



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN**

**EFFECTO DEL DETERIORO DEL TRIGO SOBRE LA CALIDAD
DEL PAN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

PRESENTA:

ENDOQUI MORENO LAURA ISABEL

ASESOR: DR. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE

COASESOR: I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ VERA.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO
SUPERIORES CUAUTITLÁN



DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Tesis

Efecto del deterioro del trigo sobre la calidad del pan

Que presenta la pasante: Laura Isabel Endoqui Moreno
Con número de cuenta: 407036822 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Abril de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	<u>Dra. María de los Angeles Cornejo Villegas</u>	
VOCAL	<u>Dra. Carolina Moreno Ramos</u>	
SECRETARIO	<u>Dr. Enrique Martínez Manrique</u>	
1er. SUPLENTE	<u>IA. Sandra Margarita Rueda Enríquez</u>	
2do. SUPLENTE	<u>IA. Zaira Berenice Guadarrama</u>	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

HHA/pm

A mi madre, por su lucha incansable, por olvidarse de ella para pensar en mi hermana y en mi, porque además de ser mi maestra de vida, fue ella quien me enseñó a leer, dándole comienzo al largo camino que me llevó hasta este momento.

Este logro mas que mío es de ella.

AGRADECIMIENTOS

El apoyo brindado por el proyecto **PAPIME (PE200113)** y **PACIVE (DOC-19)** para la realización de este trabajo.

A Molinera de México S.A. de C.V., por la donación del trigo y el uso de su equipo, en especial a la **I.A. Olivia González González** responsable del laboratorio de Control de Calidad y a los ingenieros **David Torres López** y **Linda Olimpia Pérez Caballero** por su apoyo y paciencia.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por todas las lecciones que en ella aprendí, por el orgullo de ser una más de sus hijos.

Al Dr. Enrique Martínez Manrique, por llevarme de la mano en mi transición de estudiante a profesionista.

A la I.A. Verónica Jiménez Vera por el apoyo que me dio durante todo este tiempo.

A mi familia y amigos, porque con su amor alimentan mi espíritu.

A la familia Hernández Muciño, pues por personas como ellos es que dan ganas de vivir la vida.

Y a todas las personas que directa e indirectamente participaron en la elaboración de este trabajo.

INDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABLAS	IV
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1. ANTECEDENTES	4
1.1. EL TRIGO	4
1.1.1. <i>Morfología del trigo</i>	4
1.2. CLASIFICACIÓN DEL TRIGO	7
1.2.1 <i>Clasificación en Estados Unidos</i>	8
1.2.2 <i>Clasificación en México</i>	8
1.3. PROTEÍNAS DEL TRIGO	9
1.3.1. <i>Estructura</i>	9
1.3.2. <i>Clasificación</i>	10
1.3.3. <i>Gluten</i>	14
1.4. ALMACENAMIENTO DEL TRIGO	15
1.4.1 <i>Deterioro del trigo en el almacenamiento</i>	15
1.5 PANIFICACIÓN	16
1.5.1 <i>Materia Prima de la Panificación</i>	16
1.5.2 <i>Proceso de Panificación</i>	20
1.6 CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA DE LOS CEREALES	22
1.6.1 <i>Pruebas de Calidad en Granos Enteros</i>	22
1.6.2 <i>Pruebas de calidad en productos de la molienda y masas</i>	23
1.6.3 <i>Pruebas de panificación</i>	24
2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	25
2.1 OBJETIVOS	25
2.1.1 <i>Objetivo General</i>	25
2.1.2 <i>Objetivo Particular 1</i>	25
2.1.3 <i>Objetivo Particular 2</i>	25
2.1.4 <i>Objetivo Particular 3</i>	25
2.2 CUADRO METODOLÓGICO	26
2.3 DETERIORO DEL TRIGO	27
2.4 ELABORACIÓN DE LA HARINA	27
2.5 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL GRANO	28
2.5.1 <i>Análisis Químico Proximal</i>	28
2.5.2 <i>Peso de Mil Granos</i>	30
2.5.3 <i>Peso Hectolítrico</i>	30
2.6 DETERMINACIÓN DE GRADO DE DETERIORO	30
2.6.1 <i>Germinación</i>	30
2.6.2 <i>Determinación de Humedad de las Semillas</i>	30
2.6.3 <i>Conductividad</i>	31
2.7 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS HARINAS Y ELABORACIÓN DEL PAN	31
2.7.1 <i>Gluten</i>	31
2.7.2 <i>Sedimentación de Dodecil Sulfato de Sodio</i>	32
2.7.3 <i>Farinógrafo</i>	32
2.7.4 <i>Elaboración del Pan</i>	32
2.7.5 <i>Volumen del Pan</i>	35
2.7.6 <i>Peso del Pan</i>	35
2.8 MÉTODO ESTADÍSTICO	36

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
3.1 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL GRANO.....	37
3.1.1 <i>Análisis Químico Proximal</i>	37
3.1.2 <i>Peso de 1000 granos y Peso Hectolítrico</i>	38
3.2 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE DETERIORO	39
3.2.1 <i>Humedad de las Semillas y Germinación</i>	39
3.2.2 <i>Conductividad</i>	40
3.3 DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS HARINAS.....	41
3.3.1 <i>Gluten</i>	41
3.3.2 <i>Sedimentación de Dodecil Sulfato de Sodio</i>	42
3.3.3 <i>Farinógrafo</i>	43
3.3.4 <i>Volumen y Peso del Pan</i>	44
4. CONCLUSIONES	46
5. RECOMENDACIONES	47
6. ANEXOS.....	48
FARINOGRAMAS	48
7. REFERENCIAS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	El grano de trigo.	4
Figura 2.	Clasificación de las proteínas del trigo según su funcionalidad.	12
Figura 3.	Enlaces disulfuro intramoleculares en las gliadinas.	13
Figura 4.	Enlaces disulfuro intermoleculares en las gluteninas.	13
Figura 5.	Almacenamiento del trigo para su deterioro.	27
Figura 6.	Preparación de la harina.	27
Figura 7.	Balanza para peso hectolítrico.	30
Figura 8.	Diagrama de proceso de elaboración del pan.	33
Figura 9.	Cortador de masa.	34
Figura 10.	Rolado.	34
Figura 11.	a) suajado del pan. b) pan horneado.	35
Figura 12.	Medidor de volumen de pan.	35
Figura 13.	Porcentaje de humedad del trigo control y deteriorado.	39
Figura 14.	Porcentaje de germinación del trigo control y deteriorado.	40
Figura 15.	Conductividad eléctrica del agua de remojo de semillas de trigo control y deterioradas.	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Composición del grano de trigo en sus diferentes partes.	7
Tabla 2.	Composición de aminoácidos del gluten, gliadina y glutenina.	14
Tabla 3.	Composición química de la harina de trigo.	17
Tabla 4.	Formulación para la elaboración del pan.	32
Tabla 5.	Análisis químico proximal de la harina de trigo control y deteriorado.	37
Tabla 6.	Peso de 1000 granos y Peso Hectolítrico de trigo control y trigo deteriorado.	38
Tabla 7.	Porcentaje de gluten obtenido de las muestras de trigo control y deterioradas.	42
Tabla 8.	Índice de sedimentación de harina de trigos control y deteriorados.	43
Tabla 9.	Valores obtenidos del farinógrafo.	44
Tabla 10.	Volumen y peso del pan.	45

RESUMEN

El trigo es uno de los cereales más consumidos en el mundo y con él se elaboran una gran variedad de productos, uno de los más populares es el pan. Durante el almacenamiento del trigo, factores como la humedad pueden desatar eventos moleculares como la síntesis de enzimas degradadoras de lípidos, carbohidratos y proteínas, por lo tanto, provocar cambios en los constituyentes de este grano, lo cual se refleja en una mala calidad del pan. ¿Qué eventos se desarrollan y porque afectan la calidad del pan? claramente no se sabe, pero se sugieren que las proteínas del gluten son las responsables. El objetivo del presente trabajo, fue evaluar el efecto del deterioro que manifiesta el trigo durante un almacenamiento inadecuado sobre la calidad panadera. Para ello, se trabajo con trigo de la especie *Triticum aestivum* de la variedad Hard Red Winter (HRW). El trigo se almacenó en condiciones inadecuadas (25°C, 75% HR, durante 60, 120 y 185 días) para provocar su deterioro. Se evaluó la calidad de los granos deteriorados y control mediante pruebas físicas como peso hectolítrico y peso de 1000 granos, además de determinar el efecto del deterioro en la composición química de sus harinas con un análisis químico proximal. Se determinó el grado de deterioro con pruebas de germinación, porcentaje de humedad y escape de electrolitos. También se evaluó el efecto del deterioro sobre la calidad de las harina mediante pruebas de sedimentación de dodecil sulfato de sodio, cantidad de gluten, pruebas con el farinógrafo, elaboración de pan bolillo y su medición de volumen y peso. La calidad del grano evaluada con peso hectolitrito y peso de 1000 granos, así como con los valores obtenidos del análisis químico proximal de sus harinas no tuvo ningún cambio significativo. La disminución en el porcentaje de germinación y el aumento en el valor de conductividad en el agua de remojo corroboraron el deterioro del trigo, los resultados de las pruebas de sedimentación y cantidad de gluten indicaron que los valores respectivos disminuyeron con el tiempo de deterioro. Los resultados del farinógrafo como tiempo de desarrollo y estabilidad aumentaron con el tiempo. En cuanto a la evaluación del pan bolillo, el volumen disminuyó en función del tiempo de deterioro, mientras que el peso no mostró ninguna diferencia significativa. En base a estos resultados, se concluyó que en estas condiciones de almacenamiento si existe deterioro en el trigo pero no afecta a la calidad del grano como tal ni muestra algún efecto en la composición química, sin embargo, el efecto del deterioro si se ve reflejado en la calidad de sus harinas ya que manifiesta una disminución en el contenido de gluten y un aumento en la fuerza de sus masas, por lo tanto, la calidad del pan que con ellas se elabora disminuye pues el volumen final que presentan, es inferior al del pan elaborado con harina de trigo sin deterioro.

INTRODUCCIÓN

El trigo es el cereal más importante a nivel mundial y el segundo después del maíz en México. Con él se elaboran muchos productos de consumo como pan, pastas, galletas, atoles, papillas, obleas y pasteles. Para la elaboración de cada tipo de producto, se utilizan diferentes variedades de trigo, las principales diferencias entre los granos son dadas por el contenido de proteína. Así para la elaboración de pastas, se utilizan trigos muy duros (durum o cristalinos), los trigos suaves o blandos (soft) se utilizan en la elaboración de galletas, pasteles y cereales para desayuno y los trigos duros (hard) se utilizan para la elaboración de pan (Serna, 2001).

El pan es un producto de gran consumo en México con aproximadamente 31.5 kg per cápita (Delgado, 2010), además es un alimento valioso desde el punto de vista nutricional. Es destacable como fuente de hidratos de carbono, hierro, zinc y vitamina B1, también proporciona cantidades importantes de magnesio, potasio, vitamina B2, ácido fólico y vitamina B6. Aunque la calidad de la proteína se considera baja, ya que presenta cantidades reducidas del aminoácido esencial lisina, el consumo del pan junto con otros alimentos mejora la calidad de la proteína total (Hernández, 2010).

A diferencia de otros cereales, existe una gran importancia de las proteínas del trigo a nivel funcional en la utilización de la harina, y por esto, el contenido proteico es probablemente el factor más importante en la calidad de la harina de panificación. La habilidad del trigo para formar una masa fuerte y cohesiva, capaz de retener gas y rendir por cocción un producto esponjoso como es el pan, se debe a sus proteínas y más concretamente a las proteínas del gluten. El complejo gluten está compuesto por dos grupos principales de proteínas: las gliadinas (prolaminas) responsables de la cohesividad de la masa y gluteninas (glutelinas) responsables de la elasticidad (Hoseney, 1991).

La deformación elástica y viscosa del gluten depende del número de enlaces presentes en éste. Los enlaces químicos presentes en las proteínas pueden ser divididos en dos tipos: covalentes y no covalentes. Los enlaces covalentes por su alta energía confieren estabilidad a la masa. Dentro de estos, se encuentran los enlaces disulfuro que se forman por la presencia de aminoácidos como la cistina que posee grupos disulfuro y cisteína que posee grupos tiol. Las características elásticas de la masa están dadas principalmente por la presencia e interacción de estos dos grupos (Rivera, 1996).

Por otra parte, para garantizar la disponibilidad del trigo para la elaboración del pan, es necesario recurrir a su almacenamiento, el cual si no se realiza en condiciones adecuadas provoca cambios significativos en la composición química y estructural del grano pues factores como la humedad, favorecen la germinación, proceso en el que se sintetizan enzimas degradadoras de lípidos, carbohidratos y proteínas produciendo de estas últimas, polipéptidos, péptidos y nitrógeno soluble (Serna, 2001), teniendo como consecuencia la modificación del comportamiento reológico de las masas y finalmente, de su calidad panadera.

Los eventos moleculares que provocan esta pérdida de calidad no son conocidos del todo, pero cambios en las proteínas de reserva son propuestos. En el presente trabajo se utilizó trigo de la variedad Hard Red Winter sometido a un deterioro durante 60, 120 y 185 días incrementando la humedad relativa hasta 75%, para analizar posibles modificaciones en la cantidad y calidad de las proteínas formadoras de gluten mediante un análisis químico proximal, porcentaje de gluten, índice de sedimentación y pruebas con el farinógrafo y finalmente mediante la elaboración del pan, se determinó si existía una relación con la calidad panadera.

1. Antecedentes

1.1. El trigo

El trigo es una planta gramínea de la familia del césped, su crecimiento promedio es de un metro de altura. Sus hojas brotan muy pronto y van seguidas por tallos muy delgados rematados por espigas de cuyos granos molidos se obtiene la harina.

Las condiciones del clima y suelo que necesita el trigo para su cultivo, no son específicas, pues se adapta a circunstancias diversas, pero principalmente se realiza en zonas templadas. La condición óptima depende de la etapa del desarrollo, de la variedad y del tipo de plantas (CANIMOLT, 2012).

1.1.1. Morfología del trigo

La figura 1 muestra un esquema del grano de trigo, el cual tiene un tamaño promedio de 8 mm de longitud y 35 mg de peso, variando según la especie, la variedad, medio ambiente o las condiciones de cultivo. El lado donde se localiza el germen es conocido como lado dorsal y el lado opuesto al germen se conoce como lado ventral.

Usualmente el grano de trigo es blanco o rojo. El color está dado por los pigmentos (carotenoides) presentes en la semilla, cuya presencia y tipo están bajo control genético.

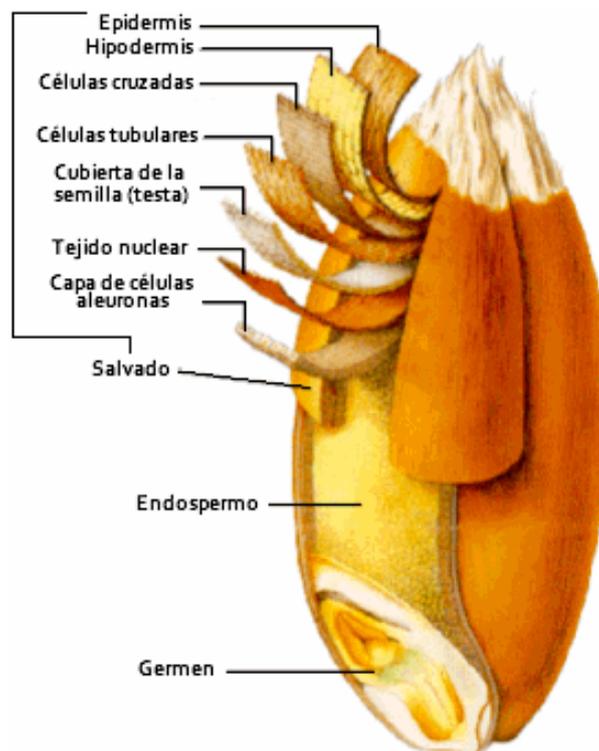


Figura 1. El grano de trigo.
Fuente: Tecnologías limpias (2012).

El grano de trigo se compone de tres partes principales:

1. Salvado.
2. Endospermo.
3. Germen.

Salvado: A su vez, este se divide en pericarpio, cubierta de la semilla o testa, tejido nuclear y una capa de células aleuronas. El pericarpio envuelve a la semilla protegiéndolo contra el ataque de insectos y de las condiciones ambientales (Ospina, 2002) y está compuesto por varias capas:

- a) Epidermis.
- b) Hipodermis.
- c) Restos de células de paredes delgadas.
- d) Células intermedias.
- e) Células cruzadas.
- f) Células tubulares.

Las tres primeras capas componen al pericarpio externo (lo que los harineros llaman alas de abeja) y las tres restantes pertenecen al pericarpio interno (endocarpio).

La parte mas interna del pericarpio externo esta formada por restos de células de pared delgada. Ya que no tiene una estructura celular continua, constituye un plano natural para la división entre el pericarpio externo y el pericarpio interno.

En el pericarpio interior, ni las células intermedias ni las tubulares cubren por completo el grano. Las células cruzadas son largas y cilíndricas y tienen su eje longitudinal perpendicular al eje longitudinal del grano, entre ellas hay poco o nada de espacio intercelular.

Las células tubulares son del mismo tamaño y forma que las células cruzadas, pero tiene sus ejes longitudinales paralelos al eje longitudinal del grano y existen muchos espacios intercelulares.

El pericarpio representa un 5% de la totalidad del grano y tiene una composición aproximada de 6% proteína, 2% ceniza, 20% celulosa y 0.5% de grasa con el resto de pentosanas y fibra (Hoseney, 1991).

La cubierta de la semilla está compuesta por tres capas: una cutícula exterior gruesa, una capa pigmentada y una cutícula interior fina.

El tejido nuclear tiene unos 7 μm de espesor y esta unida estrechamente tanto a la cubierta de la semilla como a la capa de aleuronas.

La capa de aleurona, rodea el grano por completo. Botánicamente, es la capa exterior del endospermo, sin embargo, se elimina durante la molienda constituyendo parte de lo que se conoce como salvado (Hoseney, 1991).

Endospermo: Se constituye por tres tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales. Las células varían de tamaño y forma con su localización en el grano.

Las paredes celulares del endospermo están formadas por pentosanas, otras hemicelulosas y β -glucanas pero no por celulosa. El contenido y paredes celulares del endospermo, constituyen la harina. Las células están repletas de granos grandes de almidón incluidos en un matriz proteica. La mayor parte, aunque no toda, de la proteína es el gluten, las proteínas de reserva del trigo. Cuando madura el trigo, se sintetiza el gluten en los cuerpos proteicos. Sin embargo al madurar el grano, los cuerpos proteicos se comprimen unos contra otros formando una matriz como de barro o arcilla con lo que ya no son conspicuos los cuerpos proteicos.

El endospermo puede variar en textura (dureza) y en aspecto (calidad vítrea). La dureza es producida por la fuerza de unión entre la proteína y el almidón en el endospermo, fuerza que es controlada genéticamente. La opacidad se da cuando en el grano existen cavidades aéreas difractando y difundiendo la luz. En los granos bien repletos la luz viaja a través del grano sin sufrir la difracción una y otra vez resultando un grano vítreo (Hoseney, 1991).

Germen: El germen de trigo abarca del 2.5 al 3.5 del grano. El germen esta constituido por dos partes principales: eje embrionario (raíz y tallo rudimentarios) y el escutelo que tiene el papel de almacén. El germen es relativamente rico en proteína (25%), azúcar (18%), aceite (16% del eje embrionario y 32% del escutelo es aceite) y cenizas (5%)no contiene almidón, pero es bastante rico en vitaminas B además de muchas enzimas. Los azúcares son principalmente sacarosa y rafinosa (Hoseney, 1991).

En la tabla 1 se da la composición de cada una de las partes que constituyen al grano del trigo. Se puede observar que la totalidad del almidón se encuentra en el endospermo. En el embrión y escutelo se localiza la mayor parte de azúcares reductores así como las grasas. Las pentosas y otros carbohidratos están distribuidos principalmente entre el pericarpio, testa, capa hialina y capa aleurona. Las cenizas se localizan en su mayoría en la capa aleurona, testa, capa hialina y pericarpio, aunque una pequeña fracción se encuentra en el embrión y escutelo (Rivera, 1996).

Tabla 1. Composición del grano de trigo en sus diferentes partes. Valores dados en base al 13% de humedad.

	Almidón	Az. reductores	Pent, CHOS	Fibra	Proteína	Grasa	Cenizas
Grano entero	57.5	1.5	4.6	21	12	1.6	1.8
Pericarpio	0	0	39.5	43.5	8.5	0	8.5
Testa y capa hialina	0	0	56.5	13	17.5	0	13
Capa aleurona	0	0	43.5	5.5	28	9	14
Endospermo externo	67.7	3.6	3.4	0.3	19	4.8	1.2
Endospermo interno	79.9	3.6	3.4	0.3	10.5	1.8	0.5
Embrión y escutelo	0	32	10.5	3	29	19	6.5

Fuente: Rivera y Romero, 1996.

1.2. Clasificación del trigo

Actualmente se cultivan diferentes especies del género *Triticum*, pero solo dos son de importancia comercial en la producción de alimentos a nivel mundial, el *Triticum durum* (*turgidum*) y el *Triticum vulgare* (*aestivum*).

El *Triticum durum* se emplea fundamentalmente para la producción de sémola con la que se fabrican pastas alimenticias y más recientemente en la producción de alimento para granjas de peces y camarones. El *Triticum vulgare* se divide en diferentes grupos que son usados para la elaboración de harinas para pan, pasteles, galletas o productos similares (Enríquez, 2012).

1.2.1 Clasificación en Estados Unidos

Existen diversos sistemas de clasificación del trigo que se emplean en diferentes países del mundo. En Estados Unidos la clasificación del Departamento de Agricultura (USDA), divide al trigo en cinco clases, con variedades estacionales de invierno y primavera.

La variedad es determinada por la dureza, el color del grano y su temporada de siembra. Cada clase de trigo tiene sus características propias, relativamente uniformes, relacionadas a la molienda, panificación u otros usos.

Estas variedades son:

1. Hard Red Spring (HRS). Es sembrado en primavera y posee el más alto contenido proteico, usualmente 13 a 14%. Tiene dos subclases, el dark Northern spring y red spring. Se utiliza para la fabricación de pan de molde, masas para pizza y panecillos.
2. Hard Red Winter (HRW). Es sembrado en invierno. Tiene un alto contenido proteínico promedio de 9.5%, es rico en gluten. Se utiliza para la fabricación de pan con levadura de alta calidad y panecillos.
3. Hard White (HW). Se siembra en otoño y primavera. Su contenido proteico es de 10 a 15%. Se utiliza en la fabricación de fideos, frituras, panes de levadura y panes planos.
4. Soft Red Winter (SRW). Es un trigo de alto rendimiento pero bajo en proteínas, usualmente el 10%. Se siembra en otoño y es usado principalmente para pastelería, panes sin levaduras, galletas cracker y bocadillos (snacks).
5. Soft White (SW). Es sembrado en otoño y primavera y es el preferido para panes sin levadura, pastelería, galletas y fideos chinos. Es un trigo bajo en proteínas, usualmente cerca del 10%. Las subclases son el soft white, white club y western white (CANIMOLT, 2012).

1.2.2 Clasificación en México

Los trigos en México se clasifican sobre la base de las propiedades del gluten del trigo. Los principales tipos de trigo que se cultivan en México, se dividen en 5 grandes grupos, los grupos 1, 2, 3 y 4 que corresponden a la especie *Triticum aestivum L.* Y el grupo 5 que

corresponde a la especie *Triticum durum* (NMX-036-1996).

Grupo 1. Trigos de gluten fuerte. Poseen las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria mecanizada de la panificación y para mezclas con trigos suaves.

Grupo 2. Trigos de gluten medio fuerte. Poseen las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria artesanal y semimecanizada de pan, así como para mezclas con trigos suaves.

Grupo 3. Trigos suaves de gluten débil. Tienen las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria galletera y para la elaboración de otros productos.

Grupo 4. Trigos de gluten tenaz. Es el que posee poca fuerza y valores de tenacidad altos, aptos para mezclas y en la producción de harinas con diferente potencial de utilización en la industria pastelera, galletera y en otros productos.

Grupo 5. Trigos cristalinos, aptos para la producción de semolinas, utilizada en la elaboración de pastas y otros productos.

1.3. Proteínas del trigo

Las proteínas son un factor determinante en la funcionalidad de la harina de trigo, pues son estas las que durante el amasado forman una red tridimensional continua llamada gluten capaz de retener al anhídrido carbónico producto de la fermentación y por tanto determinan las características físicas del producto final (INIA, 2007).

1.3.1. Estructura

Las proteínas son polímeros que se encuentran naturalmente en todos los organismos vivos. Están formados por aminoácidos unidos por enlaces peptídicos.

Todos los aminoácidos como su nombre lo indica, se caracterizan por tener en su molécula un grupo amino y un ácido carboxílico. Se conocen mas de 140 aminoácidos pero sólo 20

funcionan como monómeros o constituyentes básicos de las proteínas (Badui, 1994). La única variación entre ellos es su grupo R.

Los grupos ácidos y amínicos de cada aminoácido, están implicados en los enlaces peptídicos y constituyen el esqueleto de la proteína. La estructura de todas las proteínas es esencialmente la misma. La estructura primaria es la secuencia de aminoácidos así como su composición cuantitativa y la disposición del enlace peptídico. El esqueleto de la proteína es flexible hasta cierto punto y puede doblarse o curvarse en diferentes formas. La ordenación regular y periódica en el espacio de las cadenas polipeptídicas a lo largo de una dirección confiere a la proteína su estructura secundaria, esta estructura se mantiene por enlaces no covalentes de los cuales las fuerzas electrostáticas, los puentes de hidrógeno, las interacciones hidrófobas y la dipolo-dipolo son las más importantes. La disposición e interrelación de las cadenas plegadas de una proteína (estructura secundaria) en una forma específica mantenida por uniones salinas, enlaces de hidrógeno, puentes disulfuro, fuerzas de Van der Waals, interacciones hidrofóbicas, actuando conjuntamente proporcionan una gran estabilidad a la proteína y constituyen la estructura terciaria. La organización de las proteínas producida por ajuste de las estructuras enrollada y plegada, para formar una estructura funcional agregada, se llama estructura cuaternaria. En este nivel de organización, las subunidades de proteína se conservan unidas esencialmente por influjo de fuerzas no covalentes (Badui, 1994; Hosney, 1991; Ruiz, 1999).

1.3.2. Clasificación

No todas las proteínas del trigo constituyen al gluten, esto es debido a que no todas ellas tienen las mismas características de solubilidad y funcionalidad, es por esto que se pueden clasificar empleando estos dos criterios.

1.3.2.a Solubilidad

La clasificación según su solubilidad, se basa en el trabajo clásico de Osborne y consiste en una serie de extracciones consecutivas.

Albúminas: son proteínas solubles en agua. Su solubilidad no es afectada por concentraciones salinas razonables, además estas proteínas son coagulables por el calor.

Globulinas: son proteínas insolubles en agua pura pero son solubles en disoluciones salinas diluidas.

Prolaminas: Son proteínas solubles en etanol al 50-80%.

Glutelinas: Son proteínas solubles en ácidos o bases diluidos (de la Vega, 2009).

1.3.2.b Funcionalidad

Desde el punto de vista de la funcionalidad de las proteínas, se pueden distinguir dos grupos de proteínas de trigo: a) proteínas pertenecientes al gluten con un desempeño muy importante en la elaboración del pan y b) proteínas no pertenecientes al gluten, con un desempeño secundario en la elaboración del pan (figura 2).

Las proteínas no pertenecientes al gluten representan un 15% del total de las proteína del trigo, principalmente se encuentran en las capas externas del grano de trigo y en bajas concentraciones en el endospermo.

Estas proteínas son extraídas en soluciones de sales diluidas y por lo tanto se encuentran en las fracciones de Osborne de albúminas y globulinas. En su mayor parte son proteínas monoméricas, estructurales o fisiológicamente activas (enzimas).

Las proteínas del gluten representan 85% del total de las proteínas del trigo, constituyen la mayor parte de las proteínas de almacenamiento. Pertenecen a la clase de prolaminas y glutelinas. Las proteínas del gluten se encuentran en el endospermo del grano de trigo maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón. Las proteínas de gluten son en gran parte insolubles en agua o en soluciones de sales diluidas. Pueden distinguirse dos grupos funcionalmente distintos de proteínas de gluten: gliadinas que son monoméricas y gluteninas que son poliméricas (de la Vega, 2009).

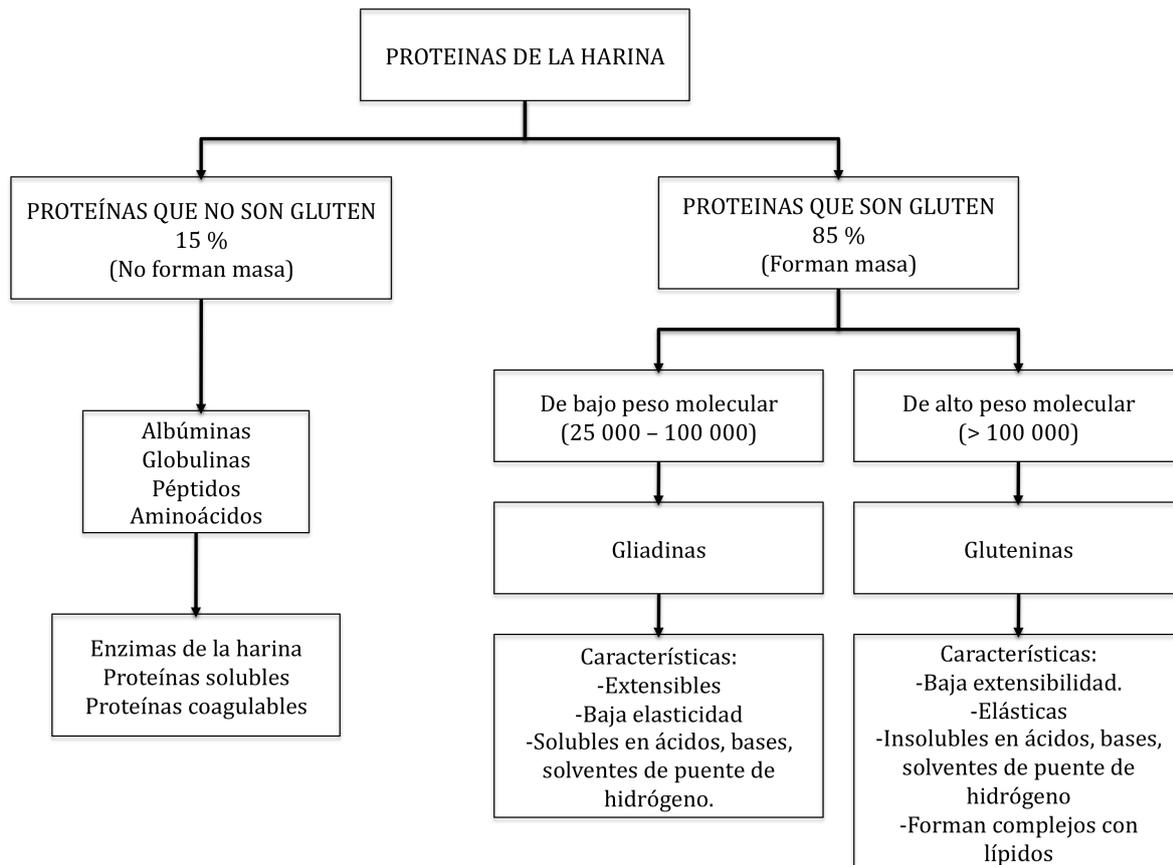


Figura 2. Clasificación de las proteínas del trigo según su funcionalidad.
Fuente: Rivera y Romero, 1996.

Las gliadinas representan el 50% del total de las proteínas, son una clase heterogénea de 40-60 polímeros que por electroforesis se han dividido en cuatro grupos (α , β , γ , ω), en una proporción de 15, 30, 30 y 25% respectivamente (Badui, 1994). Sus cadenas simples tienen estructuras primarias con diferente composición de aminoácidos y su peso molecular varía de 25 000 a 100 000 kDa. Su conformación se estabiliza por enlaces disulfuro intramoleculares (figura 3), por lo tanto al hidratarse forman una masa viscosa extensible, fluida pero poco elástica y son las responsables de la expansión de las masas durante la elaboración del pan. Cuando existe un exceso de gliadinas en relación con las gluteninas, el gluten se vuelve débil, permeable y no retiene dióxido de carbono (Badui, 1994).

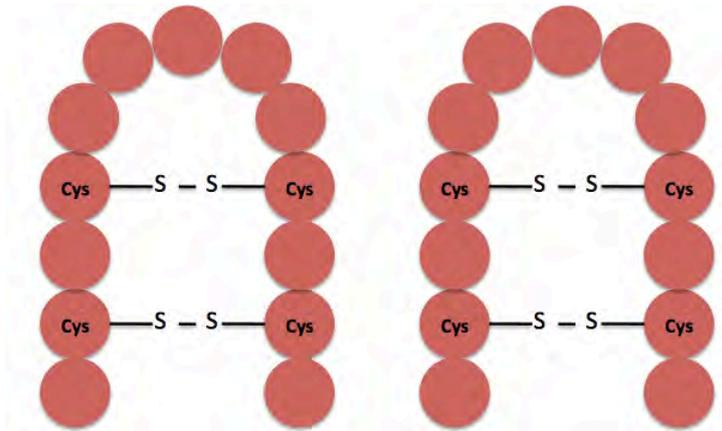


Figura 3. Enlaces disulfuro intramoleculares en las gliadinas.
Fuente: Badui, 1994.

Se han identificado también 15 gluteninas en forma monoméricas que tiene pesos moleculares desde 12 000 hasta 135 000 kDa. Son de cadena ramificada y se caracterizan por su elevado número de enlaces disulfuro inter e intramoleculares (figura 4) que le confieren una gran estabilidad por lo que al hidratarse producen una masa muy tenaz, elástica y cohesiva. Para elaborar pan, estas proteínas deben estar en una proporción adecuada ya que en exceso el gluten presenta tanta cohesividad que inhibe la expansión de la masa y provoca una reducción del volumen final.

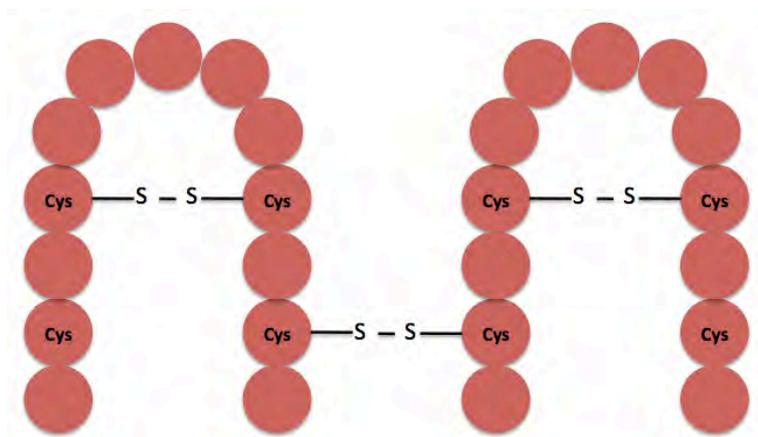


Figura 4. Enlaces disulfuro intermoleculares en las gluteninas.
Fuente: Badui, 1994.

Las proteínas del gluten son pobres en aminoácidos básicos (tabla 2), por lo tanto no tienen potencial de cargas negativas y solamente bajos niveles de cargas positivas. De estos hechos se deduce que las proteínas del gluten tienen baja densidad de cargas. Este bajo nivel de cargas, significa que las fuerzas de repulsión dentro de las proteínas son pequeñas y por lo

tanto, las cadenas proteicas pueden interactuar entre si muy fácilmente, condición que parece ser necesaria para la formación de masas.

Tabla 2. Composición de aminoácidos del gluten, gliadina y glutenina. (moles de aminoácido por 10⁵ g de proteína)

Aminoácido	Gluten	Gliadina	Glutenina
Arginina	20	15	20
Histidina	15	15	13
Lisina	9	5	13
Treonina	21	18	26
Serina	40	38	50
Acido aspártico	22	20	23
Acido glutámico	290	317	278
Glicina	47	25	78
Alanina	30	25	34
Valina	45	43	41
Leucina	59	62	57
Isoleucina	33	37	28
Prolina	137	148	114
Tirosina	20	16	25
Fenilalanina	32	38	27
Triptófano	6	5	8
Cistina/2	14	10	10
Metionina	12	12	12
Amonio	298	301	240

Fuente: Pomeranz, 1971.

1.3.3. Gluten

Como ya se ha mencionado anteriormente, son las proteínas del trigo, específicamente aquellas que conforman al gluten las que le confieren a la masa una funcionalidad única, pero no es sino hasta el amasado cuando esta malla se desarrolla debido a que gluteninas y gliadinas se desnaturalizan y establecen uniones disulfuro, hidrófobas e hidrófilas que hacen que estos

polímetros se oriente longitudinalmente; los esfuerzos mecánicos inducen un intercambio de grupos azufrados entre las múltiples cisteínas. El resultado de este proceso es la formación de la red elástica y cohesiva (gluten) necesaria para el esponjamiento ocasionado por la presión de CO₂. Dicha red se crea por una interacción de las gliadinas y las gluteninas y se estabiliza más por medio de un gran número de puentes de hidrógeno por parte de la glutenina, y de uniones hidrófobas y enlaces disulfuro intra e intermoleculares (Badui, 1994).

1.4. Almacenamiento del trigo

A través de la historia el hombre se ha visto en la necesidad de almacenar sus cosechas. Actualmente esta práctica sigue teniendo un papel muy importante, sin embargo, la Organización de Agricultura y Alimentación (FAO) ha estimado que las pérdidas durante el almacenamiento alcanzan hasta un 50% en algunos países subdesarrollados y en América Latina esta pérdida va del 25 al 50%.

La clave de un buen almacenamiento es el control dentro de los límites adecuados de la humedad y la temperatura, pues la interacción de los mismos dictará la tasa de respiración del grano y el desarrollo de hongos, por lo tanto, el grado del deterioro (Serna, 2001).

1.4.1 Deterioro del trigo en el almacenamiento

En general el deterioro del grano puede ser extrínseco (causado por agentes bióticos) o intrínseco, en donde se producen un gran número de reacciones, que pueden alterar las características químicas de las proteínas que conforman el gluten (Serna, 2001).

Este daño intrínseco es ocasionado por la actividad del grano durante el proceso de la respiración, en este, sus componentes químicos empiezan a desdoblarse para proporcionar la energía necesaria para la germinación.

El mecanismo de germinación empieza cuando la semilla se expone a factores favorables como la presencia de agua, la disponibilidad de oxígeno y temperatura que propician la síntesis por parte del germen de giberelinas, hormonas que inducen a la capa de la aleurona a producir enzimas que degradan los tejidos de reserva en el endospermo y escutelo para proveer la energía y nutrientes necesarios para el desarrollo del embrión.

Los azúcares, proteínas y lípidos localizados en el germen son hidrolizados rápidamente seguidos por los gránulos de almidón y proteínas presentes en el endospermo. La hidrólisis de estos nutrientes sigue una secuencia, empezando con el ataque a los lípidos, las lipasas hidrolizan a los triglicéridos del germen y de la capa de aleurona liberando a los ácidos grasos. En el endospermo, los componentes de las paredes celulares, primero son degradados por celulasas y pentosanas con el objetivo de abrir espacio para la penetración de las otras enzimas. Las endoproteasas carboxipeptidasas, que se producen principalmente en la capa de la aleurona, atacan a las proteínas de la matriz y de los cuerpos proteicos (gluteninas y prolaminas) produciendo polipéptidos y péptidos con lo que se ve modificada su solubilidad, además de producir también nitrógeno soluble, es por esto que durante un mal almacenamiento se pueden observar bajas en la calidad del gluten.

Al final de este proceso ocurre la modificación e hidrólisis del almidón. Por efecto de la alfa amilasa, β -amilasa y dextrinasas, la amilosa y amilopectina se hidrolizan en dextrinas de diferentes pesos moleculares y maltosa. (Serna, 2001).

La energía liberada y los subproductos resultantes de la hidrólisis de carbohidratos y proteínas son utilizados por el embrión en desarrollo para formar la radícula y la plúmula.

En resumen, después que un grano inicia el proceso de germinación, pierden calidad para algunos usos a los que podría estar destinado, como la elaboración de productos alimenticios.

1.5 Panificación

Detrás de la obtención de un producto esponjoso como es el pan, existen una variedad de reacciones físicas y químicas que implican la participación de diversas sustancias. Existen innumerables sustancias o ingredientes que pueden ser utilizados, sin embargo la harina, agua, levadura, sal y azúcar, son básicos para la manufactura del pan.

1.5.1 Materia Prima de la Panificación

1.5.1.a Harina

La harina es el producto finamente triturado obtenido de la molturación del trigo. Según la NMX-F-007-1982 la harina se clasifica en un solo tipo y tres grados de calidad:

- Grado 1. Harina de trigo para panificación.
- Grado 2. Harina de trigo para galletas.
- Grado 3. Harina de trigo para pastas para sopa.

La harina de trigo es el material mas importante ya que determina las características del producto obtenido. La funcionalidad la determina principalmente por el contenido de proteínas refiriéndonos tanto a la cantidad como a la capacidad de éstas para formar gluten. El contenido de proteínas está fuertemente afectado por el genotipo del grano así como las condiciones durante su desarrollo. La tabla 3 muestra la composición química de la harina de trigo.

Tabla 3. Composición química de la harina de trigo.

	Harina 100% extracción	Harina 75% extracción
Proteína (gluten)	12 a 13.5%	8 a 11%
Grasa	2.2%	1 a 2%
Almidón	67%	71%
Cenizas	1.5%	0.55 a 0.65%
Humedad	13 a 15%	13 a 15%
Fibra	11%	3%
Azúcares simples	2 a 3 %	1.5 a 2.5%

Fuente: Calaveras, 2004.

El almidón está constituido por amilosa y amilopectina en un 25 y 75 % respectivamente. Es el componente de mayor cantidad en la harina y su importancia reside fundamentalmente en su capacidad de gelatinización que consiste en el hinchamiento de los gránulos de almidón al aumentar la temperatura de la masa en presencia de agua; esto ocurre durante el horneado del pan.

Los dos azúcares simples de la harina son la maltosa y la sacarosa. La levadura por medio de la enzima maltasa transforma la maltosa en glucosa , y por otra parte, la invertasa transforma la sacarosa en glucosa y fructosa iniciando entonces la fermentación para posteriormente obtener anhídrido carbónico (Calaveras, 2004).

Como se puede ver en la tabla 3, el contenido de grasa es poco ya que ésta se encuentra principalmente en el germen del trigo perdiéndose en la molturación, pero se ha observado

que existe una relación directa entre las grasas y las proteínas de la harina durante el amasado ya que refuerza las propiedades del gluten.

Las cenizas aumentan con el grado de extracción ya que la proporción de capas periféricas del grano de trigo es mayor. Aunque sirven de alimento a la levadura (Barriga, 2003), tienen un efecto negativo en el desarrollo de la masa fermentada pues estos minerales se incrustan en las cadenas de proteínas formando cristalizaciones por las que puede existir pérdida de gas (Calaveras, 2004).

En cuanto a la humedad, la NMX-F-007-1982 establece un contenido máximo de 14%. El porcentaje varía en función de las condiciones de conservación de la harina ya que esta posee la capacidad para absorber o exhalar humedad del ambiente. Problemas derivados de un exceso de humedad en la harina pueden ser mayor crecimiento fúngico y bacteriano, mayor enranciamiento y aparición de grumos.

1.5.1.b Agua

Con el agua se marca el punto de partida para el proceso de panificación. Esta disuelve gran parte de los componentes del amasado y activa las enzimas de la harina y a la levadura ya que estos necesitan de un medio húmedo para desarrollarse.

No es posible hacer un cálculo exacto de la cantidad de agua a emplear. Se busca una consistencia apreciable al tacto. Ya que el agua moja la red de proteínas, modificando sus uniones y facilitando que los extractos proteicos se deshagan, el exceso de ésta disminuye la fuerza de la masa. Cuando el exceso es moderado, la masa se hace más extensible, pero cuando el exceso es demasiado grande pasa todo lo contrario.

La dureza del agua también influye, pues cuando es dura actúa como nutriente de la levadura y fortalece el gluten. Si es dura en exceso endurece el gluten y retarda la fermentación; esto se soluciona filtrando el agua o añadiendo más levadura. Las aguas blandas apenas contienen sales, lo que ablanda el gluten dando masas blandas y pegajosas; esto se soluciona al momento de añadir sal.

La temperatura del agua se puede modificar para ajustar la temperatura de la masa pues es entre 22 y 25°C donde la levadura se desarrolla de manera ideal. Cuando se tienen masas con

temperatura menor, la masa se adormece y el pan sale del horno aplanado por no haber fermentado, por el contrario, si se tiene una masa caliente, el pan que se obtendrá será escaso en volumen y la miga estará apelmazada.

Durante la cocción puede añadirse vapor con la finalidad de retrasar la formación de corteza para dar al pan una corteza fina y crujiente asegurando también el máximo volumen pues esto hace que el pan se expanda con uniformidad. El vapor que produce el propio pan por evaporación de la humedad de la masa, es insuficiente para dar estos resultados (Calaveras, 2004; Barriga, 2003).

1.5.1.c Sal

La característica de la sal es saborizar la masa del pan. El utilizar dosis elevadas inhibe el trabajo de las células de levadura, es por esto que es aconsejable separarla al añadir al amasado.

También refuerza los enlaces del gluten por modificación iónica favoreciendo la retención gaseosa durante la fermentación (Barriga, 2003).

Además, disminuye el A_w del sistema por lo que sirve como agente conservador (Serna, 2001).

1.5.1.d Azúcar

El azúcar sirve como sustrato de la levadura, da color a la corteza del pan por reacciones de oscurecimiento no enzimática una vez expuestos a altas temperaturas en el horno e imparten sabor directa e indirectamente. Este último fenómeno es debido a que la levadura produce un gran número de agentes saborizantes resultantes de la fermentación (Serna, 2001)

1.5.1.e Levadura

La levadura (*Saccharomyces cereviceae*) es el agente fermentador, son organismos unicelulares, nucleados e inmóviles. La composición química de la levadura fresca es 70% de agua, 13.5% de proteína, 12% de carbohidratos solubles, 2% cenizas, 1.1% de grasa y 1.5% celulosa.

Existen varios tipos de fermentos: fresco o húmedo, fresco-comprimido y seco.

La principal función de la levadura es producir CO₂ para provocar un esponjamiento y aumento de volumen de la masa. Esta producción de gas carbónico es debida a la fermentación de los azúcares sencillos (glucosa, fructosa, manosa y galactosa) produciendo también etanol y energía. Los productos intermedios de la fermentación alcohólica de los azúcares son los que dan el sabor típico al pan (Serna, 2001).

La incorporación de ésta al amasado se hace minutos después que empieza el amasado pues si se incorpora al inicio esta empezara a actuar en la amasadora perdiendo parte de su efecto (Barriga, 2003).

1.5.2 Proceso de Panificación

El proceso de elaboración de pan implica varias etapas que se explican a continuación.

1.5.2.a Amasado

Durante el amasado hay un cambio del estado natural de la materia prima pues todos los ingredientes se homogeneízan transformándose en un solo cuerpo llamado masa.

La absorción de agua durante el amasado viene principalmente producida por las proteínas y por el almidón (Sánchez, 2003). Otro efecto producido en el amasado es el aumento de volumen, que es en un inicio debido a la incorporación de oxígeno y posteriormente a la incorporación de levadura, con lo que se puede dejar claro que durante el amasado ya existe una fermentación por lo que se recomienda tener una climatización en la zona de amasado o agregarla al final del proceso.

Es en este proceso donde las proteínas de la harina se desnaturalizan debido a la aplicación de una fuerza mecánica formando la red de gluten que sostiene la estructura de la masa durante su esponjamiento en la fermentación.

1.5.2.b Boleado

El boleado consiste en dar forma a una porción de masa previamente dividida. Cuando el proceso de elaboración incluye un reposo anterior, el propósito del rolado es remover el gas atrapado por el gluten y crean nuevos espacios minúsculos de aire que se traducen en la textura observada en la miga del producto terminado.

En procesos en los que la fermentación se realiza posterior al boleado, esta operación reorganiza el gluten optimizando la retención gaseosa (Calaveras, 2004).

1.5.2.c Fermentación

El fundamento de la fermentación es producir un aumento en el volumen de la pieza, dar una textura fina y ligera y producir aromas.

Este proceso inicia una vez que la masa y la levadura son hidratados en presencia del sustrato adecuado (azúcar). Generalmente la fermentación se realiza a temperaturas de 26 a 32 °C bajo una atmósfera alta en humedad relativa (Serna, 2001). El aumento de volumen es debido a que la levadura transforma los azúcares en gas carbónico, ácidos y etanol. Este gas producto de la fermentación es retenido en la red de gluten formando las llamadas células o loci. Posteriormente la levadura ataca la maltosa generada principalmente por la actividad de la malta diastásica y la acción enzimática de la harina misma convirtiéndola en gas carbónico que una vez desprendido también es atrapado en la red de gluten.

La capacidad de retención del gas por parte del gluten va reduciéndose con el tiempo y su momento más crítico es en la entrada al horno. Por ello es tan importante mantenerlo con una buena capacidad de retención para obtener un volumen de pan adecuado. De aquí se determina la importancia que tiene la red del gluten: si su calidad-cantidad es buena, nos asegura un buen volumen produciendo un buen reparto del gas por toda la zona alveolada (Calaveras, 2004).

1.5.2.d Horneado

En el horneado, el pan se expone a altas temperaturas para finalizar su proceso de elaboración. Aunque la experiencia en cada proceso de panificación demuestran las mejores condiciones de tiempo y temperatura, normalmente el rango está entre 180 y 250 °C de 18 a 25 minutos (Serna, 2001).

Durante esta operación se presentan diversos fenómenos que transforman la masa fermentada en pan y es ahí cuando este alimento se convierte en digerible para el ser humano.

Al inicio del horneado existe un aumento del volumen del pan debido al incremento de la presión del gas carbónico en el interior del mismo. A este aumento de volumen también contribuye el hinchamiento del almidón debido a la gelatinización que tiene inicio a 55 °C. Es

a esta misma temperatura donde se presenta la inactivación y muerte de las levaduras. Al aumentar la temperatura hasta los 85 °C aproximadamente, el almidón pasa definitivamente del estado semilíquido o pastoso propio de la masa, al estado sólido propio de la miga. Paralelamente a la gelatinización del almidón se produce en el interior de la masa una coagulación del gluten y la evaporación del alcohol etílico que dan las características organolépticas a la miga.

Durante el horneado, la humedad del interior del pan viaja al exterior, cuando este traslado cede, la superficie se seca y aumenta su temperatura lo que provoca la caramelización de los azúcares provenientes de la actividad enzimática formándose los sabores y colores característicos de la corteza del pan. La corteza de pan recién salida del horno es dura, pero se suaviza paulatinamente durante el enfriado dado a que la mayor humedad de la miga migra hacia el exterior para equilibrarse. Este fenómeno resulta en la rehidratación gradual de la costra.

En algunos casos, existe una operación preliminar al horneado; el vapor. Este se inyecta inmediatamente después de la entrada del pan al horno instalándose en la superficie de la masa enfriándola, humedeciéndola y retardando su secado, al estar húmeda, no pierde flexibilidad para ceder al empuje del gas carbónico en los primeros minutos de la cocción además de retardar la formación de corteza quedando esta última mas fina y brillante (Barriga, 2003).

1.6 Control de Calidad en la Industria de los Cereales

Los cereales desde su cosecha hasta llegar a la boca del consumidor son sujetas a medidas de calidad. El control de la calidad es importante ya que está vinculado con los rendimientos y características de los productos. Existen pruebas de calidad para granos enteros, productos procesados intermedios y productos terminados.

1.6.1 Pruebas de Calidad en Granos Enteros

1.6.1.a Peso Hectolítrico

Es el parámetro que mejor conoce el productor agropecuario. Se define como el peso en kilogramos de un volumen de grano de 100 litros. Es un valor muy útil porque resume en un solo dato qué tan sano es el grano. Esto es importante porque cuanto más sano sea (menor

cantidad de impurezas, granos dañados o quebrados, chuzos, picados, fusariosos o con presencia de cualquier enfermedad), mayor será la proporción de almidón en el grano y mejor será la separación del endospermo del resto del grano. Por lo tanto, cuanto más sano, mayor extracción de harina. A su vez, es una medida de la homogeneidad de la partida de trigo, factor clave en el proceso industrial. Por consiguiente, el peso hectolítrico es una buena estimación tanto de la calidad física del grano, como de la calidad molinera (OEIDRUS, 2012).

1.6.1.b Peso de Mil Granos

Esta prueba indica el tamaño del grano, por lo tanto da una idea del rendimiento en la molienda pues los granos uniformes y grandes contienen una mayor proporción de endospermo (Almazo, 1999).

1.6.1.c Conductividad

La prueba de conductividad eléctrica permite estimar la integridad de la membrana celular. La pérdida de la integridad de las membranas y la subsiguiente pérdida de solutos citoplasmáticos con propiedades electrolíticas son indicativas del rápido deterioro de las semillas, por lo tanto, la evaluación de la conductividad eléctrica del exudado del trigo es una medida de su deterioro (Hilmig, 2011).

1.6.2 Pruebas de calidad en productos de la molienda y masas.

1.6.2.a Índice de Sedimentación

Este método consiste en medir el volumen de sedimentación de las proteínas hinchadas por absorción de agua. El volumen sedimentado esta condicionado por la cantidad y calidad de las proteínas ya que al ser totalmente desplegadas debido a las características detergentes del SDS la que tenga mayor calidad enlazará mas agua, flotará y precipitará. Esto unido al efecto del pH facilitado por el ácido láctico, hace acelerar o frenar la velocidad de sedimentación de las proteínas en función de su calidad (Calaveras, 2004).

1.6.2.b Farinógrafo

El farinógrafo es utilizado para determinar la fuerza de la harina y para predecir las características del proceso tales como la absorción de agua y el tiempo de mezclado. La resistencia al mezclado es registrada como una curva cuando la masa se está desarrollando y cuando ésta se rompe. La forma de la curva indica la fuerza de la harina. Una curva angosta

que cae rápidamente indica que es una harina débil, sin embargo una curva amplia y de mayor nivel indica que es una harina fuerte (Lallemand, 2012). La curva típica muestra importantes puntos como son: tiempo de llegada o tiempo que tarda una masa en adquirir una consistencia de 500 unidades farinográficas (consistencia ideal de la masa), tiempo de desarrollo o tiempo que tarda la masa en adquirir su máxima consistencia (pico de la curva) y tiempo de salida o tiempo en que la masa persiste con una consistencia mínima de 500 UF y que siempre ocurre después del tiempo de desarrollo. Al intervalo de diferencia entre el tiempo de llegada y de salida se le denomina tiempo de estabilidad, mientras que a la caída de consistencia, cinco minutos después del tiempo de desarrollo, es el llamado índice de tolerancia al mezclado (ITM) (Serna, 2001).

1.6.2.c Gluten

Con este método se extrae y expresa en porcentaje el contenido de gluten. Cuando una harina es lavada en agua se pierde el almidón y la proteína soluble (albúminas y globulinas) quedando un residuo compuesto por las proteínas insolubles en agua (gliadinas y gluteninas). El peso del gluten húmedo o del gluten seco se expresa con base en el peso original de la muestra. El rendimiento está fuertemente correlacionado con el contenido de proteína dado que aproximadamente el 80 % del gluten deshidratado es proteína (Almazo, 1999).

1.6.3 Pruebas de panificación

1.6.3.a Volumen

Como ya había mencionado antes, una buena calidad del gluten aumenta la capacidad de retención del anhídrido carbónico y por tanto como efecto práctico, se obtiene un pan con mayor volumen. Este volumen se mide por el desplazamiento de la semilla de colza en un equipo diseñado para este propósito.

Ya que durante su almacenamiento el trigo puede pasar por cambios moleculares que afectan la calidad del pan como producto final, es que en este trabajo se da inicio a lo que podría ser una larga investigación, comenzando con el análisis de posibles modificaciones en las proteínas de trigo, para en un futuro poder prevenir y evitar las enormes pérdidas de trigo durante su almacenamiento.

2. Metodología de investigación experimental

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Evaluar el deterioro que manifiesta el trigo durante un almacenamiento inadecuado mediante pruebas físicas, químicas y reológicas para determinar el efecto que tiene sobre la calidad del pan.

2.1.2 Objetivo Particular 1

Evaluar la calidad del grano de trigo control y deteriorados mediante pruebas físicas y la composición química de sus harinas para conocer si existe variación en función del tiempo

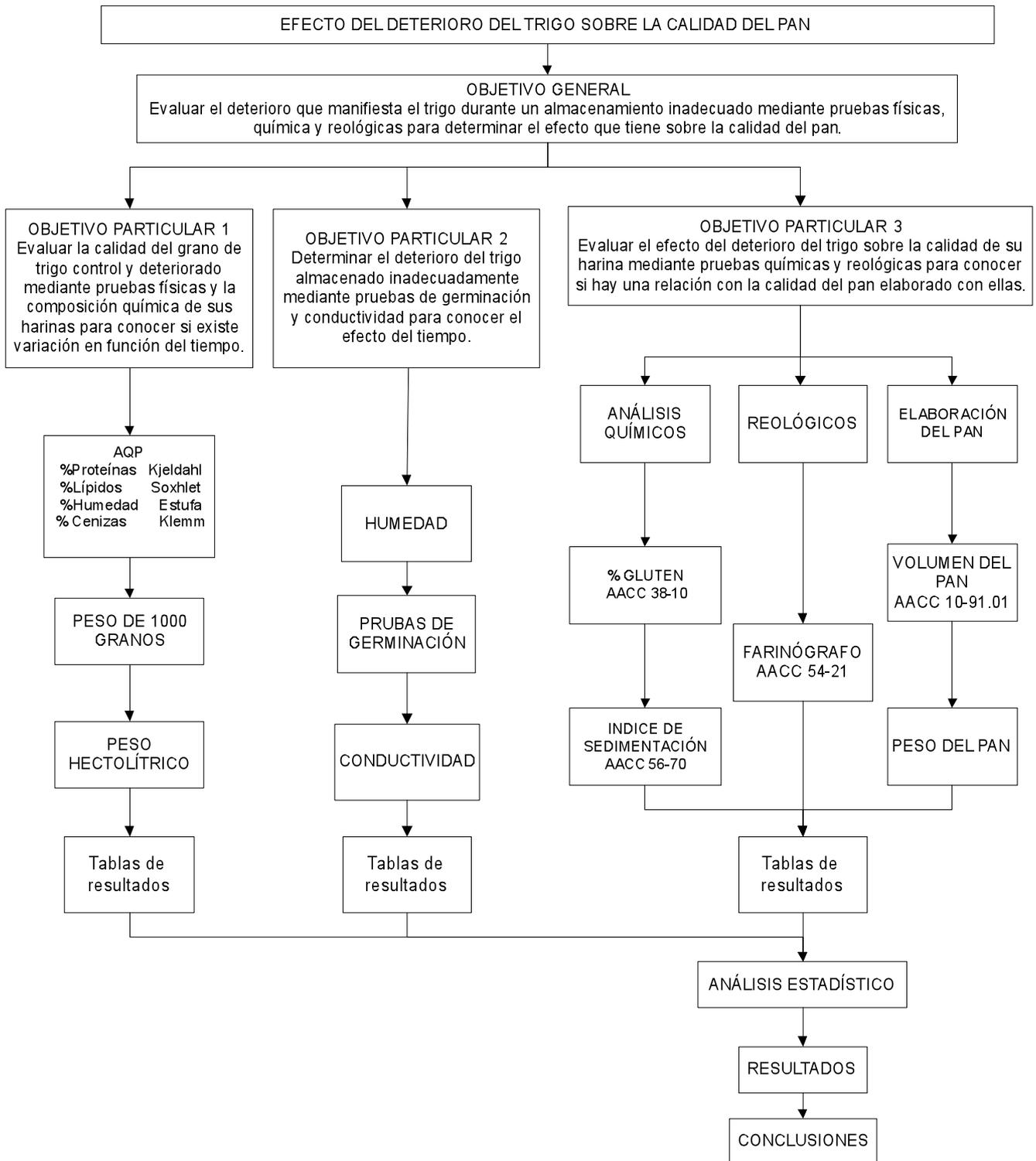
2.1.3 Objetivo Particular 2

Determinar el grado de deterioro del trigo almacenado en condiciones inadecuadas mediante pruebas de germinación y conductividad para conocer el efecto del tiempo.

2.1.4 Objetivo Particular 3

Evaluar el efecto del deterioro del trigo sobre la calidad de su harina mediante pruebas químicas y reológicas para conocer si hay una relación con la calidad del pan elaborado con ellas.

2.2 Cuadro Metodológico



2.3 Deterioro del Trigo

Se trabajó con trigo de la especie *Triticum aestivum* de la variedad Hard Red Winter (HRW) cosecha 2011.

Para lograr el deterioro del trigo, éste se almacenó en cajas de plástico (figura 5) a una humedad relativa del 75% durante 60, 120 y 185 días, esta humedad se monitoreo mediante un higrómetro digital que se colocó en el interior de la caja.



Figura 5. Almacenamiento del trigo para su deterioro.

2.4 Elaboración de la Harina

Para elaborar la harina, se molió el trigo en un molino de martillos marca Perten y se tamizó con malla No. 120 USA serie Tyler (figura 6). La harina obtenida se almacenó en frascos de vidrio a temperatura de refrigeración.



Figura 6 . Preparación de la harina.

2.5 Evaluación de la Calidad del Grano

2.5.1 Análisis Químico Proximal

Se realizaron las determinaciones de humedad, cenizas, proteínas, grasa y carbohidratos, de acuerdo a lo propuesto por la AOAC (1990).

2.5.1.a Humedad

Se determinó el contenido de humedad por el método de secado por estufa, el cual se basa en la eliminación del agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 130°C, hasta peso constante. El cálculo se realizó con la siguiente fórmula expresando el resultado como porcentaje de humedad (AOAC; 1995 Método 925.10).

$$\% \text{ Humedad} = [(W_2 - W_3) / W_1] * 100$$

Donde:

W_1 = peso de la muestra (g).

W_2 = peso de la muestra húmeda (g).

W_3 = peso de la muestra seca (g).

2.5.1.b Cenizas

La determinación del porcentaje de cenizas se realizó por diferencia de pesos después de una descomposición de la materia orgánica debido a la calcinación a 530 °C quedando solamente materia inorgánica en la muestra. El cálculo se realizó con la siguiente fórmula expresando el resultado como porcentaje de cenizas (AOAC; 1995 Método 923.03).

$$\% \text{ Cenizas} = [(W_3 - W_2) / W_1] * 100$$

Donde:

W_1 = peso de la muestra (g).

W_2 = peso del crisol sin muestra (g).

W_3 = peso del crisol con las cenizas (g).

2.5.1.c Determinación de Proteína Cruda

Se determinó el contenido de proteína por el método de micro Kjeldahl; el cual se basa en la combustión húmeda de la muestra, el producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos para convertir el nitrógeno orgánico en iones amonio. A la solución de la digestión se le añade álcali y se destila hacia una solución de ácido bórico. El destilado se titula con ácido clorhídrico. El cálculo se realizó con las siguientes fórmulas expresando el resultado como porcentaje de proteína (AOAC; 1995 Método 960.52).

$$\% \text{ Nitrógeno Total} = [(V_2 - V_1)(N)(0.014) / W] * 100$$

$$\% \text{ Proteína} = (\text{Factor})(\text{Nitrógeno Total})$$

Donde:

W= peso de la muestra en gramos.

V₁= volumen (ml) de HCl en titulación de blanco.

V₂= volumen (ml) de HCl en muestra problema.

N= normalidad de HCl

Factor= 5.83

2.5.1.d Determinación de Extracto Etéreo

El contenido de grasa se determinó por el método Soxhlet el cual se basa en la solubilidad de las grasas en compuestos no polares como el éter etílico, a partir de muestra libre de humedad. El solvente se elimina por evaporación quedando solo el residuo de grasa. El cálculo se realizó con la siguiente fórmula expresando el resultado como porcentaje de grasa extraíble (AOAC; 1995 Método 920.39).

$$\% \text{ Grasa Extraíble} = [(W_3 - W_2) / W_1] * 100$$

Donde:

W₁=peso de la muestra (g) antes de la desecación.

W₂= peso del matraz sin muestra (g).

W₃=peso del matraz con grasa (g).

2.5.2 Peso de Mil Granos

En un contador de semillas, se colocó un pequeño puño de granos, se contaron 100 granos de trigo y se pesaron en una balanza digital. El peso se multiplicó por 10 para obtener el peso de 1000 granos (Moreno, 1984).

2.5.3 Peso Hectolítrico

Se determinó el peso en kilogramos de un volumen de grano de 100 litros usando una balanza de peso hectolítrico (figura 7) en el que se lee el resultado en gramos por litro. La conversión de unidades se realizó como se indica a continuación expresando el resultado como kilogramos por hectolitro (Moreno, 1984).



Figura 7. Balanza para peso hectolítrico.

$$\text{Peso hectolítrico} = (W / 1 \text{ L}) (1 \text{ kg} / 1000 \text{ g}) (1 \text{ L} / 100 \text{ hl})$$

Donde:

W=peso de la muestra (g).

2.6 Determinación de Grado de Deterioro

2.6.1 Germinación

Se midió la viabilidad de las semillas colocando en papel para germinación húmedo 50 semillas previamente desinfectadas con solución de cloro al 1%. Se enrollaron y metieron en bolsas de plástico. Se mantuvieron durante 4 días a 25 °C. Después de este tiempo se contaron las semillas germinadas y el resultado se expresó como porcentaje de germinación. El cálculo se realizó con la siguiente fórmula (CIMMYT, 2012).

$$\% \text{ Germinación} = (50 - \text{No. De Semillas sin Germinar}) * 2$$

2.6.2 Determinación de Humedad de las Semillas

Ésta se determinó por secado en estufa. Se calculó el contenido de humedad gracias a la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua debido al calentamiento a 103 °C durante 72 horas. El cálculo se realizó con la siguiente fórmula expresando el resultado como

porcentaje de humedad.

$$\% \text{ Humedad} = [(W_2 - W_3) / W_1] * 100$$

Donde:

W_1 = peso de la muestra (g).

W_2 = peso de la muestra húmeda (g).

W_3 = peso de la muestra seca (g).

2.6.3 Conductividad

Se midió la conductividad eléctrica del agua de remojo de 1.8 g de semillas inmersas en 20 ml de agua desionizada después de reposar durante 24 horas a temperatura ambiente. La medición se realizó con un conductímetro marca Conmet modelo H13299 y el resultado se expresó en microsiems (μs).

2.7 Determinación de la Calidad de las Harinas y Elaboración del Pan

2.7.1 Gluten

Se determinó el contenido de gluten de una mezcla de 25 g de harina y 15 ml de agua la cual se lavó hasta eliminar toda la materia soluble incluido el almidón, el resto, se pesó como gluten húmedo, inmediatamente se secó a 100 °C durante 24 horas continuas y después por lapsos de una hora hasta peso constante. El cálculo se realizó con la siguiente fórmula expresando el resultado como porcentaje de gluten húmedo y porcentaje de gluten seco respectivamente (AACC; 2000 Método 38-10).

$$\% \text{ Gluten húmedo} = (W_2 / W_1) * 100$$

$$\% \text{ Gluten seco} = (W_3 / W_1) * 100$$

Donde:

W_1 = peso de la muestra inicial (g).

W_2 = peso de la muestra húmeda (g).

W_3 = peso de la muestra seca (g).

2.7.2 Sedimentación de Dodecil Sulfato de Sodio

Este método indicó el volumen de sedimentación de las proteínas capaces de enlazar agua después de ser desplegadas con SDS. En una probeta de 100 ml se agregaron 20 g de harina de trigo tamizado a través de una malla No. 20, agua y SDS-acido láctico, se agitó, se dejó reposar y se midió el volumen de sedimentación en mililitros (AACC; 2000 Método 56-70).

2.7.3 Farinógrafo

Se midió la resistencia que opone la masa al mezclado mediante un farinógrafo cuyo principio se basa en la determinación, por prueba y error, de la cantidad de agua óptima para lograr la consistencia ideal de la masa. Para esta prueba el porcentaje de agua utilizado se estandarizó en 57 %. En la gráfica obtenida se pudo leer tiempo de llegada, tiempo de desarrollo, tiempo de salida, estabilidad e índice de tolerancia al mezclado (AACC; 2000 Método 54-21).

2.7.4 Elaboración del Pan

Para la elaboración del pan se tomó como base, la formulación y procedimiento utilizados en Molinera de México S.A. de C.V. La harina utilizada fue la obtenida del trigo control, así como las harinas del trigo con 60, 120 y 185 días de deterioro.

La formulación y el procedimiento para la elaboración del pan son los indicados en la tabla 4 y la figura 8 respectivamente.

Tabla 4. Formulación para la elaboración del pan.

FORMULACIÓN	
Harina	61.53 %
Azúcar	1.23%
Sal	0.923%
Mejorante (Mejormix)	0.615%
Agua	33.84%
Levadura fresca (la florida)	1.84%

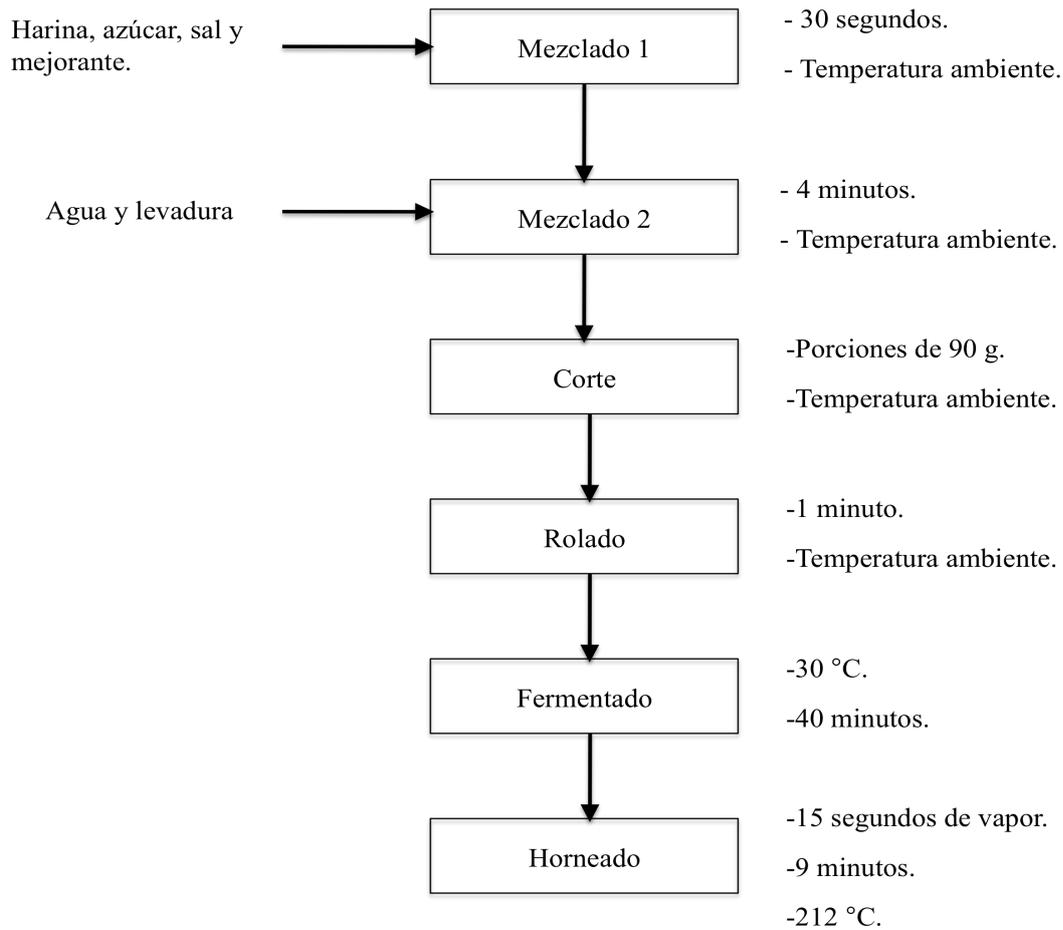


Figura 8. Diagrama de proceso de elaboración del pan.

Descripción del diagrama de proceso:

Mezclado 1

Se agregaron todos los polvos (harina, azúcar, sal y mejorante) y se mezclaron por 30 segundos.

Mezclado 2

Sin haber detenido la batidora en el mezclado 1, se agregó el agua y se inició un conteo de cuatro minutos de mezclado, en el minuto uno, se agregó la levadura y se continuó mezclando hasta completar los cuatro minutos.

Corte

Se realiza con un cortador previamente engrasado para evitar que la masa se pegue. La masa se coloca en el molde extendiéndola por toda la superficie y se prensa obteniendo cortes de 90g cada uno (figura 9).



Figura 9. Cortador de masa.

Rolado

El procedimiento del rolado se muestra en la figura 10. Con cada corte se hace una bolita presionando contra una mesa haciendo movimientos circulares, se expande con la palma de la mano, se toma de una orilla y se envuelve tres veces, después se bolea con ambas manos sin presionar en el centro hasta tener la forma deseada. Se colocan en charolas metálicas.



Figura 10. Rolado.

Fermentado

Las charolas metálicas se introducen en una cámara de fermentación a 30 °C durante 40 minutos para dar volumen al pan. Después de este tiempo se realiza el suajado (figura 11, a) al pan por la parte superior en el centro.

Horneado

Se agrega al inicio vapor durante 15 segundos para evitar el endurecimiento prematuro de la corteza. Este se deja durante 9 minutos a 212 °C (figura 11,b).

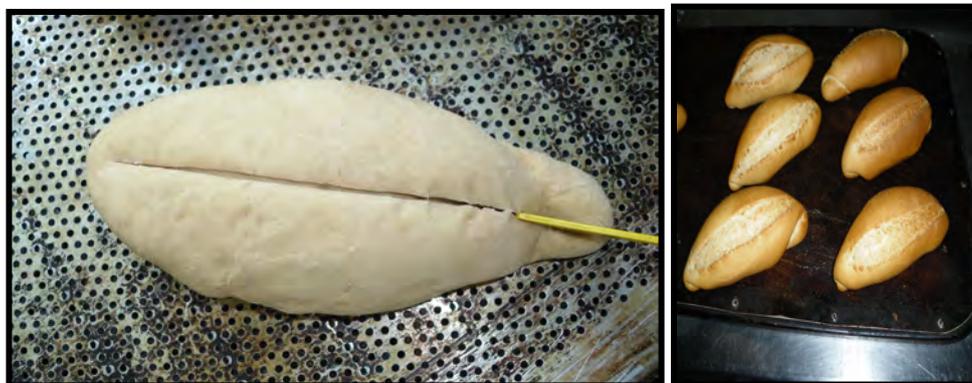


Figura 11. a) Suajado del pan. b) Pan horneado.

2.7.5 Volumen del Pan

Se midió el volumen por desplazamiento de semilla de colza en un equipo para este fin específico (figura 12) (AACCC, 2000; Método 10-05.01).



Figura 12. Medidor de volumen de pan

2.7.6 Peso del Pan

Después del horneado el pan se dejó atemperar y se pesó usando una balanza digital.

2.8 Método Estadístico

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y se calculó su promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para el análisis de los promedios se utilizó la prueba de rango múltiple t-student con un nivel de significancia de 0.05 (Walpole, 1999).

3. Resultados y Discusión

3.1 Evaluación de la Calidad del Grano

3.1.1 Análisis Químico Proximal

Se realizó el análisis químico proximal a las muestras de harina de trigo control y trigo deteriorado para evaluar si existía alguna modificación en la composición química durante el deterioro. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Análisis químico proximal de la harina de trigo control y deteriorado.

	Humedad	Proteínas	Grasa	Cenizas	CHOS
Trigo control	9.07 ^{a*}	10.06 ^a	1.94 ^a	1.29 ^a	77.64 ^a
60 días de deterioro	10.57 ^{ab}	9.93 ^a	1.80 ^a	1.22 ^a	76.48 ^a
120 días de deterioro	11.10 ^b	10.06 ^a	1.91 ^a	1.21 ^a	75.83 ^a
185 días de deterioro	11.29 ^b	9.38 ^a	1.93 ^a	1.21 ^a	76.19 ^a

*Medias con diferente letra en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

El porcentaje de humedad aumentó conforme fue mayor el tiempo de deterioro y existió diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre las muestras, pues el mantener al grano a una humedad relativa alta, tiende a equilibrarse a una humedad mayor. La humedad se mantuvo en un rango de 9.07 a 11.29 %. Este rango de humedades cumple con lo especificado en la Norma Mexicana (MNX-f-007-1982) para harina panadera donde se establece un máximo de 14 % de humedad.

El contenido de cenizas se mantiene igual para las muestras deterioradas pues no existe diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$); pero se puede notar una disminución al aumentar el tiempo de deterioro. Esto se puede explicar por el aumento en el contenido de humedad, pues facilitó que el pericarpio, el cual tiene mayor contenido de cenizas, se separara del endospermo durante la molienda, y disminuyera el contenido de cenizas en la harina, por eso, en el proceso de obtención de harina de trigo a nivel industrial se hace un acondicionamiento que consiste en incrementar la humedad del grano (Serna, 2001). Los valores de cenizas no cumplen con lo especificado en la Norma Mexicana (MNX-f-007-

1982) que indican como máximo 0.55%, esto es normal porque no se realizó ningún acondicionamiento para la molienda y la harina contiene más pericarpio.

El contenido de proteína tampoco varió con el deterioro y no hubo diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) entre las muestras evaluadas. El rango de proteína va de un 9.38 a 10.06 % coincidiendo con el rango reportado en la literatura (Calaveras, 2004), además de cumplir con lo establecido en la norma. En los resultados de carbohidratos no se observó ninguna diferencia significativa manteniéndose en un rango de 77.64 a 75.72 %. Estos valores son muy similares a los reportados en la literatura (Calaveras, 2004).

Por tanto, se puede concluir que el deterioro no provocó cambios significativos en la composición química del trigo evaluado.

3.1.2 Peso de 1000 granos y Peso Hectolítrico

El resultado de peso hectolítrico muestra que este valor disminuyó ligeramente en relación al tiempo de deterioro, pero no hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las muestras (tabla 6). Todos los valores obtenidos están dentro del grado de calidad 1 y 2 de la MNX-f-007-1982. Esto puede ser debido a que el trigo que se usó como materia prima estaba sano, limpio y durante el tiempo que se mantuvo en deterioro, nunca estuvo expuesto a los factores extrínsecos (roedores, aves, insectos, hongos) que contribuyeran a la variación de estos valores, ya que estos organismos son los que pueden modificar parte del grano disminuyendo su peso y por tanto también su densidad (OEIDRUS, 2012).

Tabla 6. Peso de 1000 granos y Peso Hectolítrico de trigo control y trigo deteriorado.

	Peso hectolítrico (Kg/Hl)	Peso de 1000 granos (g)
Trigo control	77.5 ^a	28.7 ^{a*}
60 días de deterioro	76.0 ^a	31.2 ^a
120 días de deterioro	73.5 ^a	31.4 ^a
185 días de deterioro	75.5 ^a	30.6 ^a

*Medias con diferente letra en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

En los resultados de peso de mil granos, no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las muestras. Los valores están dentro del rango de 25 a 50 gramos reportado en la literatura para trigo (Serna, 2001). El que no exista ninguna diferencia puede deberse a que el trigo que se utilizó pertenece a una misma cosecha con lo que se disminuyó la posibilidad de presentar variaciones en el tamaño.

3.2 Determinación del grado de deterioro

3.2.1 Humedad de las Semillas y Germinación

En la figura 13 se observa que el porcentaje de humedad de las semillas aumentó con el tiempo de deterioro, lo que es lógico ya que el trigo es higroscópico y al ser almacenado a una humedad relativa del 75%, el gradiente de humedades entre grano y ambiente tienden a disminuir con el tiempo, aumentando así, la humedad del trigo.

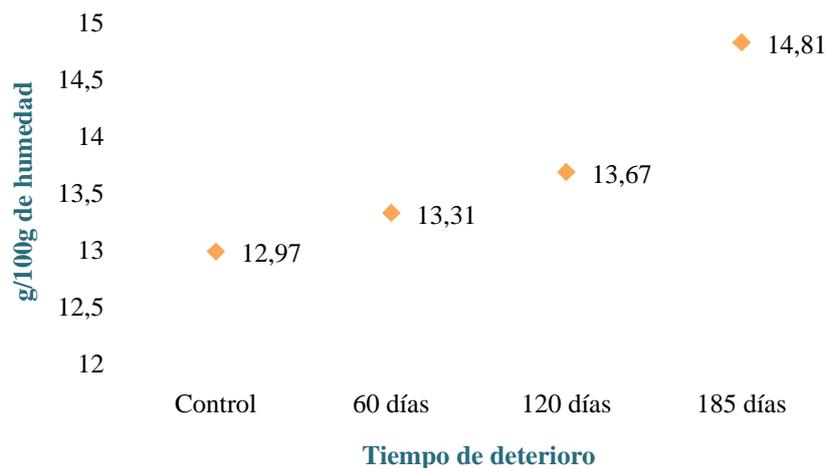


Figura 13. Porcentaje de humedad del trigo control y deteriorado.

También el porcentaje de germinación fue modificado por el deterioro de manera importante (figura 14), probablemente debido a que con la humedad que ganó el trigo durante su almacenamiento se pudo dar inicio al ciclo de germinación, pero este no se concluyó por no tener la cantidad de agua suficiente para seguirlo promoviendo hasta concluirlo, por lo tanto, se degradaron algunos componentes de reserva necesarios para germinar (Hoseney, 1991). En la literatura se documenta que durante el almacenamiento, un contenido de entre 11 y 14% de humedad en el trigo reduce o anula su actividad metabólica (Serna 2001). Cuando la humedad relativa en el aire se aproxima a 75%, el grano se equilibra con el ambiente llegando a una humedad de aproximadamente 14.5%, con este contenido de humedad en el grano, la mayor

parte del agua esta ligada y por tanto no esta disponible para ser utilizada por microorganismos, sin embargo, es suficiente para acelerar la tasa de respiración (Serna, 2001).

Según el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, se requiere de mínimo un 85% para decir que la germinación de una semilla es buena (CIMMYT, 2012). En la figura 14 se observa que desde que el trigo alcanzó un 13.67% de humedad a los 120 días de deterioro no logró superar este requerimiento. Con esto se comprueba que realmente se cuenta con el trigo deteriorado para evaluar su efecto en la calidad del pan.

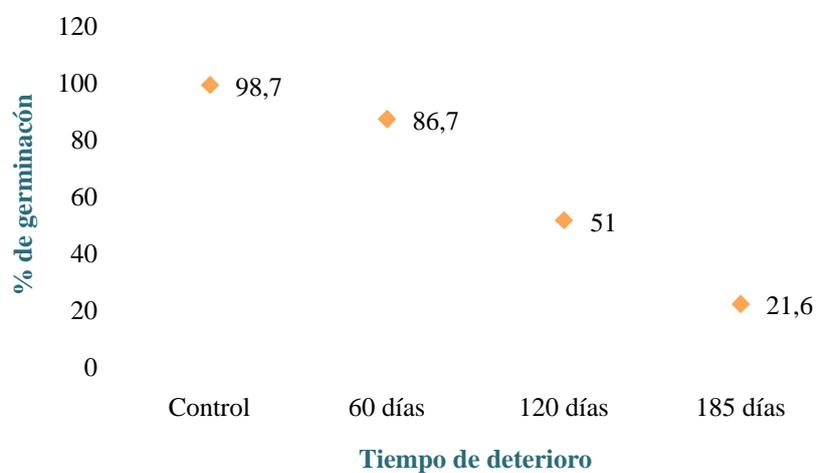


Figura 14. Porcentaje de germinación del trigo control y deteriorado.

3.2.2 Conductividad

En la figura 15 se puede ver que la conductividad eléctrica aumentó conforme aumenta el tiempo de deterioro. Según la literatura (Hilmig, 2011) esto es debido a que con el deterioro, se pierden solutos citoplasmáticos con propiedades electrolíticas ya que existe una degradación de lípidos de sus membranas celulares con lo que disminuye la capacidad de transportar proteínas que regulan el transporte de estas sustancias. Esta es otra explicación de porque la semilla de trigo, disminuyó su porcentaje de germinación, indicando que la semilla sufrió deterioro.

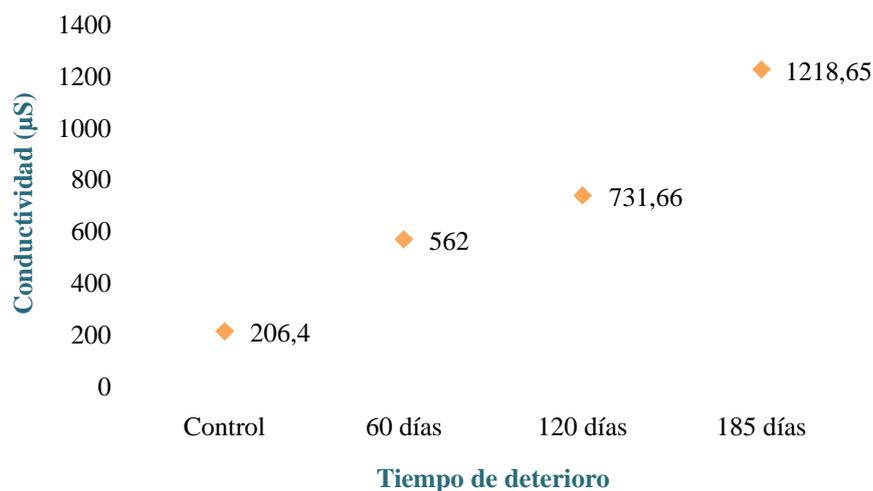


Figura 15. Conductividad eléctrica del agua de remojo de semillas de trigo control y deterioradas.

3.3 Determinación de la calidad de las harinas

3.3.1 Gluten

En la tabla 7 se muestran los valores promedio de la prueba de gluten. Estos se encuentran entre los rangos de 20 a 35% para gluten húmedo y 6 a 12% para gluten seco reportados por OEIDRUS (2012) para harinas panaderas. Entre estos no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) pero se puede ver que los valores más altos corresponden al trigo control y los más bajos al trigo con mayor tiempo de deterioro (185 días), esto coincide con los valores de contenido de proteína los cuales tuvieron el valor más alto para el trigo control y el más bajo para el trigo con 185 días de deterioro, indicando que aún después del deterioro, se sigue manteniendo la misma proporción de proteínas formadoras de gluten con respecto a las proteínas totales del trigo. Esta disminución puede deberse a que durante el deterioro las proteínas formadoras de gluten presentan una degradación, disminuyendo la cantidad de proteína insoluble en agua probablemente debido a que quedan aminoácidos polares libres de las proteínas desnaturizadas (Michalcová, 2012).

Tabla 7. Porcentaje de gluten obtenido de las muestras de trigo control y deterioradas.

	% de gluten húmedo	% de gluten seco
Trigo control	22.02 ^{a*}	8.51 ^a
60 días de deterioro	21.46 ^a	8.26 ^a
120 días de deterioro	21.81 ^a	8.51 ^a
185 días de deterioro	20.49 ^a	7.72 ^a

*Medias con diferente letra en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

Por otro lado, otra posibilidad es que, exista formación de enlaces en las proteínas del gluten (Shewry, 1997), lo que disminuiría su absorción de agua y evitaría aumentar su peso. Por esto, al obtener el peso del gluten seco, es menor la diferencia entre las muestras, en comparación con las diferencias obtenidas en los pesos del gluten húmedo, porque la cantidad de agua unida al gluten era mayor cuando tenía menos enlaces.

3.3.2 Sedimentación de Dodecil Sulfato de Sodio

En la tabla 8, se observan los valores obtenidos de la prueba de índice de sedimentación que van de 42 ml a 37 ml, estos valores están dentro del rango de buena calidad panificable según la literatura, la cual nos indica que sobre 35 ml la calidad es buena, de 16 a 34 ml es intermedia y menor de 15 ml es mala (Álvarez, 2002). A pesar de mostrar una disminución en el trigo con 185 días de deterioro, no existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre las muestras. La disminución en esta muestra puede deberse a que con el tiempo las proteínas se degradan disminuyendo la cantidad de estas que son capaces de enlazar agua y precipitar (Michalcová, 2012).

Por otro lado, existe la probabilidad de que las proteínas formaran enlaces (Shewry, 1997) tan fuertes que el SDS no las pudo desplegar del todo y por tanto la cantidad de agua que se enlazó fue poca y al ser cada vez menor la cantidad de agua en el precipitado, el volumen de sedimentación disminuyó.

Por lo tanto, los resultados de esta prueba siguen manteniendo tanto la posibilidad de degradación de las proteínas (Michalcová, 2012) como la de formación de enlaces (Shewry, 1997).

Tabla 8. Índice de sedimentación de harina de trigos control y deteriorados.

	Índice de sedimentación
Trigo control	42 ^{a*}
60 días de deterioro	42 ^a
120 días de deterioro	42 ^a
185 días de deterioro	37 ^a

*Medias con diferente letra en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

3.3.3 Farinógrafo

En la tabla 9 se muestran los valores obtenidos al medir la calidad de la harina con el farinógrafo. Se puede observar que la consistencia máxima fue disminuyendo conforme aumentaba el tiempo de deterioro. Ya que la capacidad de absorción de agua se mide con el porcentaje de la graduación de la bureta con la que se añade el agua hasta alcanzar una consistencia de 500 UF, podemos notar que la capacidad de absorción de las diferentes muestras fue disminuyendo, pues el valor de la consistencia máxima se fue acercando más a estas 500 UF a pesar de que la cantidad de agua agregada estaba estandarizada en 57%; esto coincide con resultados de humedad del análisis químico proximal, puesto que mientras más humedad tenía la harina, la capacidad de absorción de agua era menor. El tiempo que tardó en adquirir su consistencia máxima o tiempo de desarrollo aumentó con el tiempo de deterioro. Según lo que indica la literatura (Calaveras, 2004) en un ejemplo de medias panaderas, para una harina normal se lleva de dos a tres minutos de tiempo de desarrollo y valores mayores a cuatro minutos representan harinas fuertes. Con base en lo anterior se puede decir que la harina del trigo control está en el rango de las harinas normales y las harinas de los trigos deteriorados se clasifican como harinas fuertes. En cuanto a la estabilidad, ésta aumenta conforme aumenta el tiempo de deterioro; las harinas más estables, suelen ser más fuertes.

Por tanto, estos valores indican que el deterioro provocó que las harinas fueran más fuertes, lo cual, podría explicarse por la hipótesis de formación de enlaces disulfuro en las proteínas de gluten con residuos de cisteína derivados de la degradación de proteínas de reserva por acción de proteasas durante el deterioro (Shewry, 1997). Con esto, se podría pensar que la disminución observada en los resultados de las pruebas de gluten e índice de sedimentación y el aumento de la fuerza de la harina demostrada en los valores farinográficos se debe a que

por la degradación de gliadinas y gluteninas, la cantidad de gluten disminuye, reflejándose en la disminución de porcentaje de gluten e índice de sedimentación, pero de la degradación de estas proteínas, quedaron residuos de cisteína expuestos, con lo que se formaron enlaces disulfuro en las proteínas de reserva restantes aumentando así su fuerza.

Tabla 9. Valores obtenidos del farinógrafo.

	Consistencia máxima	Tiempo de desarrollo	Estabilidad
Trigo control	862 UF ^a	3.5 min ^{a*}	2.9 min ^a
60 días de deterioro	660 UF ^b	5.5 min ^b	7.8 min ^b
120 días de deterioro	700 UF ^b	6.0 min ^b	8.1 min ^b
185 días de deterioro	701 UF ^b	5.9 min ^b	9.5 min ^c

*Medias con diferente letra en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).
Para esta prueba el porcentaje de agua utilizado se estandarizo en 57 %

3.3.4 Volumen y Peso del Pan

Para evaluar el efecto del deterioro en la elaboración del pan, se midió el volumen y peso de los panes que se elaboraron con las harinas de las diferentes muestras de trigo, los resultados se muestran en la tabla 10. Se puede observar una disminución del volumen con el tiempo de deterioro, mostrándose una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el volumen del pan elaborado con trigo control y los volúmenes de los panes elaborados con harina de trigo deteriorado. Esto puede ser debido a la formación de los enlaces disulfuro en las proteínas del gluten durante el deterioro (Shewry, 1997), los cuales provocan mayor cohesividad en la masa, inhibiendo la expansión y por tanto la disminución del volumen final (Badui, 1994).

En cuanto al peso del pan, no se observa ningún cambio significativo debido a que la formulación utilizada fue siempre la misma. La ligera disminución de peso que se observó al aumentar el tiempo de deterioro, puede deberse a que las harinas de trigos con mayor tiempo de deterioro tenían mayor porcentaje de humedad, por lo tanto el agua que se agregó en la elaboración del pan no se enlazó de la misma manera para todos los tiempos de deterioro, y así, la evaporación durante y después del horneado fue mayor (Martínez, 1998).

Tabla 10. Volumen y peso del pan

	Volumen	Peso
Trigo control	280 cm ³ ^{a*}	79.9 g ^a
60 días de deterioro	173.3 cm ³ ^b	78.7 g ^a
120 días de deterioro	156.6 cm ³ ^b	78.7 g ^a
185 días de deterioro	161.6 cm ³ ^b	78.3 g ^a

*Medias con diferente letra en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

En resumen, con los resultados de peso hectolítrico y peso de mil granos, no se observa ninguna disminución significativa en la calidad del grano entero, sin embargo, con las pruebas de germinación y conductividad, se ve que existe deterioro de estos y este deterioro afectó la calidad de las harinas que se obtuvieron. No se observaron cambios en los componentes químicos con el análisis químico proximal, pues no hay diferencia significativa entre los valores de las muestras a excepción de la humedad, ya que es claro que esta aumenta notablemente con el tiempo de deterioro. Los resultados de las pruebas de gluten e índice de sedimentación disminuyeron con el tiempo de deterioro pero no variaron significativamente en ninguna de las muestras. El mayor cambio en la calidad de las harinas, se hace notar con la prueba del farinógrafo donde la estabilidad y el tiempo de desarrollo aumentan y la consistencia máxima disminuye con el tiempo de deterioro; es en esos valores que la harina obtenida de trigo control muestra diferencias significativas con cualquiera de las harinas obtenidas de trigos deteriorados. Lo mismo ocurre al evaluar la calidad del producto final, el pan, ya que su volumen disminuyó notablemente pues existieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre aquel elaborado con trigo control y los elaborados con trigo deteriorado.

De estas pruebas puede proponerse que, aumenta la fuerza de la harina con el tiempo de deterioro debido a la formación de enlaces disulfuro por residuos de cisteína producto de la acción de las proteasas durante el deterioro, por tanto, se cuenta con un gluten mas fuerte dificultando el esponjamiento del pan durante la fermentación y el horneado.

4. Conclusiones

Las condiciones de almacenamiento inadecuado del trigo, sí provocaron su deterioro, observado por la disminución de su poder germinativo y un aumento en la pérdida de la integridad de sus membranas celulares a mayor tiempo de almacenamiento.

Evalutando la composición química y la calidad del grano en los tres diferentes tiempos de deterioro mediante el análisis químico proximal de sus harinas y el análisis físico de los granos, se observó que no hubo un efecto del deterioro del trigo sobre los componentes químicos ni la calidad física del grano, ya que en comparación con el trigo control no existió una disminución significativa de estos parámetros.

El deterioro del trigo sí afectó, aunque ligeramente, la cantidad de gluten y su poder de absorción de agua que se ve reflejado con el índice de sedimentación, disminuyéndolo en ambos casos.

Las pruebas reológicas y de calidad del pan mostraron que el deterioro provocó un aumento en la fuerza de la masa formada con el trigo lo cual disminuyó la calidad del pan elaborado con harinas de trigo deteriorado.

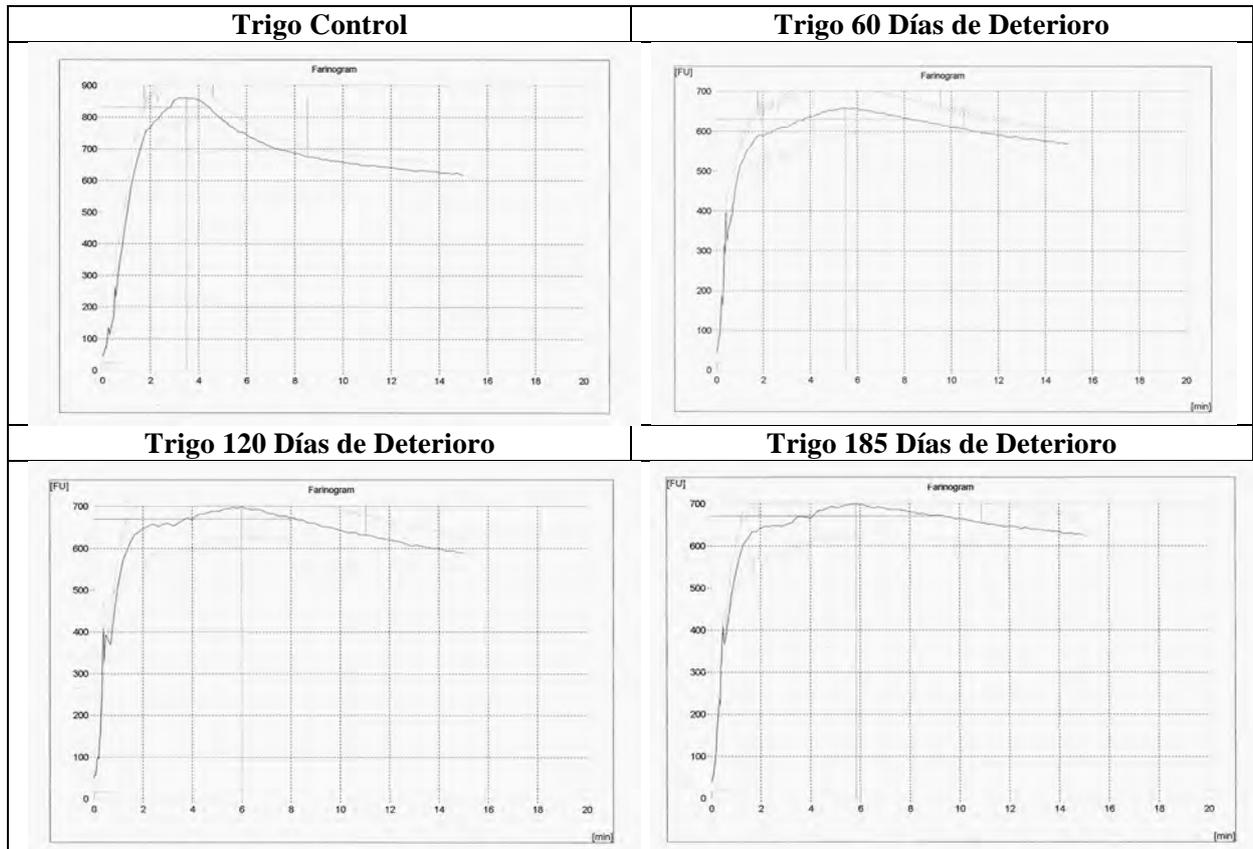
Relacionando los resultados de estas pruebas, puede proponerse que, aumenta la fuerza de la harina con el tiempo de deterioro debido a la formación de enlaces disulfuro entre residuos de cisteína producto de la acción de las proteasas durante el deterioro, por tanto, se cuenta con un gluten más fuerte dificultando el esponjamiento del pan durante la fermentación y el horneado.

5. Recomendaciones

Se sabe ya que durante el deterioro del trigo existen cambios en las proteínas formadoras de gluten, por lo tanto, se recomienda realizar electroforesis en geles de dodecil sulfato de sodio para conocer a detalle los cambios sufridos en la estructura de estas durante el deterioro.

6. Anexos

Farinogramas



7. Referencias

- AACC Approver Methods of Analysis, 2000, 10th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Almazo, D. R. (1999). Evaluación mixográfica en harinas de trigo suaves (*Triticum aestivum*) y su relación con calidad galletera. Tesis Licenciatura, Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- AOAC. (1995). 15th ed. Association of official analytical chemists. Inc. Washington, D. C. USA.
- Badui, D. S. (1994). Química de los alimentos. Ed. Pearson Educación., 3ra ed. México, 646 pp.
- Barriga, X. (2003). Panadería artesana, tecnología y producción. Montagud Editores S.A. Barcelona, España, 239 pp.
- Calaveras, J. (2004). Nuevo tratado de panificación y bollería. AMV Ediciones. Madrid, España. Segunda edición, 622 pp.
- CANIMOLT, (2012). Clasificación de trigos en Estados Unidos. Fecha de consulta: agosto del 2012. Disponible en : <http://www.canimolt.org/trigo/tipos-de-trigo/estados-unidos-1>
- CANIMOLT, (2012). Definición del trigo. Fecha de consulta: agosto del 2012. Disponible en : <http://www.canimolt.org/trigo>.
- CIMMYT, (2012). Métodos de medición. Fecha de consulta: mayo del 2012. Disponible en: <http://wheatdoctor.cimmyt.org/es/metodos-de-medicion/33?task=view>
- Delgado, M. A.; Espinoza, I.; Navarrete M. A.; Pérez, M.; Herrera S. (2010). Elaboración de pan libre de gluten. Fecha de consulta: abril del 2012. Disponible en : www.respyn.uanl.mx/especiales/2010/ee-09-2010/.../DPN84.pdf
- Enríquez, M. O. (2012). Instalación de un banco de molienda para la producción de trigo planchado para mejorar la productividad de una planta de la industria alimentaria. Trabajo profesional, Ingeniería en Alimentos, UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- García, L. A. (2007). Explorando los altos rendimientos del trigo. En. Mohan, K. M; Martino, D. L. (ed), Ed. INIA y CIMMYT. México, 338 pp.
- Hernández, G. y Serra, M. (2010) Libro blanco del pan, Ed. Médica Panamericana S.A. España, p. 81.

- Hilmig V, Mendez N. J. (2011). Relación entre la conductividad eléctrica, pH del agua de remojo, germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo dos condiciones experimentales. *Scientia Agropecuaria*, 2(2011):213-228.
- Hosoney, C. (1991). Principios de la ciencia y tecnología de los cereales. Tr. González A. M. Ed. Acibia S.A. Zaragoza, España, pp. 73-75.
- Lallemand. (2012). Como la harina afecta la calidad del pan. Fecha de consulta: noviembre del 2012. Disponible en: <http://www.lallemandmexico.com/pdf/LBU-01-17.pdf>
- Martínez, N. (1998). Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno. Ed. Reproval, S. L. España, p. 151.
- Michalcová, E.; Potocká, E.; Chmelová, D.; Miroslov, O. (2012). Study of wheat proteina degradation during germination. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 1(6):1439-1447.
- NMX-007-1982. Alimento para humanos. Harina de trigo. Foods for humans. Wheat flour. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- NMX-036-1996. Productos alimenticios no industrializados. Cereales. Trigo. (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* Desf.). Especificaciones y métodos de prueba.
- OEIDRUS, (2012). Reporte de la calidad del trigo (Ciclo Otoño-Invierno 2005/2006). Fecha de consulta: noviembre del 2012. Disponible en: <http://www.oeidrusbc.gob.mx/sispro/trigobc/Industrializacion/InformeCalidad.pdf>
- Ospina, M. J. (2002). Características físico mecánicas y análisis de calidad de granos. Ed. Universidad Nacional de Colombia. Colombia, p. 16.
- Prats, J. (1969). Los cereales. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España, pp. 20.
- Rivera, L. E.; Romero, B. J. (1996). Estudio de la calidad del trigo, su harina. Evaluación de tres variedades de trigo (*Triticum aestivum*). Tesis Licenciatura, Ingeniería en Alimentos, UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.
- Ruiz, A.M.; Teijon, R. J.; Blanco, G. M.; Agrasal, A. C.; Castel, A. C. (1999). Bioquímica estructural. Ed. Alfaomega S.A. de C.V. México, pp. 26-37.
- Sánchez, P. T. (2003). Procesos de elaboración de alimentos y bebidas. Ed. Mundi-Prensa. España, p 114.
- Shewry, P. R.; Tatham, A. S. (1997). Disulphide Bonds in Wheat Gluten Proteins. *Journal of Cereal Science*, 25(1997):207-227.
- Serna, S. O. (2001). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. Ed. A.G.T. Editor, S.A, México D.F, 521 pp.

- Tecnologías Limpias, (2012). Elaboración de harina de trigo. Fecha de consulta: agosto de 2012. Disponible en: http://www.tecnologiaslimpias.org/html/central/311601/311601_mp.htm
- De la Vega, R. G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. Temas de ciencia y tecnología, 13(38);27.
- Walpole, R. E. (1999). 6ta ed. Probabilidad y estadística para ingenieros. Ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México. 752 pp.