medida de la altura se utiliza frecuentemente junto con la de la anchura como base para estimar el volumen, siempre que la forma del producto permita hacer estimaciones significativas, por ejemplo con panes de molde de forma rectangular (Cauvain *et* Young, 1998).

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 (Cauvain *et* Young, 1998)

2.8.3 Evaluación de la impronta

El interés principal de las características internas se limita normalmente al tamaño, número y distribución de los alveolos en la 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. Cada tipo de pan tiene sus propios requisitos sobre la estructura alveolar de la miga y, por tanto, no hay un solo estándar que pueda aplicarse a todos los productos. Debido a ésta situación, el método más común que se utiliza es la estimación subjetiva de la estructura alveolar de la miga del producto, comprándola con algún material de referencia, como fotografías. El juicio de la estructura alveolar de la miga puede incluir también una evaluación del grosor del material de la pared.

II. ANTECEDENTES

Aunque la estructura alveolar de la miga es uno de los atributos más importantes de las características del pan, permanece aún como un parámetro muy difícil de cuantificar desde el punto de vista de su correlación con la percepción humana de la calidad. Pueden utilizarse técnicas que emplean fotografías o las de barrido con cámaras de video acopladas con análisis de imagen; éstas proporcionan datos más cuantitativos de la estructura alveolar (Cauvain *et* Young, 1998).



3.1 OBJETIVO GENERAL

- ❖ Evaluación del efecto de xilanasas en productos de panificación.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Evaluar la composición fisicoquímica de las harinas de trigo a usar para asegurar su calidad.
- ❖ Evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de xilanasas en la calidad del pan.
- ❖ Llevar a cabo una caracterización fisicoquímica de los panes obtenidos
- ❖ Evaluar la microestructura alveolar desarrollada en los productos de panificación mediante el uso de microscopía electrónica de barrido
- ❖ Evaluar su vida de anaquel y sus propiedades culinarias de los panes.



4.1 MATERIA PRIMA

Para la realización del presente trabajo se utilizó:

- Trigo. Adquirido en la central de abastos de Pachuca, Hgo. (2009), aproximadamente medio bulto (28 kg.).
- Harina de trigo comercial de la marca tres estrellas, seis bolsas de 1kg cada una, se eligió el mismo lote, para evitar variaciones.
- Sal, empaque de 1 kg de la marca La fina.
- Azúcar, una bolsa de 2 kg de la marca Great Value.
- Levadura, empaque de 450g de la marca Nevada.
- Agua embotellada (apta para consumo humano).
- Enzima (xilanasas), provenientes de una bacteria (*Celulomonas flavigens*). Con una actividad de 15 UI por mL.

4.2 MÉTODOS.

Los análisis que se realizaron, se efectuaron por triplicado para cada una de las muestras.

4.2.1 Muestreo.

La muestra de trigo se obtuvo mediante un muestreo aleatorio simple. El tamaño de la muestra fue de 28 Kg.

La limpieza se llevó a cabo en un agitador de tamices y posteriormente se procedió a retirar, de forma manual los restos de hojas y flores, y 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 utilizó el proceso de molienda seca, acondicionando el grano de trigo a un 16.5% de humedad con un reposo de 24 horas (para ablandar el pericarpio y facilitar la molienda), ya que a 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 100 g de materia seca fue:

$$X = \left[\frac{H_f M}{D_h} \right] - H_i$$

Donde:

H_f = Humedad requerida (%)

M_s = Materia seca (g)

D_h = Diferencia de humedad (%)

H_i = Humedad inicial (%)

X = Cantidad de agua (mL)

Se tomó como muestra 1 Kg de grano de trigo, se acondicionó a 16.5% de humedad.

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 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 de 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 porcentajes de todos los constituyentes en base seca respecto al cien por ciento.

4.2.4 Caracterización y calidad física de las harinas de trigo

4.2.4.1 Capacidad de absorción de agua subjetiva (CAAS).

Se determinó pesando 100g de harina de trigo y comercial, adicionando agua de forma gradual, realizando un amasado hasta obtener una masa viscoelástica. La cantidad de agua adicionada se registra como la capacidad de absorción de agua de la harina (Anderson *et al.*, 1969).

4.2.4.2 Capacidad de hidratación (CH)

El método utilizado para la determinación fue el 56.20 de la AACC (2002).

4.2.4.3 Índice de retención de agua alcalina (IRAA)

El método utilizado para la determinación fue el 56.10 de la AACC. (2002).

4.2.4.4 Índice de absorción en agua (IAA) e índice de solubilidad en agua (ISA).

Se utilizó la metodología descrita por Anderson *et al.*, 1969. Una porción de 1.5 g de cada una de las muestras se agregó 10 mL de agua destilada en un tubo de propileno a pesos constante. La suspensión se homogenizó con una varilla de vidrio por 1 min a 25°C y se centrifugó 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 recobrados al evaporar el sobrenadante en una estufa durante 24 horas.

4.2.4.5 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 1g de muestra de cada una de las fracciones de molienda, con un índice de refracción de 1.494 y una precisión de $\pm 1\%$ en el Dv50.

4.2.4.6 Determinación de color

Para esta prueba se utilizaron 20 g de harina de trigo. La determinación del color se efectuó con un colorímetro Hunter lab cuyo principio se basa en registrar la intensidad de la luz absorbida por el color negro y es reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en los colores rojo, azul, amarillo y verde. El método determina la 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 el 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 color amarillo y los negativos con el azul.

4.2.5 Caracterización física de las masas

4.2.5.1 Microscopía electrónica de barrido (MEB)

Cada una de las muestras se secaron en una estufa por 3 días a una temperatura de $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, para obtener una humedad del 11% posteriormente, fueron recubiertas con oro (Au) en un electro – depositador (Denton Vaccum Desk II) y se observaron en un microscopio electrónico de barrido (MEB, JOEL, JSM-6-300) a 100, 500, 1000 y 2000X, utilizando un flujo de electrones de 20KV y 15mm el análisis se le realizó a las diferentes partes del grano que se obtienen al ser molturado (harina, semolina, sémola y salvado).

4.2.6 Elaboración del pan

Todos los ingredientes se mezclaron en una charola de aluminio, iniciando con los secos (harina, sal, azúcar, ácido ascórbico, levadura/royal), poco a poco se fue adicionando agua, al mismo tiempo que se amasaba, cuando se preparó el pan con enzima, la enzima se adicionó después de mezclar los secos, el pan control se realizó mezclando los ingredientes, excepto levadura, royal y enzima. Después del mezclado la masa se sometió a fermentación durante 2hrs, a 30°C. El tiempo óptimo de “maduración” de la masa (amasado – fermentación) para obtener 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 de gluten, se moldeó y se volvió a dejar fermentar por un periodo de 30 minutos. Una vez alcanzado el volumen necesario, se procedió a hornear, el cual fue de 30 – 40 minutos. Finalmente el pan recién salido del horno (Self Cooking Center Rational, SCC61, Alemania) se dejó enfriar a temperatura ambiente.

4.2.7 Evaluación del pan

4.2.7.1 Determinación de volumen y densidad del pan

El método que se utilizó fue el 10.05 de la AACC (2002).

4.2.7.2 Evaluación de la impronta

Para evaluar las características internas, se cortó una rebanada transversal del centro, con un cuchillo eléctrico para obtener un corte limpio. Se impregnó de tinta para sellos y la rebanada se colocó en una hoja de papel blanco. A través de esta prueba se evaluó la textura de la impronta con la ayuda de una escala hedónica (tabla 7) para evaluar la textura y color de la miga.

Tabla 7. Escala hedónica para evaluar la textura y color de la miga

<i>TEXTURA DE LA MIGA</i>	<i>COLOR DE LA MIGA</i>
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	4. Café oscuro

4.2.7.3 Capacidad de fermentación

Para medir este parámetro, se tomó una masa en forma esférica, en todas las muestras se procurará hacer del mismo modo y tamaño. Después se procedió a medir la altura alcanzada de la masa después de 30 minutos de fermentación, así como el ancho de la misma. Para esta prueba se utilizó un vernier, para obtener un resultado con mayor precisión.

4.2.7.4 Pérdida de peso

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

4.2.7.5 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 (Camacho *et al.*, 2001).

4.2.8 Análisis estadístico

Las evaluaciones estadísticas de los resultados se realizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, donde las variables son cada una de las muestras.



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 8, se muestran los resultados del análisis físico del grano de acuerdo a la norma, se analizó una muestra de 1000g de grano de trigo por triplicado, 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 viable para consumo; aunque en una muestra de trigo también se encuentran otros interferentes como son: granos dañados por hongos, quebrados, quemados por frío, etc., pero éstos no afectan tanto a la muestra ya que después de eliminarlos se puede utilizar.

Tabla 8. Análisis físico del grano.

Parámetro	
Color	café claro
Olor	libre de olores extraños
Temp. En 5 puntos	20°C (0.0)
Flores	0.78 (0.4)
Paja	-
Tallos	0.14 (0.05)
Granos de otros cereales	2 (0.5)
Piedras	0.06 (0.05)
Granos limpios	905 (1.3)
Granos quebrados	17 (1.4)
Granos dañados por hongos	21 (0.3)
Granos quemados	21 (0.7)
Granos chupados	31 (1.3)
Insectos vivos	-
Insectos muertos	-

*() Desviación estándar.

La muestra con la que se trabajó, tenía un 0.3% de impurezas, este valor se obtuvo tomando en cuenta las flores, paja, tallos, piedras y granos de otros cereales, según la norma, fue una muestra viable para consumo humano, porque cumplió con cada uno de sus parámetros.

Algunos parámetros son muy importantes como el olor, color y humedad ya que pueden ser indicios de un producto de mala calidad, como se puede observar en la tabla 9, el color del grano de trigo fue café claro y según Dexter *et al.*, (1997) la mayoría de las variedades de trigo de buena calidad son de color ámbar.

La NMX-FF-036-1996 dice que el olor debe ser el característico del grano de trigo, sano, seco y limpio. En ningún grado de calidad se permite que el trigo presente olores a humedad, fermentación, rancidez, enmohecido o cualquier olor extraño, como se puede observar en la tabla 9 la muestra con la que se trabajo estaba libre de olores extraños.

La muestra se pudo utilizar sin ningún problema ya que cumplía con los parámetros que la NMX-FF-036-1996 establece para consumo humano.

5.2 RENDIMIENTO DE LA MOLIENDA.

Se llevó a cabo a partir de 1kg de trigo previamente seleccionado, libre de impurezas, se sometió al proceso de molienda y se obtuvieron diferentes rendimientos de las distintas fracciones como son: salvado, sémola y harina ya que el equipo separa estas fracciones al final de la molturación, como se puede observar en la tabla 9. El rendimiento de semolina se obtuvo al cribar la sémola obtenida en el molino y separar los restos de harina.

Camacho *et al.*, (2001) menciona que para obtener un buen rendimiento el grano de trigo debe de acondicionarse a una humedad de 17%, ya que la humedad facilita la separación del salvado del germen y evita que ocurran daños mecánicos durante el procesado del grano.

Tabla 9. Rendimiento de la molienda

Fracción	
Salvado	300 (5)
Sémola	149 (4)
Semolina	69 (3)
Harina	482 (4)

*() Desviación estándar

Sastre (1999), dice que 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%, Camacho *et al.*,(2001) menciona que la harina blanca está constituida por dos fracciones con diferentes porcentajes de rendimiento, éstas fracciones son: harina flor o de patente y harina clara, pero la harina 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”, esto quiere decir que proviene directamente del endospermo y no contiene gran parte del germen.

El rendimiento de harina fue alto, ya 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 necesitará más fuerza 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 objetivo siguiente es reducir el endospermo a harina. En las primeras fragmentaciones, el endospermo se separa en trozos grandes y en las últimas, la acción es más para eliminar el salvado, por lo que en el molino al tener un grano bien acondicionado pudo quebrarse y molerse de manera adecuada (Feillet, 2000)

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

5.3 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL GRANO Y LAS HARINAS DE TRIGO

En la tabla 10, se muestran los resultados del análisis proximal del grano, para tomar en cuenta la materia prima de la cual se partió, para éstos análisis se trituro el grano completo, harina de trigo obtenida por el proceso de molienda del grano de trigo, así como de harina de trigo comercial que fue utilizada como un comparativo.

Tabla 10. Análisis proximal del grano de trigo y harinas de trigo expresado en porcentaje en base seca (Desviación estándar).

Componentes (%)	Grano de trigo	Harina de trigo	Harina comercial
*Humedad	13 (0.09)	12 (0.07)	7 (0.28)
Proteína	14 (0.02)	16 (0.18)	12 (0.11)
Grasa	2 (0.09)	2 (0.05)	1 (0.01)
Fibra	2 (0.03)	1 (0.04)	1 (0.04)
Ceniza	1 (0.03)	0.36 (0.01)	0.42 (0.03)
Carbohidratos	80 (0.17)	80 (0.27)	84(0.14)

*base húmeda

Serna (2001) menciona que los granos de trigo deben de cumplir con ciertos parámetros para 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 ceniza y 75.2 – 82.1% de carbohidratos, como se puede observar en la tabla 10, la humedad, proteína, carbohidratos y grasa están dentro de los parámetros, sin embargo fibra y ceniza quedan un poco abajo del parámetro establecido.

Kit *et* Turnbull (2004) mencionan que la humedad en este tipo de granos, que son recolectados, almacenados y transportados para su comercialización es lógico que se encuentre dentro de los parámetros mínimos porque de lo contrario, durante

alguno de éstos procesos, pueden ser susceptibles al ataque por hongos (principalmente) y ocasionar olores rancios y colores extraños por la implantación de moho en el grano. En el caso de la 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 representó algún riesgo que su humedad fuera alta, como se puede observar también en la tabla 10, el porcentaje de humedad de harina comercial es significativamente menor porque a nivel industrial para ser empaquetada y tenga una vida de anaquel de casi un año si se debe de cuidar éste parámetro para evitar desarrollo de microorganismos.

En general los tres parámetros más importantes en las harinas destinadas para panificación son: humedad, cenizas y contenido de proteína. La humedad debe de cuidarse por los efectos antes mencionados, según Camacho *et al.*, (2001) las cenizas se encuentran en relación con la tasa de extracción de la harina, a medida que aumenta la tasa de extracción, la harina contiene más elementos de la periferia del grano, más ricos en materias minerales que el endospermo y, por tanto, mayor será el contenido en cenizas, como se puede observar en la tabla 10, el contenido de cenizas es bajo debido a que son harinas blancas, obtenidas directamente del endospermo, sin interferentes como salvado, al contrario de lo que se espera harinas integrales.

Callejo (2002) menciona que el contenido de proteína en harinas de trigo puede oscilar entre un 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, para panificación se requiere como mínimo un 9% de proteína para obtener buenos resultados en el producto final, en la tabla 10, se muestran los resultados del análisis de proteína, en el caso de la harina obtenida por molienda del grano de trigo el contenido de proteína es alto, incluso es significativamente mayor que el contenido en el grano de trigo, esto se debe a que después de la molienda son liberados compuestos nitrogenados que se encuentran en el centro (Cauvain *et Young*, 1998) 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.

La grasa, es un parámetro que se considera irrelevante, ya que es uno de los componentes minoritarios en la composición del grano (Serna, 2001). Lo que en harinas comerciales si podría parecer relevante porque pueden ocasionar reacciones de oxidación lipídica y así afectar su vida de anaquel (Feillet, 2000). En la tabla 10, se pudo 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 en donde se concentran los lípidos del grano para evitar reacciones indeseables y también obtener un color más blanco, en harina de trigo, el valor nos indica que tal vez parte del germen no se separó del todo del endospermo y paso a la harina

El contenido de fibra en el grano es bajo, como se puede observar en la tabla 10, por lo que en la harina obtenida a partir de ese grano también resulta bajo, pero 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 constituyente, en la tabla 10 se puede observar que es el parámetro que tiene el porcentaje más grande tanto en el grano de trigo, como en las harinas, los carbohidratos participan en el proceso de fermentación, en la absorción de agua, en general son los responsables de las características más importantes de los productos de panificación (Cauvain *et* Young, 1998).

La materia prima a partir de la cual se obtuvo la harina de trigo así como ésta, según el análisis proximal, fue viable para ser utilizada 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 Microscopia electrónica de barrido.

Una gran variedad de microscopios y técnicas de imágenes han sido utilizadas para estudiar y documentar la microestructura de los granos de cereales y sus cambios durante su procesamiento (Belitz *et Grosch*, 2000). Debido a esto se presentan las microestructuras de las diferentes fracciones obtenidas por molienda del grano de trigo como son: salvado, sémola, semolina y harina, éstas fueron observadas a una amplitud de 100X, 500X, 1000X y 2000X utilizando un flujo de electrones de 2.5KV, con el objetivo de observar cada uno de los componentes en las diferentes fracciones, así constatar que el porcentaje de extracción fue bueno y que en la harina no se encontraran interferentes o restos de otras fracciones, gracias a este análisis se comprobó que la harina con la que se trabajó estaba pura.

Así como la microestructura de harina comercial, para comparar las estructuras de las diferentes harinas y rectificar que eran similares; también para asegurar que la harina comercial no contenía adulterantes como pueden ser: féculas de papa o de otros granos (Codex Alimentarius, 1995).

De manera general algunas imágenes muestran a los gránulos de almidón que presentan formas en su gran mayoría circulares, pero se observan de distintos tamaños, también se observan conglomerados de proteínas adheridas a la superficie de los gránulos de almidón, además de estructuras en forma de hilos que son fibras o restos de estas (Gallant *et al.*, 1997).

De acuerdo a lo mencionado por McDonough *et Rooney* (1999), las estructuras en forma de hilos se observan en el caso de que la molienda no haya

sido adecuada, pueden deberse a partículas de fibra que se quedaron adheridas en la sémola.

En la figura 8, se pueden observar las micrografías de las diferentes fracciones de la molienda (salvado, sémola y harina de trigo) así como de harina comercial tomadas a una amplitud de 2000X.

En las micrografías A y B de la figura 8, se observa que existen diferentes tamaños de partícula, la mayoría presenta una estructura circular la cual se refiere a los gránulos de almidón ya que es uno de los componentes mayoritarios en las harinas y es lógico encontrar gran cantidad de éstas estructuras, aunque son de mayor tamaño y mejor definidos en la micrografía B por los procedimientos que siguen a nivel industrial. En la micrografía A, se observan también unas redes que envuelven a los gránulos de almidón, se refieren a proteínas que en el caso de la micrografía B se observan pero adheridas a los gránulos y son más pequeñas ya que como se pudo probar en el análisis proximal el contenido de proteína en la harina de trigo es de 16%, es un valor alto, por esta razón se observan claramente y en mayor cantidad las proteínas en la micrografía A.

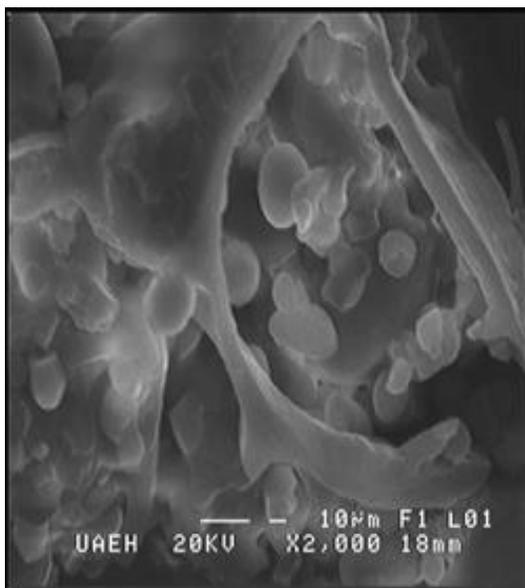
La sémola es un producto de la molienda, que contiene gran cantidad de productos de la periferia del grano (Cauvain *et* Young, 1998), son los finos del tamiz de descascarillado, pueden pasar a un sistema de purificación para una mayor extracción o ser desechados, ésta fracción es característica por contener un poco de todo, almidón, proteínas, fibras y lípidos (Camacho *et* Aguilar, 2002). Como se puede observar en la micrografía C de la figura 8, hay estructuras redondas en cantidades considerables, que corresponden a almidón, estas estructuras tienen a su vez conglomerados de proteínas adheridos y también se observan estructuras en forma de hilos que son un indicio de restos de fibra.

Cauvain *et* Young (1998), menciona que el salvado es el resultado del descascarillado, que es la separación de los gruesos de mayor tamaño, este se

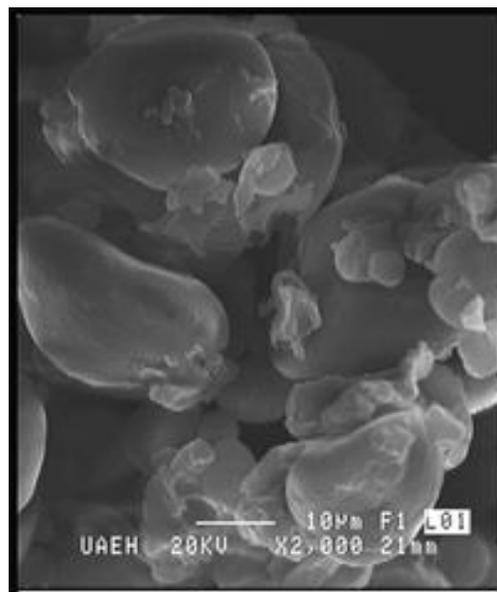
separa con fragmentos del endospermo en el momento de la molienda, al contener restos del endospermo, en la micrografía D también se observan estructuras redondas y grandes correspondientes a gránulos de almidón debería de ser nulo el contenido de almidón, pero su presencia es casi escasa, también se observan estructuras redondas pequeñas adheridas a estos gránulos que son proteínas ya que el salvado se caracteriza por ser rico en proteínas y lípidos

Figura 8. Micrografías de los productos de molienda a 2000X.

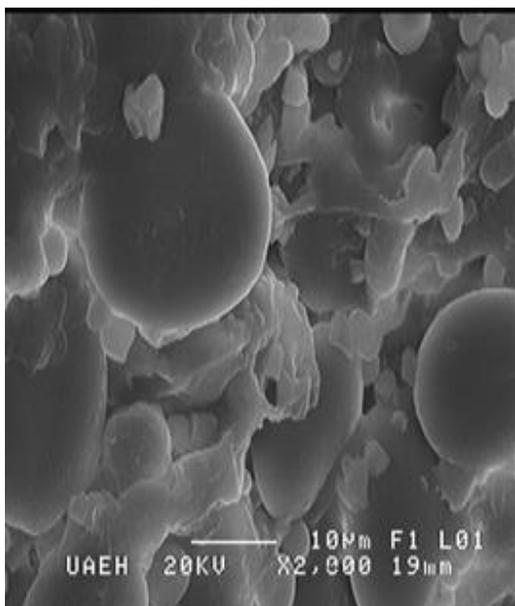
a) harina de trigo, b)harina comercial, c) sémola, d)salvado.



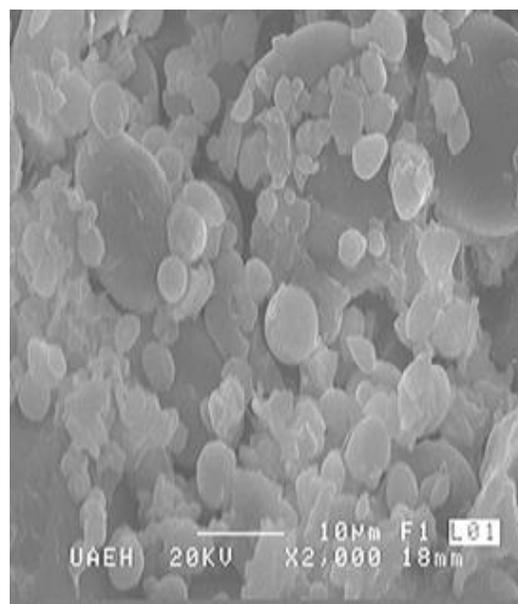
A.



B.



C.



D.

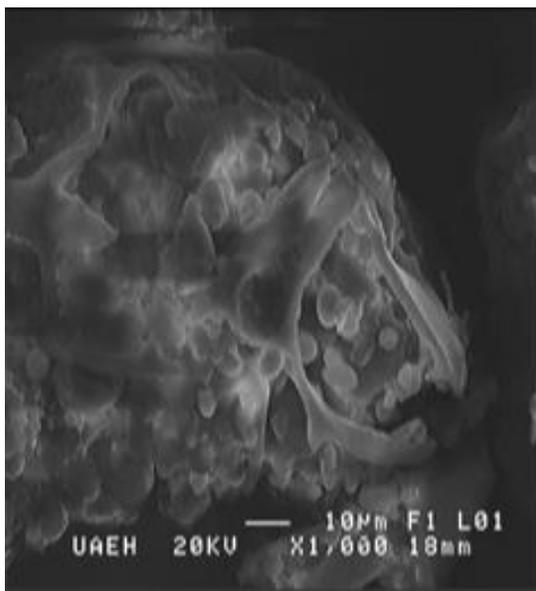
En la figura 9, se muestran micrografías tomadas a una amplitud de 1000X. Como se puede observar en la micrografía A hay estructuras redondas y pequeñas de diferentes tamaños y como son las estructuras más abundantes, se puede decir que son gránulos de almidón, en éste caso, las proteínas se observan en forma de redes que engloban al almidón a diferencia de la micrografía B en donde se pueden observar adheridas a los gránulos y son muy visibles, éstos siguen teniendo tamaños más uniformes y estructuras bien definidas, también se puede observar que el contenido de proteína sigue siendo menor que en la micrografía A

En la micrografía C, se siguen observando los gránulos de almidón, éstos ya son más escasos, se debe a que entre mayor es la granulometría de las fracciones, es menor la cantidad de almidón y los que se observan se ven de manera más clara, también están presentes estructuras en forma de hilos que representan restos de fibra porque a mayor granulometría mayor será la presencia de éstas estructuras, por tal motivo en las harinas integrales están muy presentes porque este tipo de harina se obtiene de la molienda completa del grano, sin eliminar ninguna fracción, las proteínas son escasas, pero se pueden observar al igual que en las micrografías de la figura anterior adheridas a los gránulos.

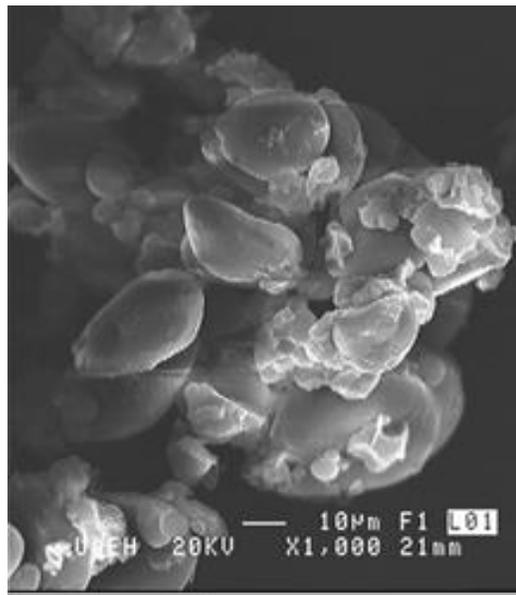
En la micrografía D, se observan los gránulos de almidón en pocas cantidades, pero la presencia de proteínas es más visible algunas adheridas a los gránulos y otras solas, aunque las estructuras más abundantes son las fibras, estas entidades se localizan principalmente en las envolturas del grano y en el pericarpio (Serna, 2001), por tal motivo en la micrografía D son más evidentes.

Figura 9. Micrografías de harina, sémola y salvado a 1000X.

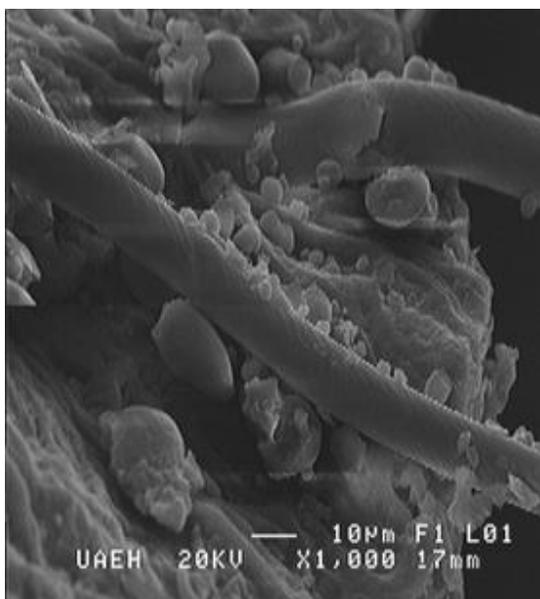
a) harina de trigo, b) harina comercial, c) sémola, d) salvado.



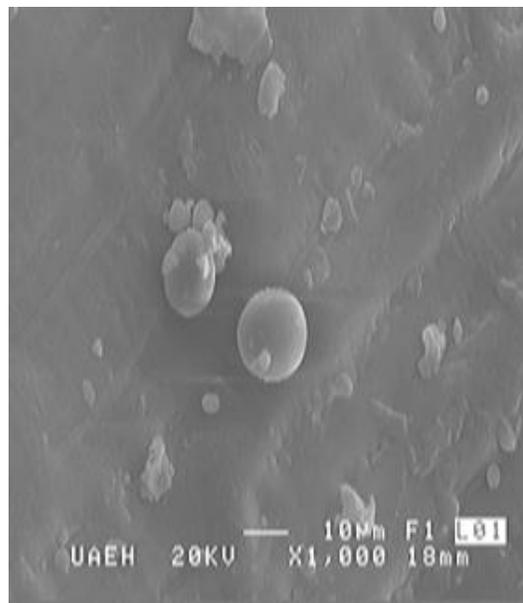
A.



B.



C.



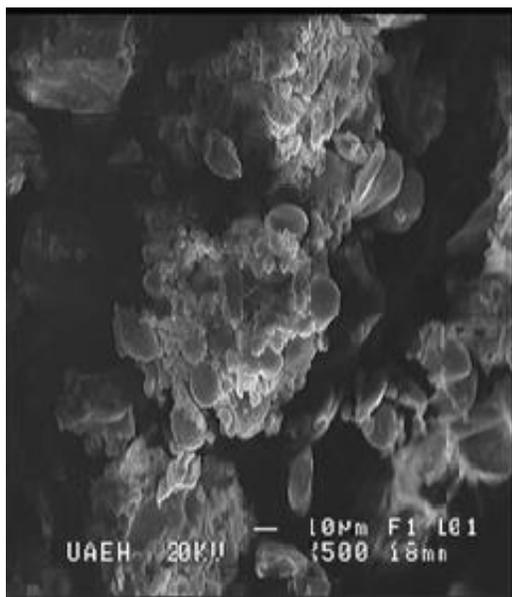
D.

En la figura 10 se muestran micrografías tomadas a una amplitud de 500X. En la micrografía A se siguen observando los gránulos de almidón, éstos tienen una forma redonda más uniforme que en las micrografías de las figuras anteriores y se encuentran aglomerados, efecto de la amplitud a la que fueron tomadas, la presencia de proteínas no es visible, aunque en la micrografía B se observan los mismos conglomerados de almidón, con algunas estructuras adheridas que son proteínas

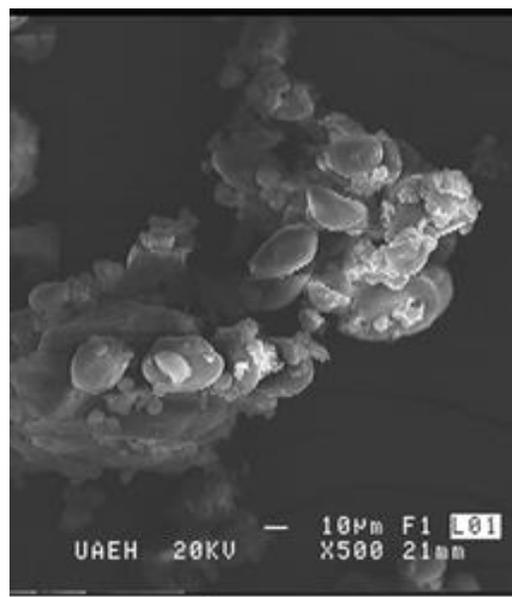
En la micrografía C, se siguen observando los gránulos de almidón, éstos ya son más escasos, también están presentes estructuras en forma de hilos que representan restos de fibra, a esta amplitud es más evidente que son las estructuras más abundantes, las proteínas son escasas, pero no se pueden observar al igual que en las micrografías de la figura anterior adheridas a los gránulos esto se debe a que son las estructuras más pequeñas y necesitan una mayor amplitud para ser visibles.

En la micrografía D, se observan los gránulos de almidón en pocas cantidades, con estructuras redondas y ovoides bien definidas, pero la presencia de proteínas es poco visible debido a la amplitud, pero las que se observan están sobre las fibras, en este caso están solas y no se observan adheridas a los gránulos de almidón, aunque las estructuras más abundantes siguen siendo las fibras.

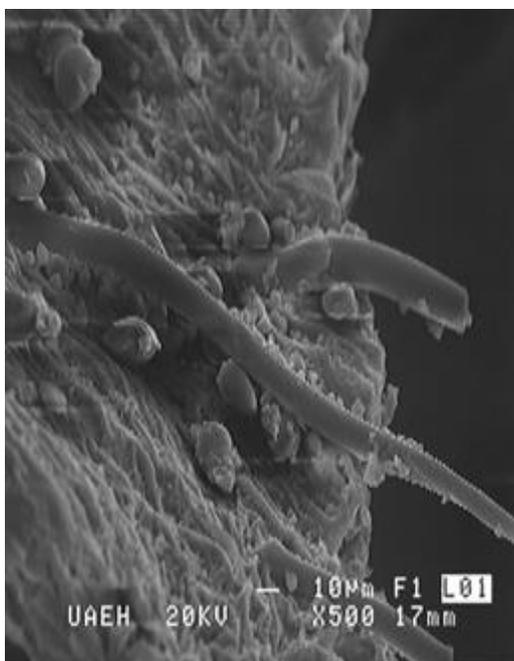
Figura 10. Micrografías de las fracciones de molienda a 500X
a) harina de trigo, b)harina comercial, c) sémola, d)salvado.



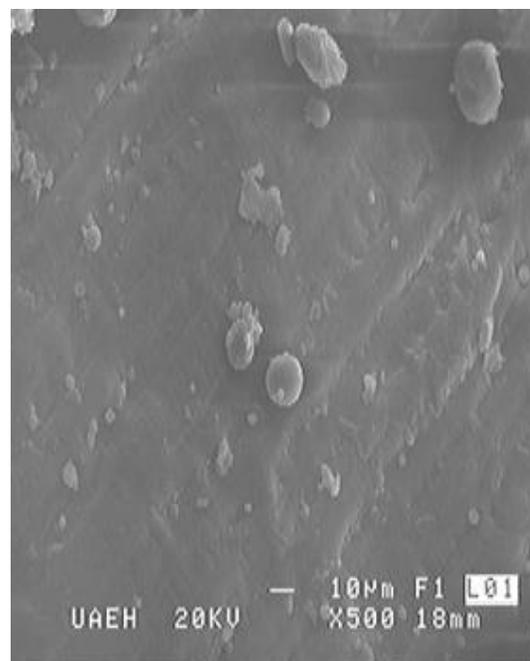
A.



B.



C.



D.

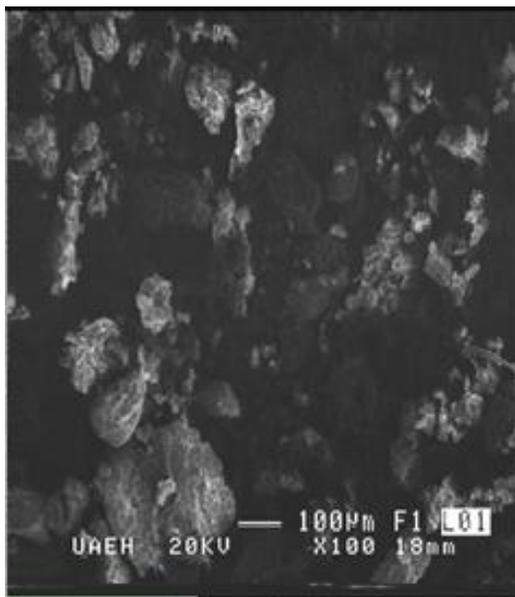
En la figura 11, se muestran las micrografías tomadas a una amplitud de 100X

En las micrografías A y B se observan estructuras en forma de piedras en ambas son abundantes, estas estructuras son las únicas que se pueden observar por tal motivo se puede decir que corresponden a gránulos de almidón, por efecto de la amplitud no se observan los conglomerados de proteínas como en las figuras anteriores.

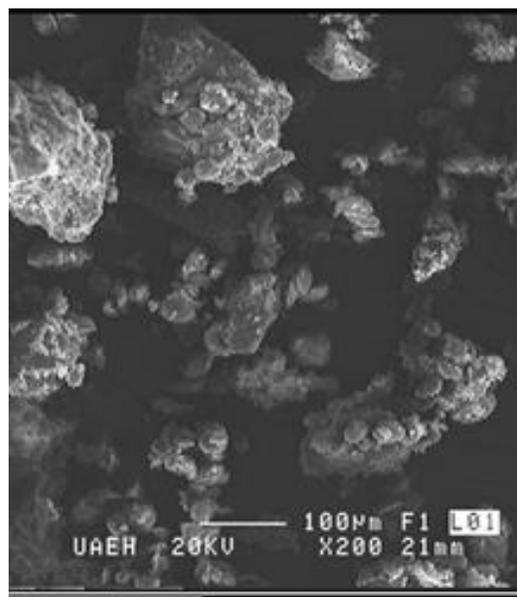
En la micrografía C se siguen observando gránulos de almidón en forma de piedras, pero éstos tienen adheridas estructuras en formas de son poco visibles, pero indican restos de fibra hilos (McDonough *et* Rooney, 1999), en comparación con la micrografía D, estas estructuras son muy abundantes e incluso se pueden observar en forma de láminas con pocos gránulos de almidón adheridos, los gránulos de almidón son poco visibles, por efecto de la amplitud y porque en el salvado no son muy abundantes.

Con el análisis en el microscopio electrónico de barrido (MEB) de las diferentes fracciones obtenidas en el proceso de la molienda, se comprobó que la harina de trigo obtenida por proceso de molienda estaba libre de interferentes como restos de otras fracciones y la harina de trigo comercial estaba libre de adulterantes, también se pudieron analizar las estructuras y la composición de cada una de las fracciones.

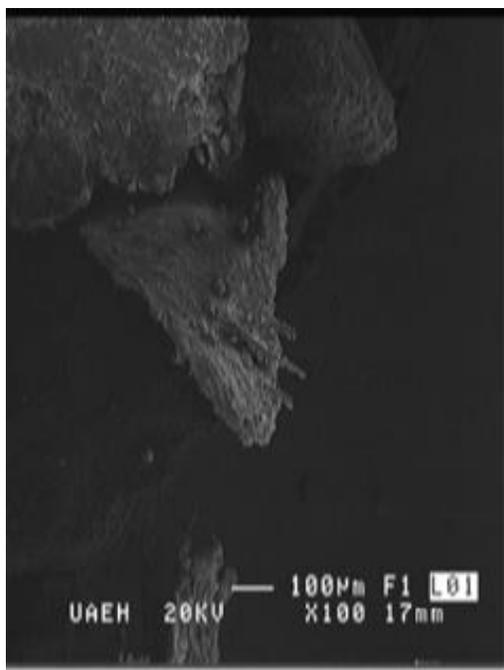
Figura 11. Microscopia electrónica de barrido a 100X
a) harina de trigo, b)harina comercial, c) sémola, d) salvado.



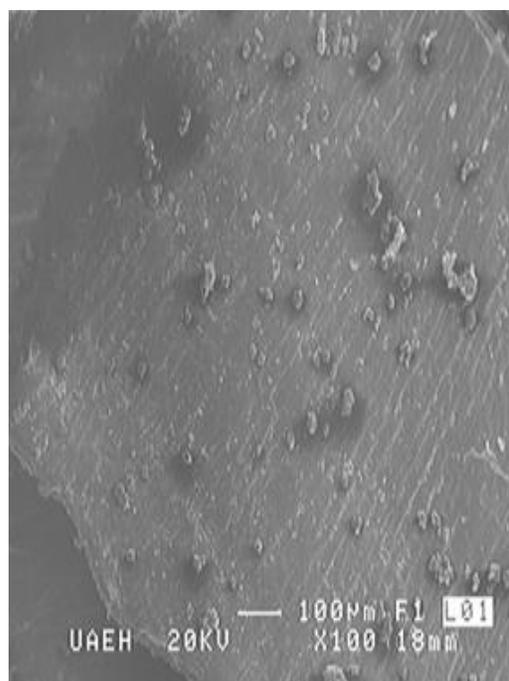
A.



B.



C.



D.

5.4.2 Tamaño de partícula.

El tamaño de partícula es un parámetro muy importante ya que 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 (Camacho *et al.*, 2001)

Según Feillet (2000), los tamaños de partícula deben ser para harina: 20 - 200 μm , semolina 150 - 500 μm , sémola 0.5-1mm y para salvado 1-5 mm. En la tabla 11, se pueden observar los promedios de los tamaños de partícula en el caso de harina comercial, el 50% de la población tuvo un tamaño de partícula de 65.58 μm , esto comparado con lo reportado en la bibliografía queda dentro de los parámetros establecidos, al igual que la harina de trigo obtenida por el proceso de molienda porque el 50% de la población tuvo un tamaño de partícula de 101.7 μm , ninguno de los dos valores quedo fuera de lo establecido, por tal motivo, se puede considerar harina, al producto que se obtuvo después del proceso de molienda del grano de trigo, como es un parámetro que nos da un indicio de almidón dañado, es muy probable que el almidón se encontrara en buenas condiciones.

La harina comercial tiene un tamaño de partícula más pequeño que el de la harina de trigo porque a nivel industrial la etapa que se evita para lograr tamaños de partícula muy pequeños es la compresión, su objetivo es reducir las sémolas y semolinas ya limpias y 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, simplemente estas fracciones son eliminadas del sistema y solo se obtiene harina blanca, directamente del endospermo (Camacho *et al.*, 2001, Callejo, 2002).

La fracción que presentó un tamaño de partícula mayor fue la sémola, ya que ésta fracción tiene restos de salvado, el tamaño de partícula más grande debería de

corresponder al salvado, pero para éste análisis se decidió no analizarlo, porque su tamaño de partícula excede la capacidad del equipo y no es uniforme.

Tabla 11. Promedio de tamaño de partícula (D%) en μm .

Producto	D10	D25	D50	D75	D90
Harina comercial	12	28	66	125	183
Harina de trigo	20	48	102	170	296
Sémola	17	201	532	708	944
Semolina	15	86	258	383	499

5.4.3 Determinación de color de las harinas

Esta prueba se realizó con la finalidad de ver la diferencia que existe entre el color de la harina comercial y la harina de trigo y así saber si es un parámetro que puede afectar ya que es posible que al final se obtenga un pan descolorido. Como se muestra en la tabla 12 los parámetros son distintos, la harina comercial presenta un índice de blancura (valor L) mayor que la harina obtenida por molienda del grano de trigo, Camacho *et al.*, (2001) menciona que el color está relacionado con los pigmentos del trigo y con el salvado que inevitablemente quedan en la harina. Si el acondicionamiento no fue bien realizado y la molienda no permitió una buena separación del salvado habrá partículas que den color a la harina, por este motivo el valor de L en la harina de trigo, fue mayor ya que en procesos industriales también son usados compuestos químicos como cloruros para blanquear las harinas y también el proceso de extracción es muy eficiente.

Tabla 12. Valores L, a y b de harina de trigo y comercial

Harina	L	a	B	Color
Comercial	94.6 (0.05)	0.42 (0.01)	8.1 (0.006)	
Trigo	91.8 (0.02)	0.81 (0.01)	10.7 (0.03)	

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

Con respecto al parámetro a, es mayor en la harina de trigo que en la comercial, porque están presentes mayor cantidad de pigmentos, es lo mismo que sucede con el parámetro b, sigue siendo mayor en la harina de trigo

5.4.4 Capacidad de absorción de las harinas.

Se calculó el porcentaje de CAAS en las harinas de trigo. Según Serna, 2001, la rápida absorción de agua está directamente relacionada al endospermo suave, mientras que si el gran tiene un endospermo duro, la absorción de agua será más lenta. En éste caso como se observa en la tabla 13 la harina de trigo obtenida por el proceso de molienda del grano de trigo fue la que tuvo el mayor porcentaje, en tanto la harina comercial tuvo el menor porcentaje, esto puede ser ocasionado porque la harina comercial tiene menor cantidad de proteína y de carbohidratos, y éstos componentes químicos pueden influir en la CAAS. Si se toman en cuenta las interacciones que se dan entre la proteína y el agua (principalmente), esta nueva estructura que se forma por agregación puede retener agua por acción física. Así mismo a mayor porcentaje de estos componentes, mayor retención de humedad en el grano (Román, 2002, Torres *et* Guerra, 2003)

Tabla 13. Análisis de calidad física realizados a la harina de trigo y comercial

VARIEDAD (HARINA)	%CAAS	IAA(G GEL/G SÓLIDOS)	ISA (G SÓLIDOS/ /G SÓLIDOS ORIGINALES)	%CH 60°C	%CH 70°C	%CH 80°C	%IRAA
Harina de trigo	72 (2.5)	7.4 (0.5)	2 (0.06)	8.4 (1.0)	9.4 (0.1)	8.2 (0.7)	135 (1.8)
Harina comercial	64 (1.5)	7.3(0.3)	1.8 (0.3)	8.0 (0.3)	8,7 (0.0)	8.4 (0.02)	145 (3.0)

*() Desviación estándar

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

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 y el porcentaje de almidón dañado en la molienda (Guzmán, 2005).

De acuerdo con lo reportado por Guzmán, 2005, el análisis de las propiedades de hidratación se realiza para determinar la cantidad de agua necesaria para formular una masa, y así poder hidratar adecuadamente sin desaprovechar el contenido de agua.

El ISA y el IAA, indican el peso de sólidos secos y el peso del precipitado respectivamente. Con este análisis se determinó cuál de las harinas absorbió más agua según su contenido, la calidad de su proteína y el porcentaje de fibra que contengan. Este factor evalúa la calidad de la harina en cuanto a la pérdida de sólidos en agua.

Con respecto al IAA la harina de trigo tuvo el valor mayor, ya que es estadísticamente diferente que la harina comercial, lo cual influye directamente en la humedad, ya que en el análisis proximal la harina comercial tiene una humedad más baja que la harina de trigo. El aumento de IAA en harinas podría estar relacionado con la presencia de almidón dañado (Román, 2002).

El valor de ISA es mayor en la harina de trigo que en la harina comercial, son estadísticamente diferentes, éste valor está relacionado con la presencia de moléculas de almidón solubles, lo cual se relaciona con la dextrinización (Román, 2002). Este comportamiento puede ser causado por la degradación de almidón, debido a la presión de corte sobre éste durante la molturación.

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 el gránulo a su hinchamiento (hinchamiento de poros). El hinchamiento se acelera por calentamiento (Petrick, 2009). Se observa que estos 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, ya que el gránulo de almidón revienta y ya no es capaz de retener agua, como fue a 80°C porque el valor disminuyó.

En la última columna se observan los resultados obtenidos en el %IRAA, éste es un parámetro en el cual también se evalúa la tolerancia de la harina al agregar sal durante la incorporación de ingredientes en el 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 de galletera y elaboración de pastas para pizzas.

5.5 EVALUACIÓN DEL PAN

5.5.1 Absorción de agua a diferentes concentraciones de enzima

Uno de los efectos de las xilanasas es convertir los pentosanos insolubles del trigo en solubles los cuales ligan el agua a la masa disminuyendo su firmeza, incrementando el volumen, disminuyendo ligeramente la extensibilidad y creando migas más finas y uniformes (Butt *et al.*, 2007), por tal motivo la absorción de agua fue uno de los efectos que se evaluó. La prueba se realizó mezclando todos los ingredientes, las masas fueron preparadas con las diferentes concentraciones de xilanasas, levadura, royal respectivamente y sin nada, para comparar la absorción de cada uno de los aditivos, se realizó una corrida con harina comercial y con harina de trigo.

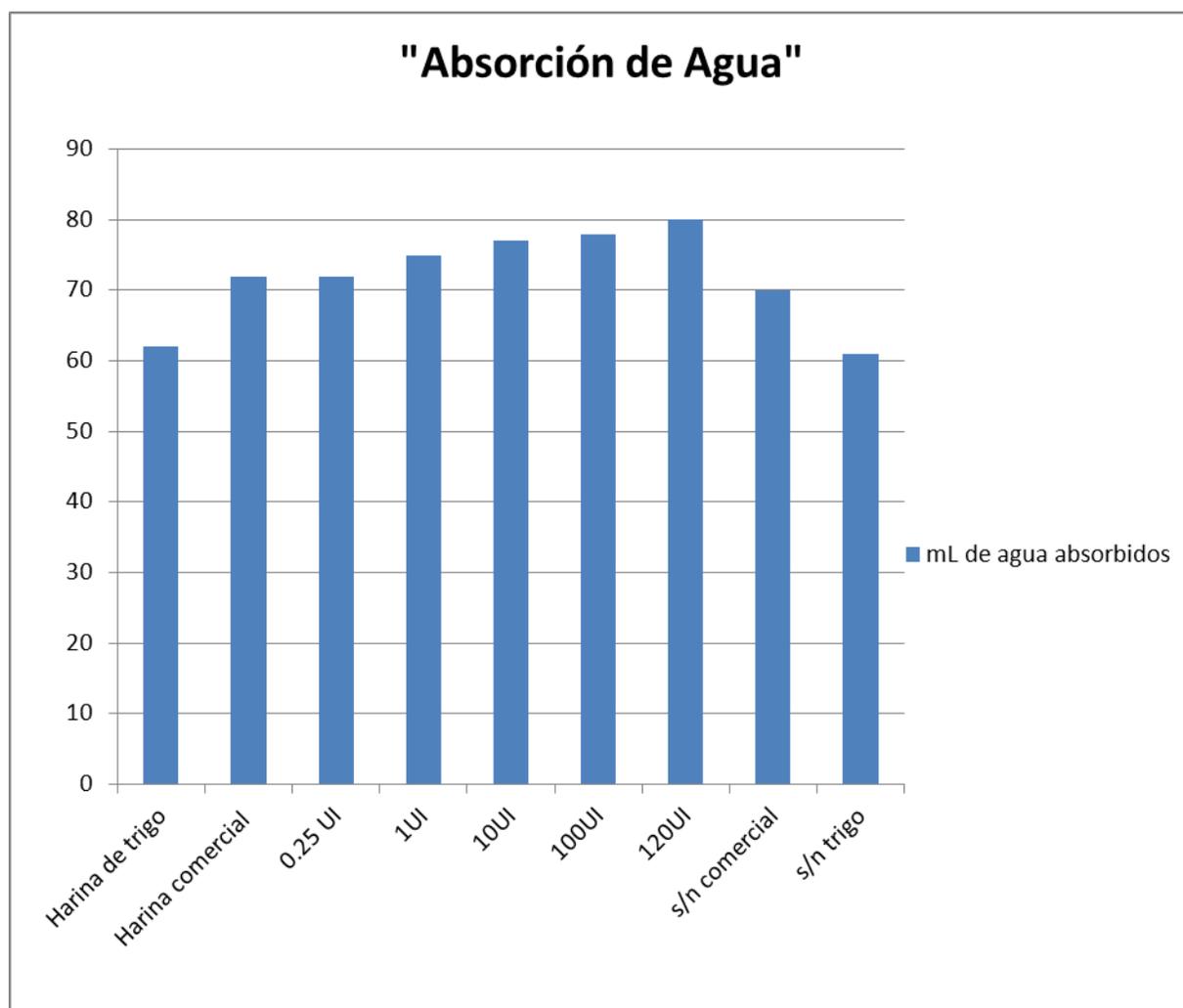
La absorción de agua cuando se realizó la prueba con harina de trigo y harina comercial con la adición de levadura y royal fue la misma, no hubo ninguna variación, las masas preparadas con harina de trigo + levadura y harina de trigo + royal tuvieron la capacidad de absorber los mismos mililitros de agua por tal motivo en la figura 14 aparece simplemente como harina de trigo, el mismo caso ocurrió en harina

comercial, no hubo variación en la absorción de agua, pero en general hubo mayor absorción en harina comercial que en harina de trigo, porque como ya se mencionó anteriormente, la capacidad de absorción está relacionada con la humedad inicial del producto, por tal motivo en la prueba que se hizo con xilanasas se utilizó la harina de trigo, debido a que tenía una menor absorción de agua y como ya se mencionó absorber agua es uno de los principales efectos que causa la adición de xilanasas y esta fue una manera de comprobar que la adición de enzima tenía efecto sobre éste parámetro.

En la figura 12, se puede observar que la mayor absorción fue a la concentración de 120 UI, que fue la concentración más alta, debido a que como menciona Ponce *et Pérez* (2002) las xilanasas son enzimas hidrolíticas que participan en el rompimiento de los enlaces glicosídicos β -1,4 presentes en los polisacáridos celulosa y hemicelulosa, respectivamente y en la harina de trigo, los xilanos están presentes principalmente como arabinoxilanos, (Al-Wydyan *et al.*, 2008), tienen un papel muy importante en la calidad del pan, debido a su gran capacidad de absorción de agua y a la fuerte interacción con el gluten (Butt *et al.*, 2007), pueden ser tanto solubles en agua como insolubles, los pentosanos solubles en agua absorben alrededor de 10 veces su peso en agua (Al-Wydyan *et al.*, 2008).

Cuando se realizó la prueba sin enzima, sin levadura y sin royal en harina comercial (s/n comercial, fue un testigo) y en harina de trigo (s/n trigo), los resultados fueron similares a los obtenidos cuando se realizó con levadura y con royal, no hubo variaciones. Esto quiere decir que algunos ingredientes no tienen la capacidad de absorber agua a diferencia de los pentosanos (Sluimer, 2005)

Figura. 12. Absorción de agua por las masas.



5.5.2 Evaluación de la impronta

El interés principal de las características internas se limita normalmente al tamaño, número y distribución de los alveolos en la 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.

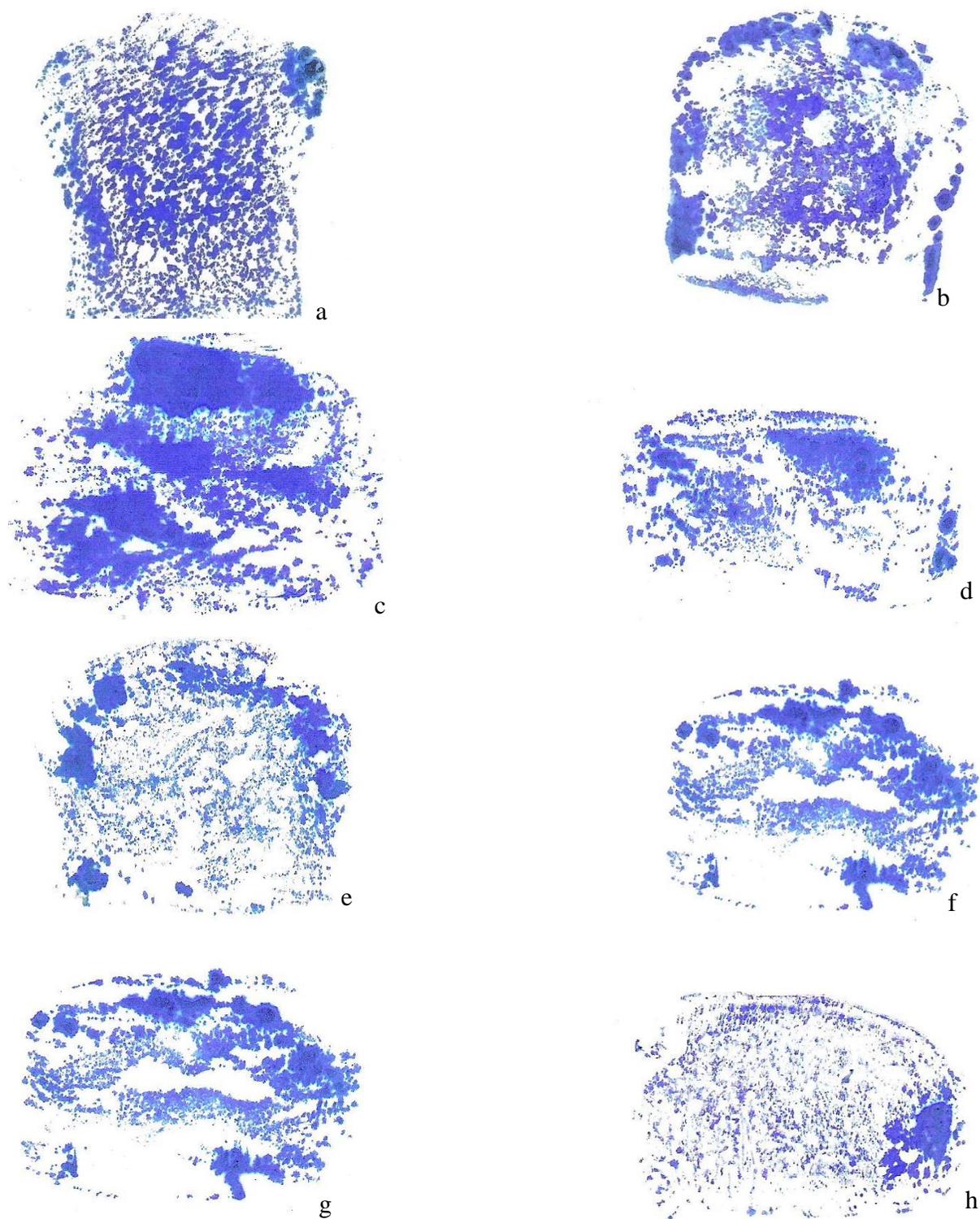
De acuerdo a lo mencionado por Cauvain *et* Young, (1998) la estructura alveolar de la miga es uno de los atributos más importantes de las características del pan, pero aun así el método que se utiliza para valorarlo es muy subjetivo.

En la figura 13, se pueden apreciar las migas de los panes elaborados a distintas concentraciones de enzima, así como los elaborados con levadura y royal, en general en el sello a, se observa una distribución de celdillas uniforme, lo que indica que hubo buena aireación durante el amasado y por lo tanto el CO₂ producido durante la fermentación se difundió correctamente y no salió de la masa haciendo que el producto tenga el volumen adecuado y migas uniformes.

En el sello b, se observa que las celdillas son poco uniformes, lo que indica que no hubo buena aireación durante el amasado y el CO₂ no se difundió correctamente.

En los sellos restantes, se puede observar que las celdillas son totalmente desiguales, no presentan uniformidad, lo cual podría suponer que durante la cocción no se produjeron celdillas interconectadas entre sí, también intervino el proceso de fermentación, ya que durante la cocción de la masa fermentada se transforma en una estructura esponjosa de celdillas interconectadas. Uno de los aspectos más importantes 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. Estos 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 (Cauvain *et* Young, 1998, Sluimer, 2005). En el caso específico de los sellos c – g, la causa pudo ser que la enzima no fue capaz de actuar sola, aunque la temperatura a la cual se fermento la masa fue la temperatura óptima de la enzima (40°C), se pudo deber también al tiempo de fermentación, la enzima tal vez necesitaba más tiempo que la levadura y que el royal. Aunque el sello e, que fue la concentración media de enzima, mostró mayor uniformidad en sus migas, como un control se utilizó un pan sin nada, que es conocido como un pan ácimo, éste pan también mostró uniformidad, aunque no buen volumen. En general la enzima solamente en su concentración media mostró resultados favorables en la distribución de migas.

Figura 13. . Evaluación de la impronta de panes hechos con harina de trigo con: levadura, royal, testigo y diferentes concentraciones de enzima.

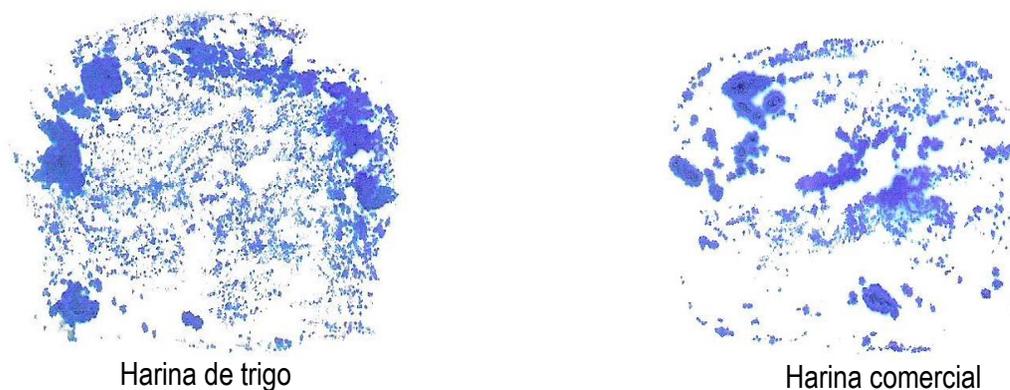


*a(levadura), b(royal), c (0.25UI), d(1UI), e(10UI), f(100UI), g(120UI) y h(testigo).

En la figura anterior, como se observó que la concentración media de enzima (10UI), fue la que dio mejores resultados, se probó con harina comercial y harina de trigo, para analizar en cuál dio mejores resultados.

Como se puede observar en la figura 14 los mejores resultados se obtuvieron en harina de trigo, esto puede ser porque esta harina se obtuvo de manera artesanal y se extrajo del endospermo en el cual quedan mayor cantidad de pentosanos y sobre estas estructuras actúan las enzimas al contrario de lo que sucede con la harina comercial, tal vez el proceso de purificación o de extracción, hace que éstas estructuras estén en cantidades trazas.

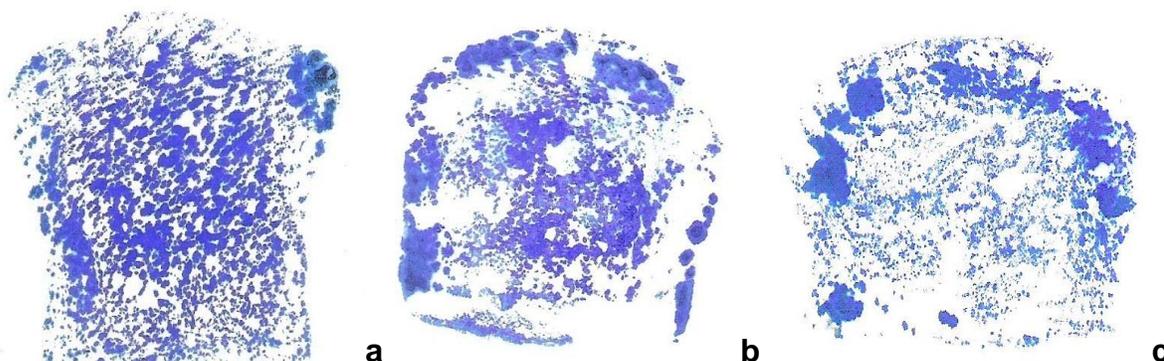
Figura 14. Evaluación de la impronta con enzima de 10 UI en ambas harinas.



En la figura 15 se pueden observar los sellos de los panes elaborados con levadura, royal y una mezcla de levadura con una concentración de enzima de 10UI, se compararon las características que le brindan cada uno de los aditivos, se puede observar en el sello a como ya se había mencionado una distribución de celdillas uniforme, en el sello b se observa que las celdillas son poco uniformes ya que el CO₂ no se difundió correctamente, pero en el caso del sello c. a diferencia del sello a y b, se observa que con la mezcla se logró una mejor distribución de las migas lo que indica que cada uno de los aditivos hicieron su respectivo trabajo, la levadura contribuyó a una excelente distribución del CO₂ ya que es el papel de la levadura en

el pan, producir CO₂ y etanol y las xilanasas contribuyen a crear migas más finas y uniformes (Butt *et al.*, 2007).

Figura 15. Evaluación del pan: levadura, royal y levadura - enzima a 10UI.



*a (pan con levadura), b(pan con royal) y c(mezcla de levadura con enzima 10UI)

5.5.3 Análisis físicos

En la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos de los diferentes análisis de los panes seleccionados. Para esta prueba se utilizó un testigo, éste pan fue elaborado con harina de trigo, sal, azúcar y agua.

Tabla 14. Análisis físicos del pan

Panes	%Pérdida de peso	Volumen (cm ³)	Densidad
Levadura	13 (0.3)	370 (2.3)	0.36 (0.01)
Royal	17 (1.6)	293 (1.1)	0.51 (0.02)
enzima 0.25 UI	27 (0.8)	92 (0.4)	1.72 (0.02)
enzima 1 UI	26 (1.5)	112 (0.9)	1.53 (0.02)
enzima 10UI	26 (1.3)	124 (0.4)	1.56 (0.01)
enzima 100UI	28(0.3)	78 (0.3)	1.82 (0.02)
enzima 120 UI	26(1.3)	105 (0.6)	1.64 (0.03)
Testigo	16(1.1)	79 (0.8)	1.59 (0.02)
Levadura + enzima (10UI)	15 (0.4)	142 (7.7)	1.19(0.07)

*() Desviación estándar

En la primera columna se observan los resultados de pérdida de peso. El pan que presento una mayor pérdida fue el pan elaborado con una concentración de

enzima de 100 UI esto indica que sufrió una mayor evaporación en su superficie, ocasionando que la corteza fuera más dura que las demás muestras. Ésta evaporación conduce a que la humedad del producto final disminuya esto provoca que la pérdida de humedad y de peso sean parte fundamental en la formación de la corteza, el que presentó una menor pérdida de peso fue el elaborado con levadura. La pérdida de peso es causada por la evaporación de agua en la superficie de la masa durante el proceso de cocción que la deseca y por lo tanto, permite la formación de una corteza firme y tostada (Sluimer, 2005).

Respecto al volumen el pan que presentó un mayor volumen fue el elaborado con levadura. Esto indica que fue mejor la retención de gas en la red de gluten al igual que una buena penetración de calor durante la cocción, lo cual hace que los gases se expandan, incrementando así el volumen del pan, ya que el incremento de la temperatura aumenta la presión en los gases y causa la expansión en las celdillas. El aumento de volumen también se debe a que los gránulos de almidón empiezan a incorporar agua durante la fase de cocción.

En cuanto a la densidad de los panes, se observó que el pan elaborado con una concentración de enzima de 1UI tuvo una menor densidad lo cual indica que la estructura de la miga alveolar es más compacta. Al contrario de lo que ocurrió con el pan elaborado con levadura ya que al ocupar un mayor espacio su estructura alveolar es más suave y por lo tanto el pan es más esponjoso. Éstas son las características sensorialmente deseables.

Al realizar la mezcla de levadura con una concentración de xilanasas de 10UI se observa en la tabla 14 que las características sensorialmente deseables las sigue proporcionando la levadura, sin embargo con esta mezcla también se obtienen resultados favorables, con respecto a la pérdida de peso, se comprobó que la enzima ayudó a fijar el agua y a evitar que el agua se evaporara en su totalidad, en cuanto al volumen, la enzima proporciona migas muy finas y uniformes, por tal motivo el volumen no es muy grande pero la retención de gas en la red de gluten fue buena

al igual que la penetración de calor durante la cocción. A menor densidad la estructura alveolar es más compacta y ocupa menos espacio en su estructura alveolar los resultados son panes poco suaves y poco (Sluimer, 2005). En este caso el resultado de densidad mostró lo contrario que tenía una buena estructura alveolar y se obtuvo un pan esponjoso y suave.

5.5.4 Vida de anaquel.

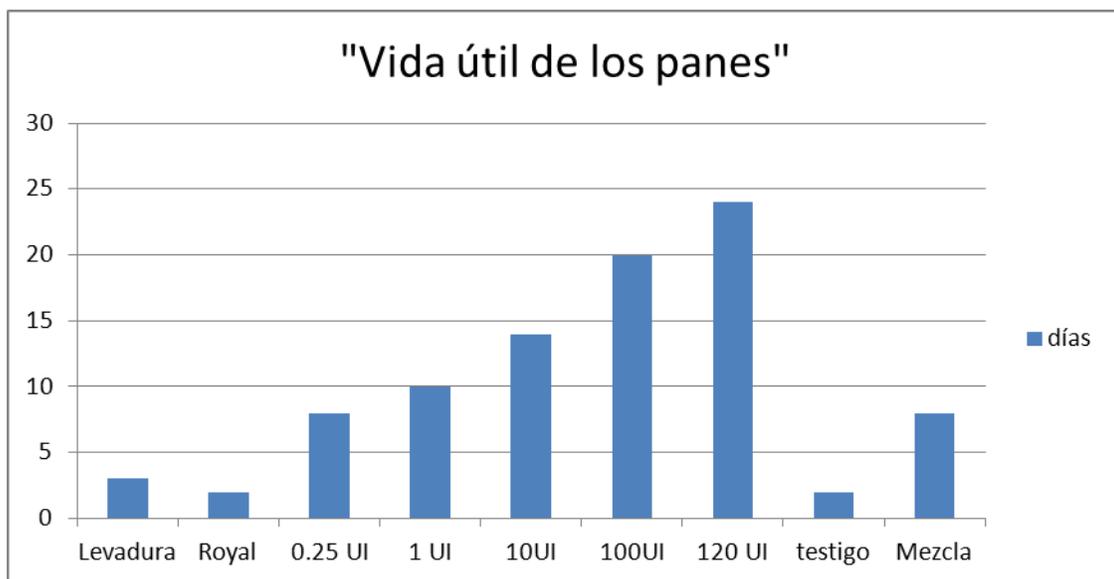
Especialmente las-xilanasas, se adicionan a la masa para mejorar su calidad, obteniéndose productos de panadería con mejor textura y sabor. El efecto de las xilanasas es incrementar el volumen específico de los panes, sin provocar un efecto colateral negativo en el manejo de la masa y para retrasar el endurecimiento por tanto, aumentan la vida útil (Ponce *et* Pérez, 2002).

En ésta prueba se monitorearon los panes desde el día de la elaboración, hasta la aparición de hongos y se comprobó que, como se puede observar en el figura 16 que el pan elaborado con una concentración de enzima de 120 UI tuvo una vida útil de 24 días, también se debe a que tuvo un mayor porcentaje de pérdida de peso, significa que perdió mucha agua por evaporación en el proceso de cocción y con esto puedo disminuir su A_w , al contrario de lo que sucedió con el pan elaborado con royal, que fue el que menos vida útil tuvo al igual que el testigo.

Los preparados enzimáticos se añaden con el propósito de frenar el envejecimiento rápido del pan. Se ha podido observar que retardan la velocidad de retrogradación del almidón.

En el caso especial de la mezcla de levadura con enzima (10 UI), transcurrieron 8 días hasta el crecimiento de hongos.

Figura 16. Monitoreo de la vida útil de los panes.





6.1 CONCLUSIONES

La materia prima después del análisis físico se constató que ésta fue de excelente calidad al tener tan solo un 0.3% de impurezas, de acuerdo a la NMX-FF-036-1996. Debido a lo anterior se trabajó con este grano y se sometió al proceso de molienda, después de acondicionarlo.

El rendimiento de la molienda fue bueno al obtener un 48% de harina flor larga, gracias a un buen acondicionamiento y tamizado.

La determinación del análisis proximal tanto del grano, como de harina de trigo obtenida a partir de la molienda, dieron valores aceptables para el uso que se pretendía darle, que fue panificación, y también el análisis efectuado a harina comercial simplemente sirvió como un comparativo para verificar que se trabajaba con harinas similares.

Respecto a la MEB, se observaron los gránulos de almidón presentes en las diferentes fracciones obtenidas tras la molienda, en algunas micrografías se observaron almidones de estructuras grandes y pequeñas, con redes proteicas y también fibras, lo cual indica q las harinas son favorables por sus estructuras para el proceso de panificación.

Con relación al tamaño de partícula, se observa que la media de la población de harina tanto comercial como de trigo, tuvo valores que están dentro de lo reportado en la bibliografía para elaborar panes.

Respecto a la determinación del color de las harinas, se observó que la harina comercial es más blanca que la que se obtuvo artesanalmente, ya que es muy probable que haya sido tratada con algún compuesto químico para blanquear y también está relacionado con el contenido de fibra, cenizas y lípidos.

VI. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En la calidad física de las harinas se observó que la harina de trigo tuvo un mayor porcentaje de CAAS, IAA e ISA, pero un menor porcentaje de IRAA lo cual indica que no tolera bien la cantidad de sal añadida a la mezcla para la formación de la masa a diferencia de la harina comercial que tuvo un mayor porcentaje de IRAA.

En cuanto a la absorción de agua a diferentes concentraciones de enzima, se observó que la concentración más alta de enzima que fue de 120 UI, mostró la mayor absorción, aproximadamente 10 ml más que la harina de trigo.

Mediante el proceso de panificación se determinó que la concentración de enzima que dio mejores resultados fue de 10UI, obteniendo una buena absorción de agua y mayor volumen, pero una mala textura, lo que indicó que el proceso de fermentación fue malo o que la enzima no pudo actuar sola.

Con relación a la vida útil, el pan que mostró una vida útil mayor fue el que se realizó con una concentración mayor de enzima al mantenerse libre de hongos por 24 días.

Las xilanasas que se utilizaron para la elaboración de pan, no mostraron efectividad en la textura del pan y el volumen ya que no pudieron superar las características obtenidas por el pan elaborado con levadura y harina de trigo, ya que no pudieron actuar solas sobre los restos de pentosanos que se encuentran en la harina, sin embargo cuando se utilizó una mezcla de levadura con una concentración de xilanasas de 10UI se obtuvieron mejores resultados y características sensorialmente aceptables.

6.2 PERSPECTIVAS

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

Se podría utilizar la enzima con harina integral que es la obtenida a partir de la molienda del grano de trigo, sin eliminar ninguna fracción ya que así la harina que resulta contendrá la mayor cantidad de pentosanos sobre los cuales puede actuar con mayor facilidad la enzima y también se recomienda el uso de levadura.

Posteriormente se puede realizar una investigación para evaluar el efecto de estas enzimas en harinas integrales tanto de trigo como de triticale, para obtener mejores efectos.

AACC (2002) Approved Methods of the AACC. 9th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.

Al – Widyana, O., Moayad, K., Khaled, A. (2008). The use of xylanases from different microbial origin in bread baking and their effects on bread qualities. *Journal of applied sciences* 8(4): 672-676

Anderson, A., Conway, H.F., Pfeifer, F., Griffin, L.(1969). Gelatination of corn frits by roll and extrusion cooking. *Journal of cereal Science*. 14:4, 11, 12.

AOAC Association of Official Analytical Chemist (1990).

Badui, S.D. (1996). Química de los alimentos. Logman de México Editores S.A. de C.V. Alhambra Mexicana, México D.F.

Barnola, P., Alarcón, P., Maza, M., Gavaldá, T., Salarich, E., Carreras, A., Saura, I., Sinclair, S. (1999) (en línea). “El mundo de las Plantas”. Disponible en: <http://www.botanical-online.com/trigo.htm>. Consultado el 3 de septiembre de 2009.

Béjar, M., Ammar, K. (2007) (en línea). Triticale, una Alternativa para el Norte de México. Disponible en: http://www.engormix.com/triticale_una_alternativa_norte_s_articulos_1425_AGR.htm Consultado: el 7 de noviembre de 2008

Belitz, H.D., Grosch, W. (2000). Química de los Alimentos. 2a. Edición. Ed. Acirbia. Zaragoza, España.

Buitrón, M., (2006) Principales aditivos utilizados en panificación. Disponible en: <http://www.alfa-editores.com/alimentaria/Sep-Oct%2006/ADITIVOS.pdf>.

Consultado el 7 de noviembre de 2008 de

Butt, M., Tahir – Nadeem, M., Ahmad, Z., Sultan, M. (2007) Xylanases and Their Applications in Baking Industry Food Technol. *Journal of Biotechnology*. 46 (1) 22–31.

Calaveras, J. (1996). Tratado de panificación y bollería. AMV Ediciones. Madrid, España.

Callejo, G. M. J. (2002). Industria de cereales y derivados. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

- Camacho, N., Aguilar, G., (2002) Production, Purification, and Characterization of a Low Molecular-Mass Xylanase from *Aspergillus* sp. and Its Application in Baking. *Applied Journal of Biochemistry and Biotechnology* Vol. 104, 2003
- Camacho, N. A., Díaz, K. M., Santillana, M. R., Velázquez, O.C. (2001). Manual de prácticas “Productos de cereales y leguminosas”, Facultad de química de la UNAM. Ed. O.C. Velázquez Madrazo. México.
- Cauvain, S. P., Young, S. L. (1998). Fabricación de pan. Ed. Acribia. 1era. Ed. Zaragoza, España.
- Cauvain, S .P., Mitchell, T .J. (1996) Effects of gluten and fungal alpha-amylase on CBP bread crumb properties. *FMBRA Report No. 134, December, CCFRA, Chipping Campden, UK.*
- Collins, T., Hoyoux, A., Dutron, A., Georis, J, Genot, B., Dauvrin, T., Arnaut, F., Gerday, C., Feller, G. (2006). Use of glycoside hydrolase family 8 xylanases in baking. *Journal of Cereal Science* 43: 79–84.
- Collister, L., Blake, A. (2001). Elaboración artesanal del pan. México (1ª ed.). Editorial Blume.
- De la Vega, G. (2009) “Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales” *Temas de Ciencia y Tecnología*. Disponible en: <http://www.buscagro.com/www.buscagro.com/biblioteca/JorgeDelaVega/Triticale.pdf> Consultado el 7 de noviembre de 2008 de
- Desrosier, N. (1999) “Elementos de la tecnología de alimentos”. 14ª. Edición. Ed. Continental, S.A. de C.V. Capítulo 14 “Tecnología a los productos horneados”.
- FAO. Food and Agriculture Organization. 2008. <http://www.fao.org>
- Feillet, P. (2000). Le grain de blé (composition et utilisation). Ed. INRA. Paris, Francia.
- Feillet, P., Dexter, J.E. (1996) Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. American Association of Cereal Chemist, St. Paul, MN.
- Gallant, D. J., Bouchet, B., Baldwin, P.M. (1997). Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. *Carbohydrate Polym.*, 32:177-191.

- Gambarotta, L. (2005). "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" Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina.
- Guzmán, O. F. (2005). Valoración de las propiedades físicoquímicas de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. LQA-UAEH.
- Hoseney, R.C. (1998). Principles of cereal: science and technology. 2ndEd. U.S.A.
- Igne, B., Gibson, L., Rippke, G., Schwarte, A., Hurburgh, C. (2007). Triticale moisture and protein content prediction by near-infrared spectroscopy (NIRS). *Cereal Chemistry* 84: (4), 328-330
- ISAGRI (Información y servicios para la agricultura), (2009). Las soluciones de isagri para simplificar la gestión de las parcelas de cultivos extensivos. Disponible en: www.isagri-espagne.terre-net.net/Revistadeprensa. Consultado: Julio 2009.
- Jagnow, G. (1991). Biotecnología introducción con experimentos de modelo. Ed. Acribia. España. 1997.
- Khan, K., Shewry, P. R. (2000). Wheat. Chemistry and technology. Ed. AACC. USA.
- Khandeparker, R., Numan, M., (2008). Bifunctional xylanases and their potential use in biotechnology. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 35:635–644
- Kill, R.C., Turnbull, K. (2004). Tecnología de la elaboración de pasta y sémola. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- López, P. (2005). Evaluación de la calidad de diferentes variedades de cebada (*Hordeum sativum jess*) cultivadas en los Estados de hidalgo y Tlaxcala. Tesis de Licenciatura. LQA-UAEH.
- Liu, R., Liang, Z., Posner, J.G., Ponte, J.G. (1996). A technology to improve functionality of flour from sprouted wheat.
- McDonough, C. M., Rooney, L. W. (1999). Use of environmental scanning electron microscope in the study of cereal-based foods. *Cereal Foods World*, 44:342-348

- Michniewicz, J., Biliaderis, C., Bushuk, W. (1990) Water-insoluble pentosanos of wheat: composition and some physical properties. *Cereal Chemistry*, 67, 434-9.
- Neukom, H., Markmalder, H. U. (1978) Oxidative gelation of wheat flour pentosanos: a new way of cross-linking polymers. *Cereal Foods World*, 23, 374-6
- Ngioloni, A., Romani, S., Pinnavaia, G., Dalla, M. (2005). Characteristics of bread making doughs: influence of sourdough fermentation on the fundamental rheological properties. *Journal European Food Research and Technology* 222: 54–57.
- NMX-FF-036-1996 PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS-CEREALESTRIGO (*Triticum aestivum* L. Y *Triticum durum* Desf.)
- NMX-FF- 007-1982. HARINA DE TRIGO.
- NOM-187-SSA1/SCFI-2002. Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba
- Ochoa, R., Ortega, C. Claridades agropecuarias. Un horizonte ASERCA del mercado agropecuario. Abril (2009). ISSN0188-9974.
- Ojeda, J. (2001). Métodos de microscopía electrónica de barrido en Biología. Disponible en: <http://www.biologia.edu.ar/microscopia/meb.htm#ME>
- Owen, G. (2001). Cereals processing technology. Woodhead Publishing Limited Cambridge England. P. 109 – 150.
- Petryk, N. (2009). Sobre la harina. Disponible en: <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/Chef/harina.htm>
- Ponce, T., Pérez, O., (2002) Celulasas y xylanases en la industria. Revista *Avance y Perspectiva* vol. 21.
- Popper, L., GmbH, (2008) Enzimas – Las mejores amigas de las harinas, las pequeñas ayudantes de los fabricantes de harinas Disponible en: <http://www.muehlenchemie.de/downloads-expertenwissen/mc-enzyme-popper-esp.pdf>. Consultado el 8 de Noviembre de 2008.
- Rico, M. A., (2010). Los cereales. Unidad de nutrición. Hospital Universitario La Paz.
- Robles, S. R. (1990). Producción de granos y forrajes. 4ª. Ed. México.

Román, G. A. D. (2002) Proprietas d'hydratation des farines de ble: aproches dynamiques et a l'équilibre. Tesis de doctorado. Ecole National Superieure Agronomique de Montpellier.

Román, G. A. D., Guilbert, S., Cuq, B. (2002). Description of microstructural changes in wheat flour and flour components during hydration by using environmental scanning electron microscopy. *Journal of Cereal Science*. Vol. 35, No 8. P. 731-739.

Roubroeks, J.P., Andersson, R.D., Mastromauro, I., Christensen B. E., Åman, P. Molecular weight, structure and shape of oat (1→3),(1→4)-b-D-glucan fractions obtained by enzymatic degradation with (1→4)-b-D-glucan 4-glucanohydrolase from *Trichoderma reesei*, *Carbohydr. Polym.* **46** (2001) 275-285.

SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. www.siap.sagarpa.gob.mx

Sastre, A., (1999). Tratado de nutrición. Ed. Díaz de santos. España

Sluimer, P. (2005). Principles of breadmaking. (Funtionality of raw materials and process steps). AACC. U.S.A.

Subramaniyan, S., Prema, P. (2002) Biotechnology of microbial xylanases: enzimology, molecular biology and application. *Critical Reviews in biotechnology*, vol. 22 (1), pp33-46

Tejero, F. (2008) Los enzimas en la panificación. <http://www.franciscotejero.com/tecnica/mejorantes/las%20encimas.htm>.

Consultado el 8 de noviembre de 2008.

Torres, A., Guerra, M. (2003). Sustitución parcial de harina de maíz precocida con harina de quinchoncho (*Cajanus cajan*) para la elaboración de arepas. INCI. Vol. 28, no. 11, p 660 – 664. ISSN 0378-1844