



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

**ESTANDARIZACION DE CALIDAD DE HARINAS EN LA
INDUSTRIA DE LA PANIFICACION A TRAVES DE
MEJORADORES.
ESTUDIO EN PAN BLANCO.**

MEMORIA DE DESEMPEÑO PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A

ERNESTO CONTRERAS LAUREANO

ASESOR:

I. A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO. 1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el La Memoria de Desempeño Profesional: Estandarización de calidad de harinas en la industria de la panificación a través de mejoradores. Estudio en pan blanco.

que presenta el pasante: Ernesto Contreras Laureano
con número de cuenta: 7819426-3 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero en Alimentos

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

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlan Izcalli, Edo. de Méx.. a 27 de Noviembre de 1996

PRESIDENTE	<u>Dra. Sara E. Valdés Martínez</u>	
VOCAL	<u>M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala</u>	
SECRETARIO	<u>L.A. Laura M. Cortazar Figueroa</u>	
1er. SUPLENTE	<u>L.A. Rosalía Meléndez Pérez</u>	
2do. SUPLENTE	<u>L.A. Patricia Muñoz Aguilar</u>	

Agradezco a:

Dios

por la vida que me presta y ofrezco la mía por
los que me rodean para servirles con Amor.
Por permitirme concluir una etapa más
en el desarrollo de mi vida profesional.
Por dejarme ver la luz al fin de un
camino y el comienzo de uno nuevo.

Andy

por ser mi amiga, mi compañera y mi consejera,
por no desesperarse ante el paso del tiempo,
por ser simplemente mi complemento
y mi todo; mi luz, y mi conciencia;
mi principio y mi final. Te amo.

Diego y Alejandra

por ser el amor convertido en ilusión,
en risas y llantos, en juegos y enseñanzas,
por ser los amores de mi vida
y la razón de mi ser.

Lupita

por ser el ejemplo de amor y lucha incansable en la vida;
el espíritu de bondad y nobleza,
y de un corazón siempre encendido para sus hijos.

Jesús

por su silencio y lejanía, motivo de mi superación
como persona, padre e hijo.

Ángeles y Edith

por su amor y amistad de hermanas,
por la ayuda desinteresada en la vida,
siendo ejemplo con sus actos de bondad.

Laura y Gerardo

por su amistad y apoyo incondicional de por vida.

Marina y Rogelio

por un amor hacia un hijo encarnado en mí y
por su tesón en la lucha diaria.

Fabis, Susy, Pépe,

Jorge, Benito y Alfredo

por su hermandad, amor y amistad.

Lucy

por ser siempre un hogar cálido y lleno de amor.

Primos

por ser como hermanos.

Julio

por su amistad eterna y por su enseñanza de la vida.

Bimbo

por transmitir los principios y valores, más esenciales de la vida
y haber influido en mi formación como persona

Amigos

por estar siempre que los he necesitado en la vida
y por saber que cuentan incondicionalmente conmigo.

Profesores

por haber sido el eje del cambio fundamental en mi vida.

La creación de miles de bosques está en una sola bellota.

Cualquiera que sea mi trabajo, permítanme desempeñarlo con amor y así no fracasaré.

***“Y Dios vio que esto era bueno”
Génesis***

***** *INDICE*

INDICE

1	OBJETIVOS.....	5
1.1	Objetivo General.....	6
1.2	Objetivos Específicos	6
2	INTRODUCCIÓN.....	7
3	FUNDAMENTACIÓN.....	9
3.1	CEREALES Y TRIGOS PARA PANIFICACION.....	9
3.1.1	Cereales.....	10
3.1.2	Trigos para Panificación.....	10
3.1.2.1	Clasificación.....	10
3.1.2.2	Composición.....	12
3.1.2.3	Variedades.....	15
3.1.2.4	Grados de Calidad.....	15
3.1.2.5	Áreas de Cultivo y épocas de Cosecha por Regiones.....	17
3.1.2.6	Parámetros de Calidad del Trigo para su Comercialización.....	19
3.1.2.7	Selección de trigo para Molenda.....	19
3.1.2.8	Calidades de Trigo.....	25
3.2	MOLINOS Y MOLIENDA.....	27
3.2.1	Principios básicos de Molienda de Trigo.....	28
3.2.1.1	Recepción de trigo y almacenamiento.....	28
3.2.1.2	Preparación del trigo para la molienda.....	29
3.2.1.3	Molienda.....	32
3.2.1.4	Colección de harina y tratamiento.....	34
3.2.1.5	Almacenamiento de producto terminado, empaque y manejo.....	36
3.2.2	Control de proceso y factores a controlar.....	36
3.2.3	Porcentaje de extracción.....	37
3.2.4	Tratamiento de harina.....	38
3.2.5	Cantidad y Calidad de Proteínas.....	40
3.2.6	Estandarización de Calidad de Harina de Trigo.....	41
3.2.7	Factores Higiénicos.....	42

3.3	PROCESO DE PANIFICACION.....	43
3.3.1	Formulación.....	44
3.3.2	Etapas en la elaboración de Pan.....	45
3 3 2 1	Mezclado.....	45
3 3 2 2	Fermentación.....	47
3 3 2 3	Modelado.....	49
3 3 2 4	Horneo.....	50
3.4	FUNCIONALIDAD DE INGREDIENTES BÁSICOS.....	53
3.4.1	Harina.....	54
3.4.2	Agua.....	54
3.4.3	Grasas.....	55
3.4.4	Azúcares.....	56
3.4.5	Levadura.....	58
3.4.6	Sal.....	59
3.5	HARINA: FUNCIONALIDAD Y CARACTERIZACION.....	61
3.5.1	Harinas empleadas en productos de Panificación.....	62
3.5.2	Composicion de la Harina.....	63
3.5.3	Caracterización de las Harinas Panaderas.....	65
3.5 3 1	Alveografica.....	66
3.5 3 2	Farinografica.....	67
3.5 3 3	Enzimatica.....	69
3.5 3 4	Fisico-quimica.....	71
3.5 3 5	Prueba de Panificación.....	74
3.5.4	Almacenamiento y Respiracion de la Harina.....	74
3.6	MEJORADORES DE LA CALIDAD DE LA HARINA.....	76
3.6.1	Empleo de mejoradores para estandarizar la calidad de la harina.....	77
3.6.1.1	Gluten de Trigo Vital.....	77
3.6.1.2	Oxidantes.....	79
3.6.1.2.1	Bromato de Potasio.....	80
3.6.1.2.2	Iodato de Potasio.....	81
3.6.1.2.3	Peroxido de calcio.....	81
3.6.1.2.4	Azodicarbonamida (ADA).....	81
3.6.1.2.5	Acido Ascorbico.....	82

3.6.1.3	Enzimas.....	83
3.6.1.3.1	Amilasas.....	83
3.6.1.3.2	Proteasas.....	87
3.6.1.3.3	Hemicelulasas.....	88
3.6.1.3.4	Lipoxigenasa.....	89
3.6.1.3.5	Glucosa oxidasa.....	89
3.6.2	Efectos del nivel de mejoradores en la masa y en la calidad del pan	89
3.6.2.1	Mejora en las características físicas de las masas.....	91
3.6.2.2	Mejora las características del producto final.....	91
3.7	LEGISLACION SOBRE MEJORADORES.....	92
4	DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	94
4.1	Métodos, Fórmulas y Procedimientos.....	95
4.1.1	Sistema de mejoradores en formulaciones existentes.....	97
4.1.2	Características de calidad.....	97
4.1.3	Sistemas de evaluación de calidad y costo.....	99
4.2	Modelo Experimental.....	100
4.2.1	Ingredientes a evaluar.....	101
4.2.2	Laboratorio.....	102
4.2.2.1	Análisis de muestras.....	102
4.2.2.2	Resultados.....	102
4.2.2.3	Análisis de Resultados.....	103
4.2.3	Planta Piloto.....	111
4.2.3.1	Diseño de Pruebas.....	111
4.2.3.2	Resultados.....	112
4.2.3.3	Análisis de Resultados.....	113
5	CONCLUSIONES.....	119
6	BIBLIOGRAFÍA.....	122
7	INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	127

CAPÍTULO *UNO*

*******OBJETIVOS**

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Presentar alternativas para la estandarización de las harinas de trigo en la industria de la Panificación, empleando mejoradores en una formulación típica de Pan Blanco.

1.2 Objetivos Especificos

Evaluar algunos mejoradores de harina en el proceso de Pan Blanco, a nivel de laboratorio y de planta piloto, comparando los resultados con el uso de mejores calidades de trigo, y su afectación a los costos del producto final

Generar recomendaciones de uso de mejoradores de harinas, en base a la caracterización analítica de las harinas.

Realizar una revisión de los principios básicos de cereales, la molienda y del proceso de panificación, así como hacer una revisión de los factores que afectan la calidad funcional de la harina.

Transmitir la información técnica (teórica y practica) de los diferentes mejoradores y su funcionalidad en los procesos de panificación.

Revisar la legislación Mexicana sobre el uso de aditivos para la industria de la panificación y su aplicación con los mejoradores de harina, comentando las tendencias mundiales y su adecuación y preparación para la industria en México.

CAPÍTULO *DOS*

******INTRODUCCIÓN******

2 INTRODUCCIÓN

La industria de la panificación mundial actualmente hace uso de innumerables aditivos, para mejorar la funcionalidad del proceso ya sea esto debido a una mala funcionalidad de los ingredientes, por un control del proceso o por un incremento en el estándar de calidad de los productos, la pauta que marca las diferencias son las legislaciones de cada país.

Desde su origen la industria de la panificación ha hecho uso de aditivos para el mejoramiento de sus productos, principalmente de origen natural, otros de origen químico, estos últimos legislados, mediante exhaustivos estudios para limitar su dosificación. En la actualidad debido al alto costo de aditivos de los mejoradores se ha recurrido a diferentes alternativas, de menor precio y de un mayor beneficio.

El uso de los aditivos depende en gran medida de su costo y del beneficio obtenido en el proceso y o calidad del producto terminado, haciendo esto que el técnico responsable de sus implementaciones revise cuidadosamente las diferentes legislaciones, sus precios, el impacto que tiene en el costo final del producto terminado y los beneficios obtenidos, tanto en control de proceso como en la calidad del producto final.

La industria panificadora mundial está buscando usar los aditivos en la menor proporción posible, para mantener etiquetas limpias, lo que significa el menor uso de compuestos químicos y así poder dar a sus clientes la certeza de que los productos son de origen natural, pero a pesar de este gran esfuerzo, por cuestiones de variación en la calidad de los ingredientes principales, tales como el harina, las grasas, la leche, el huevo, y la creciente tecnificación de la propia industria, lo que implica altos ritmos de producción y altos estándares de calidad, hacen que el técnico panadero tenga la necesidad de recurrir al uso de los diferentes aditivos.

El gran desarrollo de las investigaciones de los aditivos en el mundo ha traído grandes beneficios a la industria panificadora, ya que estos subsanan algunas de las deficiencias de los ingredientes. Enfocándonos en este trabajo principalmente a los relacionados con la **calidad y funcionalidad de la harina** ya que este ingrediente es el principal en esta industria y como su precio depende directamente del precio del trigo y este a su vez de otros factores tales como el nivel de proteína, las impurezas que este tenga y su peso hectolitrico, hace de este ingrediente un "Comodin" que afecta directamente la calidad y el costo del producto final. La calidad de la harina depende fundamentalmente de la calidad intrínseca del trigo, o sea de la variedad, de su cantidad y calidad de las proteínas y en menor medida del proceso de molienda.

El presente trabajo presentará los aditivos que son usados para subsanar las deficiencias en la calidad de la harina, así como los análisis que se emplean para la determinación de su calidad y sus cambios por el uso de aditivos, los ajustes necesarios durante el proceso por el uso de aditivos, las características de la masa durante su proceso y las del producto terminado que fueron afectados por los aditivos.

CAPÍTULO *TRES*

******FUNDAMENTACIÓN*

3.1 CEREALES Y TRIGOS PARA PANIFICACION

3.1.1 Cereales

Los cereales son las semillas secas de los miembros de la familia de las gramíneas que se cultivan para obtener sus granos y son las plantas que mayor importancia tienen en la alimentación humana. Los cereales requieren diversas cantidades de humedad y tipos de suelo. La mano de obra necesaria para el cultivo es baja y el rendimiento de alimento es alto en relación con el trabajo invertido. Los cereales constituyen una de las fuentes principales de carbohidratos, aunque también contienen proteínas, grasas, algunas vitaminas y minerales. En su estado nativo seco, los cereales están vivos, desprendiendo bioxido de carbono, agua y calor. El grano con un contenido de humedad del 12 al 14% puede almacenarse por periodos prolongados (5).

3.1.2 Trigos para Panificación

3.1.2.1 Clasificación

Los trigos que crecen provienen de tres distintas especies botánicas. La más importante de estas es *Triticum aestivum*, o trigo común, el cual comprende cerca del 92% de la producción total del trigo. Las otras dos especies menos importantes son *triticum durum*, el cual comprende el trigo durum ambar y rojo, y el *Triticum compactum*, los cuales incluyen los trigos club rojos y blancos (3).

Los trigos comunes se reagrupan en cuatro categorías mayores: duro rojo de primavera, duro rojo de invierno, suave rojo de invierno y blanco de primavera y de invierno.

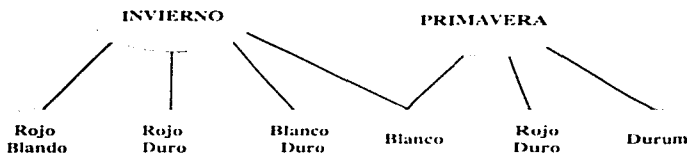
Los trigos se clasifican en base a diferentes características como son:

- la dureza del grano en **duros y suaves**
- el color en **rojos y blancos**
- y la temporada de cosecha en **primavera y verano**

por lo que tenemos una clasificación total, presentada en la figura no. 1, de la siguiente manera:

Figura no. 1 Clasificación Genérica del Trigo

CLASIFICACION DE TRIGO



Pomeroy, Y. *Wheat: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. Third Edition, 1955.

En México se clasifican por su calidad panificable en Fuertes, para la industria mecanizada, en Medio fuertes para la pequeña panadería, en Suaves para Pasteles y Galletas y en Duros, para Pastas y Macarrones.

Las diferentes clases de trigo son utilizadas en la industria de la panificación para diferentes propósitos como se puede apreciar enseguida:

Clases de Trigo	Productos
Rojo Duro de Primavera HRS	Panes y otros productos leudados con levadura
Rojo Duro de Invierno HRW	
Blanco Duro HW	
Rojo Blando de Invierno SRW	Bizcochos, Pasteles, Galletas Dulces y Saladas.
Blanco Blando SW	
Durum	Pastas.

3.1.2.2 Composición

El grano de trigo consiste de tres partes anatómicas, llamadas, germen o embrión, endospermo y el salvado que encierra el grano. Estas estructuras y su localización pueden ser observadas en la figura número 2, así como su composición porcentual en la tabla no 1 y por grupos de compuestos en la tabla no. 2. Desde un punto de vista biológico el salvado es la cubierta protectora del grano (13-17%), el germen se desarrolla en una nueva planta durante la germinación (2-3%), y el endospermo constituye una gran reserva de alimento para el crecimiento de la nueva planta (80-85%). Las capas de salvado son ricas en proteínas celulosa, hemicelulosa y cenizas, el germen es alto en proteínas, lípidos, azúcares y cenizas, el endospermo contiene altas cantidades de almidón y algunas proteínas.

Figura no. 2 Componentes Principales del Trigo

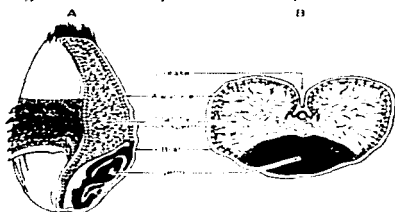


Tabla no.1 Composición de un Grano de Trigo.

COMPONENTE	Porcentaje
ENDOSPERMO	80-85
SALVADO	13-17
GERMEN	2-3

Pomeranz, Y Wheat: Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists, Inc. Third Edition, 1968

Tabla no.2 Composición del Trigo por Grupo de Compuestos.

COMPONENTE	Porcentaje
CARBOHIDRATOS	70-72
PROTEINAS	9-15
GRASA	2,0-2,2
FIBRA	2,0-2,5
CENIZAS	1,7-1,8
HUMEDAD	VARIABLE
TOTAL	100

Pomeranz, Y Wheat: Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists, Inc. Third Edition, 1968

El salvado consiste de varias capas celulares las cuales son de la parte externa a la interna la epidermis, la hipodermis, células tubulares, y las células cruzadas. Ellas comprenden aproximadamente el 4 a 6 % del peso del trigo. Las capas internas son la testa, tejido nucelular, y las células de aleurona. En la capa testa se presenta la mayoría de los pigmentos de color rojo (Carotenoides) que imparten su nombre a los trigos de variedades rojas, aunque el color de los granos no solo depende de los pigmentos de la testa sino también del grosor, densidad y transparencia de las capas externas o pericarpio y del carácter del endospermo. La capa de aleurona libre de almidón, cercana al endospermo representa cerca de un 6 a 7% del peso del grano de trigo y consiste de las paredes celulares de mayor contenido de proteína, sin embargo no contienen proteínas formadoras de gluten. Estas capas celulares son ricas en vitaminas del complejo B y en enzimas proteolíticas.

Aunque esta capa forma la capa externa del endospermo, la aleurona es removida en la molienda junto con el salvado. Las capas externas del salvado tienen una textura rígida debido al alto contenido de fibras, lo que facilita su eliminación durante la molienda (1,3,5). Es importante su remoción para evitar problemas de funcionalidad de la harina por la atenuación de proteínas formadoras de gluten, y de proteasas, las cuales afectan la estructura del pan.

Tabla no.3 Composición Aproximada de las Capas de Salvado.

	%	%	%	%	%
	CENIZAS	PROTEÍNA	GRASA	CELULOSA	PENTOSANAS
EPIDERMIS	1.4	4	1	32	35
CAPAS Cruzadas	1.3	11	0.5	23	30
TESTA	18	15	0	0	17
ALEURONA	5	35	7	6	30

Pomeroy, A. Whist. Chemistry and Technology. American Association of Economic Entomologists, The Ballou Edition, 1955

El germen contiene enzimas que durante la germinación absorbe y conduce el material alimenticio del endospermo. Esta actividad enzimática afecta el comportamiento de la harina en el proceso de panificación ya que provocan una falta de control durante la fermentación, por lo que es importante la eliminación del germen durante la molienda. El germen representa aproximadamente el 2.5% del peso del grano de trigo, su composición se presenta en la tabla no 4.

Tabla no.4 Composición Aproximada del Germen.

COMPONENTE	%
HUMEDAD	11.9
PROTEÍNAS	26.6
LÍPIDOS	9.2
CARBOHIDRATOS	46.0
FIBRA CRUDA	2.3
CENIZAS	4.2

C. I. G. Grain & Oilseeds: Handling, Marketing, Processing. C. I. G. Fourth Edition, 1993. Vol. 1 y II.

El 97% de los lípidos del germen son no polares y el restante 3% son lípidos polares que consisten de glicolípidos, fosfolípidos y proteolípidos. Los lípidos del germen prácticamente no afectan la calidad del pan, por lo que se pueden considerar que no son un factor de mejoramiento de la calidad.

El endospermo representa cerca del 92% del peso del grano y si consideramos que las capas de aleurona libre de almidón representa del 6 al 7% de este, el almidón contenido en las células representan aproximadamente el 85% del peso del grano entero de trigo. Existen tres tipos de células almidonosas del endospermo, que se diferencian en su forma, tamaño y localización en el grano. Ellas están diferenciadas en peritéricas, prismáticas y células centrales. Las células peritéricas son las que están unidas a la capa de aleurona. Las células prismáticas son largas y están orientadas en forma perpendicular a la superficie del grano y están localizadas principalmente en la región dorsal del grano. Las células centrales llenan la porción central de las dos partes del grano que se unen. Las células del endospermo contienen los granulos de almidón embebidos en una matriz de proteínas hecha principalmente de proteínas formadoras de gluten.

Las células centrales del endospermo contienen una mayor cantidad de granulos de almidón que las capas externas o capas subaleuronas, las cuales contienen un mayor porcentaje de proteínas (14%) comparadas con las células internas (6%). También se observan diferencias en la composición de las proteínas, siendo las proteínas más externas del endospermo las que almacenan las proteínas formadoras de gluten (1). En la tabla no 5 se puede observar la distribución de las proteínas en un grano de trigo, donde del total de las proteínas solamente las del endospermo forman parte de las proteínas que proveen de estructura al pan.

Dependiendo del tipo de trigo, ya sea duro o suave, la textura del endospermo puede ser en apariencia vítrea y translúcida, o harinoso y opaco. En las células de granos vítreos los granulos de almidón están empaquetados fuertemente en una matriz de proteínas, mientras que las células de granos harinosos están menos compactadas con granulos de almidón. La diferencia en la dureza de los trigos no es debida a ninguna diferencia en la dureza intrínseca de sus componentes, la diferencia en la dureza es debida a la naturaleza de la interfase entre el almidón y la proteína almacenada. Los trigos duros contienen una capa de proteína soluble en agua alrededor de sus granulos de almidón, la cual no existe en los trigos suaves.

Tabla no.5 Distribución Típica de las Proteínas en un Grano de Trigo.

COMPONENTE	
ENDOSPERMO	73
SALVADO	19
GERMEN	8

C I G I Grains & Oilseeds, Handling, Marketing, Processing, C I G I Fourth Edition, 1993, Vol. 1 y II

Las partículas de harinas obtenidas de trigos duros presentan una ruptura durante su molienda, que es predominantemente alrededor de la pared celular, observándose que la línea de ruptura cruza los granulos de almidon y la matriz de proteínas, por lo que el porcentaje de almidon dañado en tales tipos de trigos tiende a ser alta. En trigos suaves, la adhesión entre los granulos de almidon y la matriz de proteína es mas debil, lo que representa una mayor proporción de granulos intactos, por lo que el almidon dañado es considerablemente bajo.

3.1.2.3 Variedades

La variedad del trigo es la característica intrínseca del trigo. Las diferencias entre estas variedades involucran factores como la presencia o ausencia de aristas, presencia de cantidades variables de pigmentos, dureza o suavidad de la estructura del grano, resistencia al frío, tiempo de maduración, resistencia a enfermedades y plagas, y calidades de molienda y panificación. Hay mas de 100 variedades del trigo comun cultivándose en los Estados Unidos. En Canada existen solamente de 16 a 20 variedades de trigo comun, de las cuales solamente 4 representan el 96% del total de trigo cultivado, siendo estas muy similares en sus características molineras y panificables, y cuando por alguna causa se siembra una variedad no autorizada a pesar de ser mejor en sus características esta es destinada para trigo forrajero, hasta que no es estudiada y autorizada por la Comisión Canadiense de Trigo, lo cual se lleva aproximadamente tres años de estudios (1, 3, 14, 16).

3.1.2.4 Grados de Calidad

Cualquier clase de trigo es catalogado en Grados de Calidad y estos se basan en el contenido de materias extrañas, del peso hectolitrico, dockage, impurezas, granos dañados por calor y totales, granos quebrados y chupados, ausencia de olores a mohos, u otros olores objetables, total de defectos, clases contrastantes y trigos de otras clases y contenido de humedad. Los lotes de trigo que no entran en ninguno de los grados de calidad son considerados "grado muestra". Debido a la importancia del contenido de humedad en la estabilidad del trigo para su almacenamiento y rendimiento, todos los grados de calidad marcan un limite maximo de humedad. Los trigos que contengan granos manchados, semillas de ajo o infestaciones con gorgojos en ciertos limites designados representan grados de calidad inferior y no seran considerados para el consumo humano.

Esto puede ser observado detenidamente en la Norma Oficial Mexicana de Trigo, y en las Normas de Estados Unidos y Canada (13, 14, 15, 16, 17, 35). A continuación se presentan las diferentes Normas de Grados de Calidad para el Trigo en Estados Unidos, Mexico y Canada en las tablas no. 6, 7, y 8, donde se puede observar los diferentes conceptos para medir la calidad de los trigos siendo la mas estricta la Estadounidense seguida de la Canadiense y por ultimo la Mexicana.

Tabla no. 6 Grados y Requerimientos de Grado para Todas las Clases de Trigos. E.U.A.

LÍMITES MÁXIMO DE DEFECTOS									
	PESO HECTO LÍTRICO (lb bu)	PESO HECTO LÍTRICO (lb bu)	GRANO DANAADO POR CALOR	TOTAL GRANO DANAADO	MATERIA EXTRAÑA	GRANOS QUEBRADOS Y CHUPADOS	TOTAL DE DEFECTOS	OTRAS CLASES CONTRASTANTES	OTRAS CLASES TOTAL
			%	%	%	%	%	%	%
GRADO	HRS	OTROS							
1	58	60	0.1	2	0.5	3	3	0.5	3
2	57	58	0.2	4	1.0	5	5	1.0	5
3	55	56	0.5	7	2.0	8	8	2.0	10
4	53	54	1.0	10	3.0	12	12	3.0	10
5	50	51	1.0	25	5.0	20	20	10.0	10

U.S. Wheat Associates 1995 Crop Quality Report. Sponsored by U.S. Wheat Associates, in cooperation with the Foreign Agricultural Service, USDA, November, 1995.

Tabla no.7 Grados y Requerimientos de Grado para Todas las Clases de Trigos. México. ANTEPROYECTO DE LA NORMA MEXICANA DE CALIDAD DE TRIGO. ESPECIFICACIONES PARA LOS DIFERENTES GRADOS DE CALIDAD DE TRIGO

	PESO HECTO LÍTRICO (kg bu)	HUMEDAD	TOTAL GRANO DANAADO	MATERIA EXTRAÑA	GRANOS QUEBRADOS Y CHUPADOS	TOTAL DE DEFECTOS	OTRAS CLASES TOTAL
		%	%	%	%	%	%
GRADO	HRS						
MEX 1	76	13.0	2	1.0	3	3	1
MEX 2	74	13.0	4	2.0	3	5	2
MEX 3	68	14.0	7	3.0	6	9	3
CRISTALINO	76	13.0	2	1.0	3	3	1

Secretaría de Salud Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana - Harinas de Cereales. Disposiciones Sanitarias, Especificaciones Sanitarias y Nutritivas. NOM-005-NA-1995

NOTAS:

EL CONTEO SERÁ EN POR GR DE MUESTRA REPRESENTATIVA.

SE ACEPTARÁ HASTA UN TOTAL DE 3 CAPSULAS DE LOS CARBONES DE LOS ESPECÍMENES *TRITICUM CARDEA* Y *TRITICUM CONTROVERSA* EN POR GR DE MUESTRA.

POR DAÑOS EN LAS SEMILLAS, SE ACEPTARÁ DE CARBÓN PARCIAL HASTA EL 0.5 EN PESO.

Tabla no. 8 Grados y Requerimientos de Grado para Todas las Clases de Trigos. Canadá. LÍMITES MÁXIMO DE DEFECTOS

	PESO HECTO LÍTRICO (kg bu)	VARIEDAD	% MÍNIMO POR PESO DE TRIGO DE RO	MATERIA EXTRAÑA QUE NO SEA TRIGO	TOTAL MATERIA EXTRAÑA CON OTROS GRANOS	OTRAS CLASES CONTRASTANTES	OTRAS CLASES TOTAL
			%	%	%	%	%
CWRS	HRS						
1	75	marquis =	65	0.2	0.75	1.0	3
2	72	marquis =	35	0.3	1.5	3.0	6
3	69	cualliquera =	--	0.5	3.5	5.0	10

Office of the Chief Grain Inspector Official Grain Grading Guide Wheat, Canadian Grain Commission, Inspection Division

3.1.2.5 Areas de Cultivo y épocas de Cosecha por Regiones

Se cultiva trigo desde una latitud cercana al Círculo Ártico en el Hemisferio Norte, tanto en Canadá como en los países escandinavos y por debajo del paralelo 40° en Sudamérica y Nueva Zelanda. El trigo se cosecha cada mes del año, en algunos lugares del mundo. En los Estados Unidos de Norteamérica, la cosecha empieza a principios de mayo en el sureste de Texas, llega a su máximo en las áreas del sureste a principios de junio, donde se siembra el trigo rojo de invierno y finaliza en octubre, en las partes del norte correspondientes al área del trigo rojo de primavera.

La tabla no.9 presenta las fechas de cultivo del trigo durante el año, y los países donde se lleva a cabo.

Tabla no. 9 Cosecha Mundial de Trigo por Mes y País.

MES	PAÍS	MES	PAÍS
ENERO	AUSTRALIA	JULIO (CONT.)	URSS (SUR)
	NUOVA ZELANDA		NUOVA
FEBRERO	EGIPTO (SUPERIOR)		E.U.A.
MARZO	INDIA	AGOSTO	BELGICA
ABRIL	MEDIO ORIENTE		CANADA
	EGIPTO (INFERIOR)		DINAMARCA
	MEXICO		INGLATERRA
MAYO	CHINA		URSS (CENTRAL)
	JAPON		POLONIA
	E.U.A. (TEXAS)		E.U.A. (NORTE)
JUNIO	FRANCIA		NORUEGA
	GRECIA	SEPTIEMBRE	URSS (NORTE)
	ITALIA	OCTUBRE	SUECIA
	ESPAÑA		AFRICA (SUR)
	TURQUIA	NOVIEMBRE	PERU
	E.U.A.		AUSTRALIA
JULIO	AUSTRIA	DICIEMBRE	ARGENTINA
	HUNGRIA		AFRICA
	BULGARIA		CHILE
	INGLATERRA		NUOVA ZELANDA

Canadian International Grains Institute. Grains & Oilseeds: Handling, Marketing, Processing. C.I.G.I. Fourth Edition, 1983. Vol. VIII

Se presenta a continuación un mapa mundial esquematizando los principales lugares de producción de trigo en el mundo y en la siguiente figura un mapa de Norteamérica, con las principales regiones y tipos de trigo. Figura no.3 y no.4.

Figura no.3 Mapa Mundial de Zonas de Producción de Trigo.



Figura no.4 Mapa de Norteamérica y sus Principales Zonas Productoras de Trigo.



3.1.2.6 Parámetros de Calidad del Trigo para su Comercialización

Los parámetros de calidad de los trigos para su comercialización son el tipo de trigo, el porcentaje de impurezas, de granos dañados, la actividad enzimática y el porcentaje de proteínas. Si algún comercializador establece alguna otra característica de calidad como parámetro de identidad del trigo esto causa el pago de un sobreprecio. Como puede observarse no se puede realizar la compra de un trigo por valores de calidad de harina como son estabilidad, Fuerza, Tenacidad, Elasticidad, % almidón dañado, etc., ya que esto implicaría el pago de sobreprecios que llevan a la harina a costos no competitivos.

El trigo de Canadá de los grados no 1 y 2 tienen muy poca variación entre los lotes y además esta segregado por % de proteínas, que añadido a un control en la autorización de nuevas variedades y a que aproximadamente el 96% de la cosecha es de cuatro variedades similares en sus características de calidad funcional nos da la ventaja del control de los parámetros de calidad de las harinas (1, 14, 15, 16).

3.1.2.7 Selección de trigo para Molienda

El tipo de harina a producirse determinará el tipo de trigo que el molinero deberá de usar. La funcionalidad del uso final es la mayor perspectiva de calidad en el trigo. Los tres factores que más influyen en la variación de la funcionalidad entre los diferentes trigos son la **textura del grano (grado de dureza)**, **fuerza del gluten** y el **contenido de proteína**.

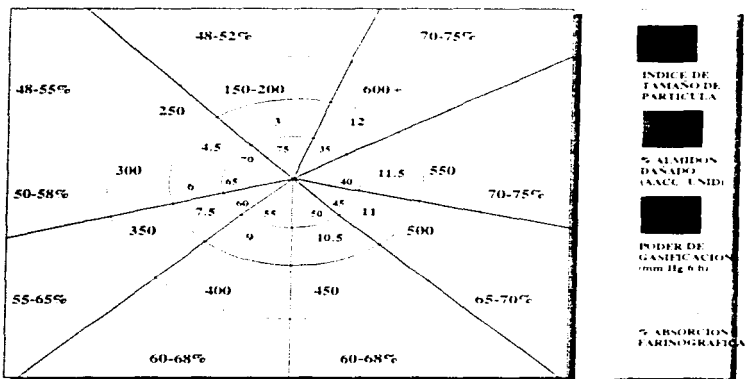
La "textura" es definida como la estructura general y la disposición de las partes componentes del grano. O sea es la resistencia del grano a ser reducido a pequeñas partículas. La fuerza generada en el interior del grano durante la molienda causa daños físicos a los componentes del grano en relación inversa a su elasticidad. Así las proteínas, grasas, agua, y celulosa, los cuales tienen altos grados de elasticidad al stress físicos, son dañados relativamente poco durante la molienda. Por otro lado, los granulos de almidón, los cuales tienen una pobre elasticidad (especialmente los granulos grandes), están sujetos a diferentes grados de fractura, rompimiento y abrasión durante la molienda, dependiendo de la resistencia del trigo a la reducción (1).

Los granulos de almidón dañados mecánicamente son más susceptibles a la degradación por enzimas Amilolíticas, y tienen un grado mayor de absorción de agua que los granos no dañados. Los trigos duros tienen una mayor resistencia a la reducción que los trigos suaves y la fuerza necesaria para abrir los trigos son mayores. Consecuentemente las harinas obtenidas de trigos duros contienen un mayor porcentaje de granulos de almidón dañado que de las obtenidas de trigos suaves. Así las harinas de trigos duros son mayores en su poder de gasificación y de absorción de agua, dos de los más importantes requisitos de una buena harina panadera.

El índice de tamaño de partículas ITP o PSI (por sus siglas en inglés Particle Size Index) es una expresión de la dureza de los granos y es definido como el porcentaje de finos obtenidos después de la molienda del trigo en un molino ciclónico con una malla de 1.0 mm, y cernido por 10 minutos a través de una malla 200 (149 micrómetros). De un trigo suave se obtiene mayor cantidad de finos que de un trigo duro, así a mayor valor de ITP más suave es el trigo.

La figura no. 5 es un gráfico donde se relacionan el índice del tamaño de partícula o dureza del trigo, con factores funcionales de la harina, de aquí se observan que una harina proveniente de un trigo medianamente duro (ITP o PSI de 50 a 60) son las que cubren las características funcionales para un producto de fermentación tipo pan de caja, ya que tiene un porcentaje de almidón dañado entre 7 y 9%, con un poder de gasificación de 350 a 400 mm Hg 6h y una absorción alrededor de los 60%.

Figura no.5 Relación de Dureza del Trigo y Funcionalidad de la Harina

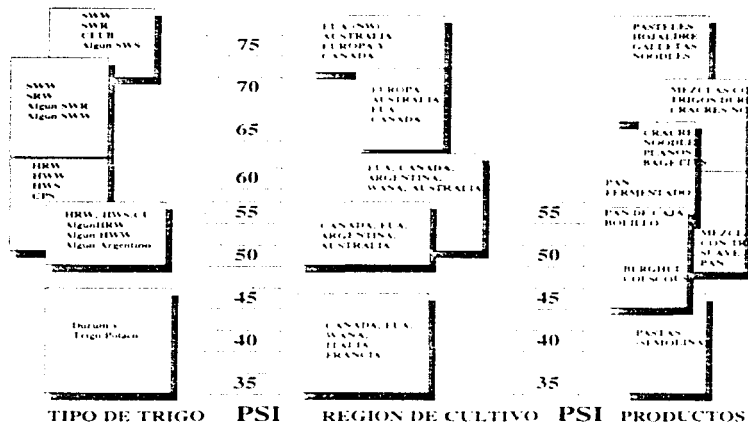


Canadian International Grains Institute Grains&Oilseeds, Handling, Marketing, Processing, C I G I Fourth Edition, 1993, Vol. 13II

A continuación se presenta la figura no.6 que relaciona el ITP o PSI, el tipo de trigo, su origen y los usos finales. De aquí podemos observar que los trigos de Canadá, Estados Unidos, Argentina y algunos Australianos, son los más adecuados para la producción de Pan de caja

Figura no.6 Relación de Dureza del Trigo y Funcionalidad de Productos Terminados

DUREZA Y FUNCIONALIDAD EN PRODUCTOS TERMINADOS DETRIGOS DE TODO EL MUNDO



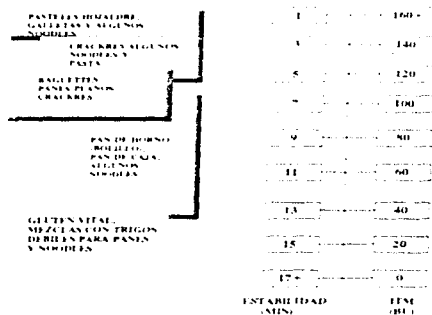
Canadian International Grains Institute, Grains Outlooks - Handling, Marketing, Processing - 1993 Edition, 1993, Vol. 1, 141

La fuerza del gluten y la fuerza de la masa se complementa una a otra pero no son sinónimos. La fuerza del gluten y de la masa serán definidos en términos de dos parámetros del farinógrafo ampliamente aceptados: la estabilidad y el índice de tolerancia al mezclado ITM.

La figura no. 7 resume los requisitos de fuerza de la masa para la producción de los productos de panificación más comunes. Para el caso de pan de caja se requiere harinas con Estabilidades de más de 11 minutos y con un Índice de tolerancia al mezclado de un máximo de 40 unidades Brabender (BU).

Figura no.7 Funcionalidad de la Harina en Base a Parámetros Farinográficos de Estabilidad e Índice de Tolerancia al Mezclado

FUNCIONALIDAD EN TÉRMINOS DE PARÁMETROS DE FUERZA DE MASA



Canadian International Grains Institute. *Grains&Oilseeds: Handling, Marketing, Processing*. C.I.G.I. Fourth Edition, 1993. Vol. 1 y II

La estabilidad de una harina marca el uso final de esta, al igual que sus demás características reológicas, como el Índice de Tolerancia al Mezclado, el % de Absorción, el tiempo de desarrollo máximo, la fuerza y la relación Tenacidad-Elasticidad, así como algunos otros parámetros que no se revisaran en el presente trabajo, pero que se listan como referencia, como son: ángulo de entrada, y de salida, extensibilidad, grado de maduración, etc.

El almidón dañado es uno de los principales factores que afectan la funcionalidad de la harina y este depende de la dureza del grano de trigo, así tenemos que un trigo duro, presentará mayor cantidad de almidón dañado, que uno de suave, afectando notablemente la absorción, la facilidad de fermentación y por ende la funcionalidad de la harina.

La figura no. 8 presenta una clasificación de los trigos, por origen, tipo y características reológicas de las masas, donde podemos ver que los trigos Canadian Wester Red Spring (CWRS), Hard Red Winter (HRW) Prime Hard Australiano, son los más adecuados para el proceso del pan de caja.

Figura no.8 Clasificación de Trigos por Origen, Tipo y Características Reológicas de las Masas.

CLASIFICACION DE TRIGOS DE ACUERDO A
PARAMETROS DE FUERZA DE MASA

EUROPA CANADA AUSTRALIA EUROPA	SSW SRSW SWS WUELEB SEAVE AUSTRALIANO	1	160 +		
		3	140		
CANADA AUSTRALIA EUA ARGENTINA	ARGENTINA CPS SSW HRW CWRN 11 55P	5	120		
EUROPA	ALGUN EUROPEO	7	100		
		9	80		
		11	60		
CANADA	CWRN 14 55P CANADA CUBITY	13	40		
EUA	DSS ALGUN HRW	15	20		
AUSTRALIA	PRIME HARD AUSTRALIANO	17 +	0		
				SSW ARGENTINA EUROPEO	AUSTRALIA ARGENTINA EUROPEO ALEMANIA REINO UNIDO
				CWRN 12 5 CWRN 13 5 CWRN 14 5	CANADA
				HRW EUA HRW EUA	EUA
				PRIME HARD AUSTRALIA	AUSTRALIA
				ALGUNO DE CANADA CUBITY	
		ESTABILIDAD (MIN)	FTM (BU)		

Canadian International Grains Institute. Grains & Oilseeds. Handling, Marketing, Processing. C 101. Eighth Edition, 1991. Vol. 1-11

El contenido de proteína puede variar desde valores tan bajos como el 6% hasta 20%, dependiendo del tipo de trigo, área de cultivo y estación del año. Los trigos comúnmente comerciales están entre 9 y 15 % de proteínas. La relación entre el contenido de gluten húmedo y % de proteínas es de 3:1.

Los países que cultivan trigo localmente, con un bajo contenido de proteína, a menudo importan trigo de un contenido de proteínas mayor para realizar las mezclas adecuadas y obtener la harina de la calidad necesaria.

La figura no. 9 muestra los niveles de proteína de las harinas apropiados para los diferentes usos y además una clasificación de trigos por porcentaje de proteína y regiones de cultivo.

3.1.2.8 Calidades de Trigo

Tanto el gobierno de Canadá como el de los Estados Unidos de América emiten anualmente boletines de cargo con información de la calidad de los trigos que fueron cosechados en ese año en particular los cuales son generados en el caso de Canadá a través de un muestreo exhaustivo el que se realiza tomando una muestra de los elevadores primarios de cada tonelada la que es homogeneizada y mandada a analizar a los laboratorios centrales del Instituto Internacional de Granos Canadienses CIGI y a la Comisión Canadiense de Granos, en donde se le realiza una inspección visual para corroborar el grado de calidad y después es enviada a un molino experimental donde es obtenida la harina bajo factores controlados determinando su comportamiento molinero, para posteriormente ser analizada en sus características físico-químicas, reológicas y funcionales de la harina. Estos son los datos que se reportan en los boletines de cargo para los diferentes trigos en sus diferentes grados de calidad y puertos de embarque.

Tabla no. 10 Boletín de Cargo de Calidad de Trigo Canadiense de Octubre de 1992

PROPIEDAD	1 CWRS 13.5%	2 CWRS 12.5%
Trigo Peso de 1000 granos, g	37.8	37.0
% Proteína (base 13.5% humedad)	13.9	12.7
% Cenizas	1.57	1.55
Falling number, sec	415	370
Índice de Tamaño de Partícula, μ	50.9	50.8
% Rendimiento de harina (base 0.50% de cenizas)	76.5	76.6
Harina % Proteína	13.2	12.1
% Gluten húmedo	39.5	34.7
% Cenizas	0.48	0.48
Viscosidad amilográfica, BU	658	765
Almidón dañado, unidades AACU	9.1	9.6
Farinograma % de Absorción	65.1	64.1
Tiempo de desarrollo, min	5.25	4.50
Índice de Tolerancia al mezclado ITM, BU	15	25
Estabilidad, min	13.00	11.00
Extensograma Longitud, cm	20	20
Altura máxima, BU	555	320
Área, cm ²	150	140
Alveograma Extensibilidad, mm	120	114
Tenacidad, mm	100	102
Fuerza o trabajo $\times 1000$ ergs	396	386
Pan (método de remezclado) % Absorción	64	63
Tiempo de remezclado, min	2.6	2.7
Volumen de pan, cc	895	820

Supplies, K II Quality of Western Canadian Wheat Exports October 1992, Grain Research Laboratory Canadian Grain Commission, Cargo Bulletin No. 299, October 1992

En la tabla no.10 del boletín de cargo de Octubre de 1992 del trigo de un grado de calidad 2 CWRS de 12.5 % de proteínas contra otro 1 CWRS de 13.5%, se pueden predecir el comportamiento de dos harinas diferentes, la obtenida del trigo de 13.5% de proteínas se esperaría un mejor comportamiento por su mayor estabilidad, menor porcentaje de almidón dañado, se tendría que ajustar la absorción aproximadamente en un uno por ciento, se tendría que aumentar ligeramente el trabajo mecánico, sin tener la preocupación de un sobremezclado, y obtendríamos un pan con un volumen mayor de mejores características internas.

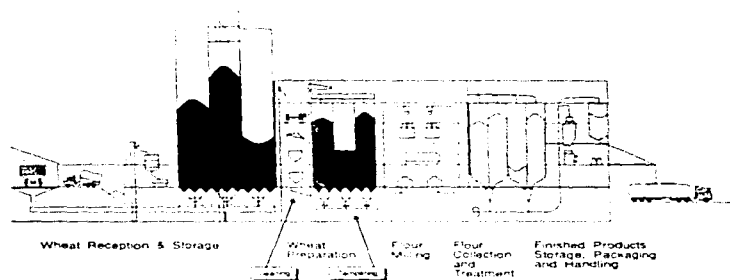
3.2 MOLINOS Y MOLIENDA

3.2.1 Principios básicos de Molienda de Trigo

La operación de molienda del trigo puede ser dividida en cinco etapas principales, las que son aplicables a cualquier tipo de molino en el mundo. Estas etapas son:

- a.- Recepción de trigo y almacenamiento,
- b.- Preparación del trigo para la molienda,
- c.- Molienda de harina,
- d.- Colección de harina y tratamiento y
- e.- Almacenamiento de producto terminado, empaque y manejo.

Figura no.10 Diagrama Esquemático del Proceso de Molienda y sus Etapas Principales.



Canadian International Grains Institute. Grains & Oilseeds: Handling, Marketing, Processing. C I G I I, 5th Edition, 1983. Vol. I & II

3.2.1.1 Recepción de trigo y almacenamiento.

Un molino moderno requiere de una gran capacidad de recepción y almacenamiento de trigo. Estas instalaciones deberán de contar con una zona de descarga apropiada para recibir el trigo por tren, camiones, embarcaciones o cualquier combinación de estas dependiendo del medio de transporte empleado para el molino. Estas instalaciones deberán de contar con: un sistema de pesado, prelimpia de alta capacidad para eliminar las partículas muy grandes y muy pequeñas, un imán para evitar el paso de metales al equipo posterior el cual puede ser afectado, un sistema de aspiración para la eliminación del polvo para que el almacenaje del trigo sea sin este y así disminuir el riesgo por una explosión, un sistema de elevadores para transportar el trigo a la parte superior de los silos, un sistema de distribución hacia los silos de almacenamiento y los silos de almacenamiento de trigo.

La capacidad de almacenaje esta influenciada por factores tales como la capacidad de mollienda, ubicacion, transportacion y disponibilidad de trigo local e importado. En la practica, la capacidad optima es la cantidad minima de grano, incluyendo una cantidad adicional para contingencias, la cual es esencial para mantener una programacion adecuada de la mollienda.

Ademas de considerar los diferentes tipos de trigos necesarios para la mezcla requerida para la elaboracion de la harina especificada, y considerando la facilidad de realizar voltes del trigo, para su ventilacion y entriamiento, lo que previene el deterioro del trigo (con un % mayor de 14% de humedad y 20 °C) y nos ayuda a secar el grano que fue cosechado en condiciones humedas (1,2,3,27).

3.2.1.2 Preparación del trigo para la mollienda.

La preparacion del trigo involucra la mezcla, limpieza y acondicionamiento del trigo.

El trigo puede ser molido individualmente o en combinacion de otros trigos. Las razones para realizar mezclas de trigos son: proveer de los atributos de calidad deseados en la mezcla de trigos que no son obtenidos de los trigos individualmente y reducir los costos de mollienda. El costo del trigo representa el mas alto componente de los costos en la elaboracion de la harina, consecuentemente el objetivo de la mezcla de los trigos es obtener los requerimientos de calidad a un costo minimo.

La mezcla de los trigos se realiza empleando silos de trabajo, y puede ser realizada antes o despues de la limpieza y acondicionamiento, esto ultimo es mas recomendable cuando se utilizan trigos de diferentes durezas que requieren diferentes condiciones de acondicionamiento en tiempo y humedad. Si la mezcla se realizara antes del acondicionamiento para trigos de diferentes durezas se obtendran niveles no adecuados de humedad y tiempo lo que se ve reflejado en resultados pobres de la mollienda y por lo tanto de la calidad de la harina.

La mezcla de los trigos se realiza empleando medidores de flujo, volumetricos (para trigos similares en forma y peso hectolitrico) o gravimetricos (para trigos de diferentes pesos hectolitricos y forma), debajo de los silos de almacenamiento o de acondicionamiento, utilizando un transportador comun, en el cual se comienza a uniformizar la mezcla mientras es transportado.

La limpieza del trigo es la eliminacion de impurezas tales como: chicharo, maiz, piedras, metales, centeno, cebada, mostaza, granos sin vaina, lino, paja, cascara y polvo originados en el campo, almacenamiento, manejo y transportacion del trigo. Estas materias extrañas deben ser eliminadas para evitar danos al equipo de mollienda, efectos adversos en la calidad de la harina y en la salud publica. La limpieza del trigo esta basado en las caracteristicas fisicas de las impurezas como a continuacion se muestra en la tabla no. 11.

Tabla no. 11 Equipos de Limpieza de Trigo en Base a sus Características Físicas

Característica Física	Ejemplo de Materia Extraña	Ejemplo de Equipo de Limpieza
Tamaño	Más largos que el trigo, piedras grandes, madera, maíz, chicharo. Más pequeños que el trigo, arena, polvo, limo, mostaza.	Separador de granos
Densidad	Similar en tamaño y forma pero más pesado que el trigo, piedras pesadas, vidrio, metales, barro.	Despedadora, combinadora, selector de gravedad
Forma	De sección cruzada similar, pero más cortos que el trigo, trigo quebrado, trigo sarraceno, más largos que el trigo cebada, centeno, avena.	Separador de discos
Resistencia al aire	Material más ligero que el trigo, trigo ligero dañado.	Canales de aspiración, colectores del separador de granos, o aspirador
Magnetismo	Objetos de metales ferrosos, metales que contienen hierro.	Magnetos

Canadian International Grains Institute, Grains & Oilseeds: Handling, Marketing, Processing, 4. Food Foundation, 1993, Vol. 1, 111

Adicionalmente existen equipos de limpieza por fricción para la eliminación de parte de la cascarrilla que puede venir contaminada por micro-organismos o pesticidas, esto es empleado especialmente para trigos arrugados favoreciendo la eliminación de parte del salvado y mejorando el color final de la harina. En algunos molinos se emplean impactores para romper los granos vanos o infestados para ser eliminados.

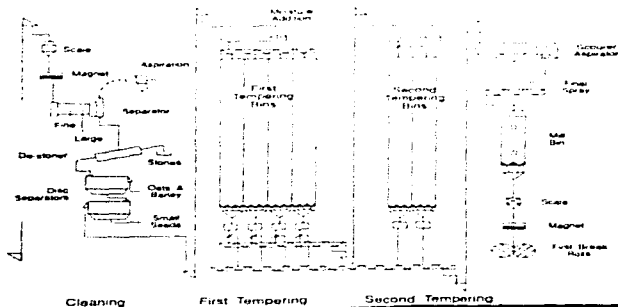
El acondicionamiento del trigo es una de las funciones o etapas más críticas en la elaboración de harina. El objetivo conjunto del proceso de molienda, el cual involucra la separación del salvado y el germen del endospermo y la subsecuente reducción del endospermo en partículas finas de harina, puede ser obtenido efectivamente solo si el trigo es llevado a sus condiciones óptimas de acondicionamiento para la molienda. Los objetivos del acondicionamiento son reducir la dureza del endospermo para así ser fácilmente convertido en harina y para endurecer el salvado para resistir la pulverización (1,27).

Este proceso involucra la adición de agua al trigo, dejando reposar el trigo húmedo en los silos de acondicionamiento. Este tiempo es conocido como tiempo de acondicionamiento, durante el cual la humedad penetra al grano para suavizar o hinchar el endospermo. Los trigos tienen diferentes grados de dureza y por lo tanto requieren de un grado óptimo de acondicionamiento para la molienda. Así los trigos duros requieren mayores humedades (15.5-16.5%) y tiempos de acondicionamiento más largos (8-24 hrs), debido a que la penetración de la humedad es más lenta por la estructura celular cristalina más dura del endospermo, mientras que los trigos suaves requieren menor humedad (14.5-15.0%) y menor tiempo de acondicionamiento (4-6 hrs), ya que la penetración de la humedad a través de la estructura celular del endospermo más débil, es más rápida.

La adición de la humedad al trigo es realizada por aspersión o atomización del agua en el trigo limpio mientras este es transportado en un transportador de gusano. Este proceso puede requerir más de una etapa de adición de agua para conseguir niveles altos de humedad. En un sistema convencional la adición de más de 3% de humedad en una sola etapa puede ocasionar serios problemas en la molinera o taponamientos en las salidas de los silos de acondicionamiento. Los sistemas modernos de mezclado intensivo nos permiten agregar de 4 a 5% de humedad asegurando la uniformidad y favoreciendo la absorción. El tiempo de acondicionamiento es la suma del tiempo de penetración del agua dentro de todo el grano y el tiempo de equilibrio de la humedad. Los factores que influyen en las condiciones de acondicionamiento son: la temperatura, humedad, contenido de humedad de la harina y su calidad (1,27).

En la molinera de trigos duros es comúnmente asperjado un 0.2 a 0.5 % de agua y mantenido en un silo de reposo por 20-30 minutos, favoreciendo el endurecimiento del salvado, mejorando la separación del endospermo porque se tiene un desbalance de humedad entre los dos componentes, evitando así el desgarramiento del salvado. La figura no.11 presenta el diagrama de flujo de la preparación del trigo.

Figura no.11 Diagrama de Flujo de la Preparación del Trigo.



Canadian International Grain Institute: Grains & Oilseeds, Handling, Marketing, Processing, C I G I, Fourth Edition, 1993, Vol. 1, P. 11.

3.2.1.3Molienda.

Teóricamente se podría obtener hasta un 83% de harina que es el contenido promedio del endospermo, pero esto prácticamente no es posible ya que parte del endospermo está fuertemente ligado con el salvado, permitiendo que un bajo % de harina se vaya a los subproductos y así tengamos una harina más blanca y menos contaminada por el salvado. Esto puede ser mejorado si el trigo es previamente perlado. Y el proceso que simula más es el sistema de reducción gradual (1.27).

Este sistema consiste de dos etapas. **Trituración**, el que involucra la fragmentación del trigo y la separación gradual del salvado para obtener el endospermo, esto se realiza en 4 o 5 etapas. Son usados pares de rodillos corrugados para los pasos de trituración. La separación física del endospermo obtenido del resto de lo producido en estas etapas es completada por un cernido (clasificación) después de cada etapa de trituración. La segunda etapa es conocido como sistema de **Reducción**. Esta parte involucra la molienda de partículas de endospermo para obtener harinas durante varias etapas. Se emplean pares de rodillos lisos para estas etapas. Y al igual que en las etapas de trituración, las harinas son obtenidas de los procesos de cernido. El diagrama de flujo de un molino es la secuencia y características del proceso particular de ese molino, y además las características y condiciones del equipo junto con su diagrama van a definir la calidad final de una harina, así que dos molinos similares no van a obtener harinas similares.

Los componentes de un proceso de molienda gradual son:

- Sistema de trituración
- Clasificación por grados (cernido)
- Purificación
- Dividir por tamaños
- Sistema de reducción y
- Cernido "dressing" de harina

La trituración tiene como propósito el rompimiento del trigo y extracción de algo de endospermo, el material molido es enviado al sistema de cernido o clasificación por grados, el cual segrega el material molido en un número de fracciones de acuerdo al tamaño de partícula. El salvado obtenido del último par de rodillos es enviado a una cepilladora para poder extraer el endospermo restante adherido al salvado, esta harina es de muy baja calidad.

Los cernedores son empleados para la separación física de las partículas de endospermo del material obtenido de la molienda. Este sistema parte del principio de la separación de las partículas de menor a mayor tamaño (mallas abiertas a más finas). Pudiéndose distinguir tres tipos diferentes de productos: endospermo puro, endospermo con salvado y germen, y material del salvado.

La purificación emplea un doble mecanismo de separación, para dividir el material del mismo tamaño pero de diferente densidad. Se utiliza una malla con movimiento a la cual se le hace pasar una corriente de aire de la parte inferior hacia la superior, permitiendo esto que el material del mismo tamaño pero más pesado (endospermo puro) atraviese la malla y sea enviado al sistema de reducción, mientras que el material ligero (salvado) sea arrastrado hacia el final de la malla y puede ser enviado

al último paso de trituración. Las partículas con endospermo, germen y salvado son enviados al reductor de tamaño "Sizing" para su separación.

Las partículas compuestas (endospermo, salvado y germen) son suavemente molidas en unos rodillos finamente corrugados. En donde el salvado y el germen son planchados produciendo hojuelas y facilitando su separación mientras que el endospermo es quebrado en tamaños más pequeños. En este momento pueden ser separados por un cernido, y el salvado es enviado a el último paso de trituración y el endospermo clasificado es enviado al sistema de purificación para separar endospermo puro y enviarlo a los rodillos de reducción y producir harina blanca. El endospermo clasificado como de tamaño de partícula más fina es enviado a los rodillos de reducción mientras que las fracciones más finas son retiradas como harina.

En orden de producir la máxima cantidad de harina blanca, es esencial primero producir lo más que sea posible de endospermo granular puro. El endospermo granular puro es enviado a los rodillos de reducción donde es convertida en harina fina. En algunos casos se emplean los dos primeros pares de rodillos finamente corrugados para la molienda de trigos duros. El producto obtenido de los rodillos de reducción es pasado a través de cernedores para obtener las harinas y las partículas que no pasan las mallas son enviadas al siguiente paso de reducción.

El cernido fino o "dressing" de la harina del sistema de reducción separa partículas que no difieren mucho en tamaño, obteniéndose solamente tres componentes: harina, la cual pasa a través de la malla más fina; material grueso el cual pasa sobre las mallas y es conocido como "sobre o overs" debiéndose de pasar al siguiente par de rodillos de reducción, y material mezclado de endospermo, salvado y germen el que deberá de ser procesado en un paso separado de reducción. El salvado y el germen durante la reducción tiende a producir hojuelas lo que facilita su separación. Debera de usarse las mallas de nylon adecuadas para evitar contaminación al caudal que será pasado al siguiente par de rodillos de reducción ya que si no se hace esto puede contaminar fuertemente la harina con salvado pulverizado perdiendo la calidad extra de una harina y por lo tanto el sobreprecio. Conforme pasan las corrientes por los rodillos de reducción los caudales se disminuyen y el color de las harinas se hace más oscuro siendo estas de menor calidad panificable, consecuentemente las mallas deberán de ser cada vez más finas. Los "overs" de estos últimos pasos deberán de ser enviados a los subproductos.

3.2.1.4 Colección de harina y tratamiento.

Corrientes individuales de harina son producidas en diferentes etapas del proceso de molienda. La combinación apropiada de las corrientes de harina dependerá de la cantidad y calidad de cada corriente. Por lo regular existen más de un transportador de harina a los cuales es recomendable puedan descargar las diferentes salidas de harina, para aumentar la flexibilidad del molino en la elaboración de diferentes calidades de harina. Así si separamos las harinas más blancas o sea con menor contenido de cenizas obtenemos la harina de patente (60%) , y el resto de la harina que es más oscura (o de segunda, 10-15%) es destinada para otros fines, y para el caso de utilizar toda la harina a esta se le llama de grado directo (72-75%) (3.5.27)

En Canadá se utilizan lo que se conoce como cajas divisoras, que no es más que una caja con válvulas divertoras, con una entrada y un número de salidas igual al número de transportadores de harina. Este proceso es conocido como "Division del molino" (1)

Para poder entender con mayor facilidad este concepto se presenta un ejemplo, en el cual un molino produce 18 corrientes de harina con diferentes características, a partir de un trigo de 13.6% de proteína (13.5% Base húmeda), los contenidos de cenizas y proteínas están basados en harina con 14% de humedad (1)

Tabla no. 12 Características de calidad de diferentes corrientes de un molino

CORRIENTE	PROPORCIÓN DEL TOTAL DE HARINA (%)	CENIZAS (%)	CENIZAS ACUMULADA (%)	PROTEÍNA (%)	PROTEÍNA ACUMULADA (%)
C1	12.00	0.37	0.37	11.80	11.80
C2	3.00	0.38	0.47	11.70	11.77
C3	9.00	0.39	0.48	11.60	11.74
Cernedor F	3.50	0.46	0.58	12.10	11.77
I2	2.50	0.48	0.59	12.20	12.17
C4	2.60	0.50	0.60	12.30	12.18
I1	4.50	0.52	0.61	14.50	12.32
C14	4.20	0.53	0.61	12.20	12.31
Cernedor G	4.50	0.58	0.62	14.40	12.43
F3	4.20	0.61	0.63	17.80	12.65
C5	2.50	0.68	0.64	12.80	12.69
Filtro	2.50	0.70	0.65	14.90	12.75
C2.G	1.00	0.79	0.65	12.50	12.75
I4	2.10	0.93	0.66	18.30	12.87
Cepilladora salvado	0.95	1.20	0.67	18.60	12.93
C6	1.05	1.35	0.68	13.20	12.93
Cepilladora corta	1.10	1.50	0.69	16.30	12.97
C7	0.80	1.62	0.70	13.20	12.97

Se están obteniendo cuatro harinas con las siguientes características:

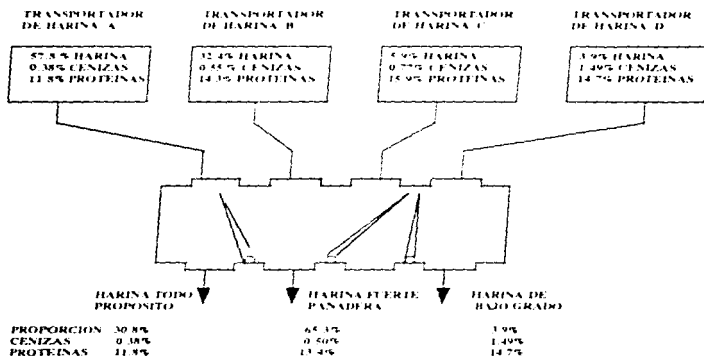
Analysis	Harina A	Harina B	Harina C	Harina D
% Harina	57.8	32.4	5.9	3.9
% Cenizas	0.38	0.55	0.77	1.49
% Proteína	11.3	14.3	15.9	14.7

En la figura no. 12 se presenta un caso esquemáticamente para la elaboración de diferentes calidades de harina, ocupando el 27% de la harina A, más la B y C, para producir una harina fuerte

panadera, una de baja calidad y una para todo uso, de esta forma se pueden elaborar diferentes calidades de harina provenientes de un mismo trigo por el manejo adecuado de las diferentes corrientes producidas en el molino

Figura no. 12 Elaboración de Harinas de Diferentes Calidades por Mezcla de Harinas

EJEMPLOS DE DIVISION DE MOLIENDA



Canadian International Grains Institute. Grains&Oilseeds. Handling, Marketing, Processing. C I G I. Fourth Edition, 1993. Vol. IVB

Por la importancia del tratamiento de las harinas esto se revisará más adelante, en el apartado 4.4 de esta misma sección.

3.2.1.5 Almacenamiento de producto terminado, empaque y manejo.

Generalmente existen cinco subproductos: salvado, salvadillo "cortos o shorts", sémolas, germen y polvos o impurezas. El total de estos representa aproximadamente un 24-26% del total de lo producido en el molino y tiene un costo menor que la harina. Lo que hace que el objetivo de cualquier molino es obtener la mayor cantidad posible de harina de buena calidad para que se vuelva más rentable (1,12)

3.2.2 Control de proceso y factores a controlar

El control del proceso de molienda es el determinante para la obtención de una harina de calidad uniforme, partiendo de que se cuenta con los trigos de la calidad adecuada. Debemos de recordar que el panadero requiere de una harina con la menor variación posible de lote a lote y al cambio de cosecha, para esto último deberá de programarse una existencia de trigo de la cosecha anterior e ir mezclando paulatinamente para que este cambio sea lo menos notorio posible.

El control del proceso del molino está dado principalmente en los factores críticos del proceso que son:

- Mezcla de trigo adecuada,
- Limpieza y acondicionamiento,
- Equipo de molienda y su diagrama de flujo,
- La operación del molino y las condiciones del equipo,
- Habilidad del molinero y su equipo de trabajo, pero principalmente
- % de Humedad del trigo o mezcla de trigos antes de la primera trituración,
- % de Proteína del trigo o mezcla de trigos antes de la primera trituración
- % de Extracción de cada banco según lo especificado para el equipo

Para tener un buen control en la molienda es necesario mantener una uniformidad en la alimentación al molino, por lo que no deberá de excederse una variación mayor de ± 0.2 en las unidades de humedad y proteínas del trigo alimentado a la primera trituración, necesitando realizar un control desde el almacenaje de trigo en los silos por diferencias en variedades, características funcionales, pero principal y prácticamente por % de proteínas. Se debe de solicitar al molinero se registren los datos del proceso en sus factores críticos, para que durante las auditorias se pueda observar los avances en el control y su correlación con los resultados de la harina tanto analítica como funcionalmente, esto se realizará a través de gráficos de control del % de humedad y proteínas del trigo antes de la primera trituración y del % de extracción de los bancos.

3.2.3 Porcentaje de extracción

El porcentaje de extracción es la relación en peso de la cantidad obtenida de harina, expresada como un porcentaje del trigo (5).

$$\% \text{ Extracción de harina} = \text{cantidad de harina} / \text{cantidad de trigo} \times 100.$$

Debido a que la harina tiene un precio mayor que los subproductos los molineros buscan obtener el máximo % de extracción posible para la calidad de harina especificada. Esto no es un parámetro de calidad *per se*. Por un lado, el molinero busca obtener el máximo de harina como sea

posible removiendo cuidadosamente las últimas trazas de endospermo de las hojuelas del salvado. Por otro lado, en el proceso, las últimas trazas de harina que son extraídas pueden incrementar el contenido total de cenizas de la harina generando que el conjunto de la harina sea más oscuro.

El % de extracción es muy significativo cuando es expresado en conjunto con el % de cenizas o el color de la harina.

En Estados Unidos se emplea un porcentaje de extracción basado en el total de la harina como el 100% de extracción y sobre este son considerados todos los demás % de las diferentes harinas y subproductos. Esto puede ser ejemplificado en la siguiente tabla, figura no. 12.

**Figura no.13 Cuadro Esquemático de Rendimientos y Tipos de Harinas.
RENDIMIENTOS PROPORCIONALES DE LOS PRODUCTOS DE
LA MOLIEDA OBTENIDA DE UN TRIGO LIMPIO**

100 KG. DE TRIGO		28% DE TRIGO = 28% SUBPRODUCTOS
72% DE TRIGO = 100% HARINA DE TODAS LAS CORRIENTES	HARINA DE PRIMERA LIMPIEZA 75%	14% SALVADO 14% SALVADILLO GERMEN-POLVOS
HARINA EXTRA CORTA DE PATENTE 60%	25%	18% SALVADO 12% SALVADILLO GERMEN-POLVOS
HARINA DE PATENTE 70%		
HARINA DE PATENTE CORTA 80%		
HARINA DE PATENTE MEDIA 90%		
HARINA DE PATENTE LARGA 95%		
HARINA DIRECTA 100%		

Pyler, E.T. Baking Science & Technology, Seward Publishing Company, Third Edition, 1968, Vol. 1 y II

3.2.4 Tratamiento de harina

Los usuarios de las harinas demandan que el comportamiento de las mismas sea consistente para el uso al que es destinado. Un molinero tiene pocas opciones para cubrir la inconsistencia natural en la calidad del trigo y sus efectos adversos en el comportamiento. Estas opciones son:

-ajustar la proporción de los diferentes trigos, para hacer que la calidad de la mezcla de trigos sea lo más cercano posible al estándar deseado o especificado, para el caso ideal se debe de emplear

solamente un tipo y grado de calidad de trigo garantizando con esto la uniformidad de la harina, este es un esquema muy costoso y que se ve afectado grandemente por el precio del trigo a ser utilizado,

- controlar la selección de corrientes de harinas para elaborar una harina finalmente con una calidad lo mas cercano a lo especificado como sea posible, así como también realizando ajustes al proceso de molienda (humedad de molienda, rango de extracción, y molienda) representando esto un alto costo, por las harinas de segunda que se producen durante esta separación de corrientes,

- mezclar las harinas elaboradas de la molienda específica de un tipo de trigo, en cada corrida, con la finalidad de obtener una harina final bajo las especificaciones deseadas, esto implica que el molino cuente con las instalaciones para realizar estas mezclas,

- tratar a las harinas finales con los aditivos apropiados en los niveles apropiados (y permitidos).

Las dos primeras opciones reflejan la habilidad y experiencia del molinero y su equipo de trabajo

La harina es tratada para lograr los siguientes resultados **enriquecimiento, blanqueo y mejoramiento de la funcionalidad.**

En algunos países como Canadá y Estados Unidos esta legislado la **fortificación de la harina**, debido a que se considera que se deben de reponer las vitaminas perdidas en las fracciones de salvado y germen durante el procesamiento de obtención de la harina , con la finalidad de proveer un complemento dietético (1,2,3,5). Este enriquecimiento se realiza normalmente a través de la adición de una mezcla vitamínica en forma de polvo empleando un dosificador , que de preferencia debe de ser gravimétrico. A continuación se presenta la tabla de requerimientos de enriquecimiento para la harina y el pan en los Estados Unidos

Tabla no. 13 Requerimientos de Enriquecimiento de Harina y Pan en Estados Unidos

COMPUESTO	HARINA	PAN
TIAMINA	2.9	1.8
RIBOFLAVINA	1.8	1.1
NIACINA	24.0	15.0
HIJERO	20.0	12.5
CALCIO opcional	90.0	60.0

From: *J. J. Baking Science & Technology*, Special Publication Company, 1104 E. 12th St., 1985, Vol. 1, 111

El blanqueo mejora la apariencia física de una harina recién molida , por el cambio en su color de crema a blanco. Los agentes blanqueadores actúan sobre los pigmentos carotenoides presentes en la harina. El peróxido de benzoilo es el blanqueador en polvo más comúnmente usado en la actualidad (requiere de un tiempo de exposición de aproximadamente 72 hrs.), este puede ser empleado tanto en harinas de trigos suaves y fuertes. El cloro-gas es usado como blanqueador de harinas de trigo suave afectando también las características estructurales y funcionales de las proteínas y del almidón favoreciendo con este una mayor absorción, mejor volumen del producto y una mejor comestibilidad. La destrucción de los compuestos que imparten color es debido a un efecto oxidante

sobre los mismos y esto puede ser a través de compuestos químicos o por una oxidación natural de la harina, lo cual requiere tiempos prolongados siendo financieramente un problema (2,3,4,5)

Para el mejoramiento de la funcionalidad de las harinas pueden ser empleados oxidantes, los que mantienen un buen balance entre las características reológicas en la masa. El bromato de potasio ha sido el oxidante más utilizado en el mundo, hasta que en fechas recientes ha sido prohibido en algunos países y en otros se ha comenzado a sustituir voluntariamente por los problemas de salud que puede ocasionar. Siendo el ácido ascórbico y la azodicarbonamida los dos oxidantes que se están empleando, aunque no existe un compuesto o mezcla de estos que substituya el comportamiento del bromato de potasio al costo de este ingrediente. Se están realizando investigaciones acerca de otros reotzadores tales como la enzima glucosidasa, hemicelulasa, pentosanasa, ácido ascórbico con recubrimientos, DATEM (mas enzimas, etc.) y se espera tener un compuesto competitivo en funcionalidad y precio (2, 5, 18, 20)

Por el lado opuesto es requerido la dosificación de compuestos que debiliten al gluten, que es el responsable de la formación de una película y de la retención del gas, esto es obtenido utilizando enzimas proteolíticas, agentes reductores, como L-Cisteina o el gas cloro en harinas para pasteles de formulación muy riza.

El trigo que viene demastado germinado tiene un alto contenido de enzimas responsables del desdoblamiento del almidón para producir azúcares fermentables y por lo tanto un aumento en la producción de gas durante la fermentación. Esto no puede ser corregido por el molinero durante el proceso y solamente se puede, controlando la recepción de trigo sin daños por germinación.

Sin embargo, si el trigo no está germinado en un grado óptimo, se puede compensar la deficiencia de alfa-amilasa por una dosificación de malta de cebada o de trigo, teniendo como inconvenientes que en la mayoría de los casos no se puede controlar el principio activo y además contiene cierta actividad proteolítica lo que disminuye la fuerza del gluten afectando la funcionalidad de la harina, y sumado a esto la malta se torna inestable en climas húmedos y calidos afectando su actividad enzimática. En la actualidad se está comenzando a emplear alfa-amilasa de origen fungal (que en algunos casos son genéticamente modificadas y estandarizadas en su actividad proteolítica) ya que produce resultados más consistentes, la alfa-amilasa fungal es más termo sensible, lo que hace que sea completamente inactivada a las temperaturas de horneeo, lo que la hace más tolerante a una sobre-dosificación. Este tipo de enzimas no habían sido empleadas normalmente ya que su termolabilidad impedía su determinación por los métodos conocidos para el control de su dosificación, pero en la actualidad ya se cuenta con el método para su determinación y se comenzará a dosificar y a medir para poder dar a los panaderos harinas con una actividad enzimática más controlada y así contribuir al control de la producción de gas y de la fermentación. A continuación se presenta una tabla con los aditivos más comúnmente empleados en la industria de la panificación, sus niveles de uso, máximos permisibles y su funcionalidad (21,22,23,25,26,29,30,32,38,39).

Tabla no. 14 Aditivos Comúnmente Empleados en Harinas.

ADITIVO	ESTADO	RANGO DE USOS (ppm)	PROPOSITO	MAXIMO NIV. PERMITIDO
Bromato de potasio	polvo	10-20	Oxidación	50 ppm
Azodicarbonamida	polvo	2-20	Maduración	45 ppm
Cloro	gas	3000 (1400)	Blanqueo y Maduración	Suficiente para blanquear
Peróxido benzóilo	polvo	50	Blanqueo	150 ppm
Ácido ascórbico	polvo	70	Reductor del tiempo de mezclado	200 ppm
L-Cisteína	polvo	30	Reductor del tiempo de mezclado	60 ppm
Alfa-amilasa fungal	polvo	30	Suplemento diastásico	Como se requiera
Vitamina-mineral	polvo			
Niacina		35-64	Suplemento nutritivo	Igual que el rango normal de uso
Hierro	premezcla	29-43		
Tiamina	en polvo	4-4-7		
Riboflavina		3-7-4-8		
Ácido Fólico				

From: *J. Baking Science & Technology*, Special Publication Company, Third Edition, 1988, Vol. 1, 111

3.2.5 Cantidad y Calidad de Proteínas

En términos prácticos la calidad de la proteína puede ser definida como la característica inherente de la proteína de la harina para la producción de pan. Estos es normalmente medido en términos del volumen de la hogaza del pan con unas características internas de la miga y externa de la corteza satisfactorias, obtenidas bajo condiciones óptimas de formulación y procesamiento (por ejemplo fermentación, mezclado y oxidación). Si dos harinas del mismo contenido de proteínas dan diferentes volúmenes de la hogaza bajo condiciones optimizadas de panificación, se dice que sus proteínas son de diferente calidad.

Para harinas de una misma variedad de trigo, la calidad panadera o funcional, en términos del volumen de la hogaza, está normalmente relacionada en forma directa con el contenido de proteínas. Sin embargo, en general, el conjunto de la calidad panadera (valor) de una harina en particular depende de la combinación de Calidad Cantidad de proteína. Para cualquier proceso y tipo de pan existen unos requerimientos mínimos en términos de tolerancia al proceso, volumen del pan, y otras características panificables. Estos dictan los requerimientos totales de Calidad Cantidad de proteínas de la harina para un tipo particular de pan.

La calidad del trigo es afectado por dos grupos de factores unos intrínsecos y otros extrínsecos. Los primeros son principalmente las características genéticas del trigo, lo cual no se puede cambiar en la misma variedad y solamente se va modificando al paso del tiempo por factores de cruza, esto es lo que se conoce como degeneración de las variedades con respecto al tiempo. Existen modificaciones genéticas controladas y dirigidas por el hombre con la finalidad de buscar

variedades más resistentes a enfermedades, plagas y con mejores características agronómicas, molineras y panificables (1).

Los factores extrínsecos son la temperatura durante el día (que se recomienda sea de 24°C) y bajas temperaturas durante la noche, el tipo de suelo, la cantidad de precipitación pluvial cuyos valores anuales recomendados para el óptimo desarrollo de los trigos son de 220-250 como mínimo a 750-1000 mm como máximo. La cantidad y la distribución de las precipitaciones afectan el rendimiento del trigo y el contenido de proteínas existiendo una relación inversa entre ambas. Otros factores son la fertilización, las prácticas de cultivo, la altitud y latitud del terreno, la longitud del día (1,2).

Los trigos de la misma variedad sembrados en la misma región varían en su calidad de una cosecha a otra principalmente por los factores climáticos, por lo que no se puede garantizar que la calidad del trigo va a ser exactamente la misma de cosecha a cosecha, para lo cual deberá de ser analizada y ajustada la especificación de la harina o recomendada la atenuación en la calidad del producto final si se mantiene el mismo tipo de trigo con las mismas características de comercialización. Esto también afecta notablemente los precios del trigo por ser este un commodity y se deberá de tomar en cuenta para el manejo óptimo del balance de Calidad/Precio del trigo y por lo tanto de la harina.

3.2.6 Estandarización de Calidad de Harina de Trigo

La estandarización de la calidad es difícil, ya que influyen muchos factores tales como:

-la calidad del trigo de cosecha a cosecha y de una región a otra, aun en el mismo terreno el trigo es diferente el que es cultivado en las partes altas del de las partes bajas del mismo terreno y aunado a esto las diferencias en las características del suelo;

-el cambio del trigo y de la harina al madurar, el mismo trigo molido inmediatamente después de la cosecha da diferentes harinas al molido seis meses después, al igual que el periodo de almacenamiento o maduración de la harinas provoca cambios en la funcionalidad;

-la técnica y habilidades particulares de los molineros, pudiéndose observar esto al ver dos harinas elaboradas en el mismo molino por dos personas diferentes, así como el equipo y diagrama del propio molino, nos dan diferencias notables en el comportamiento de las harinas;

-las características de panificación de una harina no están determinadas definitivamente por los análisis que se le realizan, teniendo que una harina de 0.48% de cenizas puede funcionar mejor que una de 0.46%, así como una de 12% de proteínas puede ocasionar más problemas que una de 11%, debemos de recordar que un solo análisis no es representativo del comportamiento esperado de una harina que solo es la suma de todos los análisis y principalmente la prueba de panificación las que nos indicaran cual debe de ser el tratamiento específico para la harina;

-y por último los puntos de vista de la diferentes personas, el proceso y el equipo empleado y por supuesto las condiciones tanto de la localidad como del propio proceso afectan el comportamiento de una harina.

De una manera muy simple, la estandarización de la calidad de una harina depende principalmente de medir y controlar cada una de las variables que intervienen para disminuirlas y favorecer así a la uniformidad de la calidad de la harina

3.2.7 Factores Higiénicos

La sanitización fundamentalmente involucra:

- la erradicación y subsecuente prevención de cualquier insecto e infestación de roedores, aves, etc.;
- la prevención de contaminaciones por hongos y bacterias de los productos finales;
- el evitar las condiciones que puedan resultar en la introducción de materias extrañas a los ingredientes o productos terminados

Esto es obtenido por el seguimiento, control y apego a los programas de sanitización de los molinos. Y a una supervisión sistemática por personal altamente capacitado en la detección y control de plagas e infestaciones, así como en el manejo de sustancias para la eliminación y prevención de las mismas.

3.3 PROCESO DE PANIFICACION

3.3.1 Formulación

La formulación básica para el pan consiste en harina, levadura, sal y agua. Otros ingredientes que se encuentran frecuentemente en las formulaciones de pan son grasas, azúcar, leche o derivados, reforzadores, surfactantes, enzimas, y conservadores para la protección contra hongos. Las formulaciones se basan en el peso de la harina, considerándolo el 100%, y de este se referencian los demás, a este porcentaje se le conoce como "porcentaje panadero". De aquí en adelante todos los porcentajes mencionados en este trabajo serán relacionados a porcentajes panaderos.

La harina es el principal ingrediente y forma la estructura del pan y junto con el agua es responsable de la formación de una masa visco-elástica que retiene gas.

La principal función de la levadura es convertir carbohidratos fermentables en bioxido de carbono y etanol, produciendo una hogaza ligera, comestible y de excelentes características de aroma y sabor. Esta tiene diferentes presentaciones, como son en crema, comprimida, y seca instantánea.

La sal generalmente se usa en niveles de 1% a 2% en base al peso de la harina. Sus funciones son la de fortificar el sabor y su efecto en las propiedades reológicas de la masa.

Las grasas en el pan incrementan el volumen y la vida de anaquel o frescura. El azúcar es una fuente de carbohidratos fermentables para la levadura e imparten un sabor dulce al pan.

La leche generalmente es utilizada en algunas variedades, los sustitutos de leche o mezclas de suero de leche y harina de soya se utilizan como texturizantes de la miga.

Mejoradores como bromato de potasio, ácido ascórbico, azodicarbonamida y peróxido de calcio en niveles de partes por millón mejoran la estructura de la masa que resultan en hogazas con mayor volumen y mejor textura.

Los surfactantes se usan como reforzadores de masa y las enzimas como agentes anti-ensuciamiento o para subsanar alguna deficiencia de la harina.

Para evitar el crecimiento de hongos los aditivos más comunes son el propionato de sodio y de calcio.

A continuación se presenta una fórmula típica de Pan Blanco, que será considerada como el control de todas las pruebas.

Tabla no. 15 Formulación Típica de Pan Blanco.

INGREDIENTE	%
Harina	100.0
Agua	58.0-62.0
Azúcar	8.5
Levadura	3.0-5.0
Sal	2.5
Grasa	2.5
Reforzadores	0.5
Alimento para Levadura	0.65
Propionato de Sodio	0.25-0.45
Bromato de Potasio	0.004

3.3.2 Etapas en la elaboración de Pan Blanco

Los cambios que ocurren en la transformación de los ingredientes utilizados hasta la obtención de productos de panificación, son muchos y muy complejos. En la actualidad son empleados diferentes tipos de procesos a nivel industrial, tales como el proceso de esponja-masa, esponja líquida, masas directas, masas sin tiempo, etc. La principal diferencia entre estos son las características finales del producto, y por supuesto la cantidad y tipo de equipo empleado para su procesamiento. Sin embargo, se pueden distinguir etapas en la elaboración del pan que son comunes, como es el mezclado, modelado, fermentación, horneado, enfriamiento y empaquetado, a continuación se describirán solo aquellas de mayor importancia desde el punto de vista del tema tratado en este trabajo.

3.3.2.1 Mezclado

El primer paso que se describe es el mezclado, cuya finalidad es incorporar los ingredientes hasta formar una masa homogénea y tiene el objetivo de desarrollar físicamente las proteínas de gluten en una estructura tridimensional que impartirá a la masa el grado deseado de plasticidad, elasticidad y viscosidad, para con esto obtener una retención del gas producido durante la fermentación (2,5)

El gluten en procesos tales como el de esponja-masa, sufre un desarrollo bioquímico previo al mecánico del proceso de mezclado, dicha estructura es la que dará las características de calidad tales como volumen de la hogaza, grano o miga, etc. En la producción del pan y otros productos de

panificación leudados con levadura, el mezclado inicia una serie de cambios complejos e interacciones entre diversos componentes, haciendo que estos entren en íntimo contacto a través de trabajo mecánico que finalmente resulta en una masa homogénea.

La calidad de la harina determina el tiempo de mezclado, y su capacidad de poder soportar variaciones sin afectar las características finales del producto, además se establece un parámetro de costo, como lo es el % de Absorción.

Se deben cumplir dos condiciones para que la masa producida tenga las propiedades deseables: una relación adecuada entre los ingredientes de la fórmula y una distribución homogénea de estos en toda la masa.

En la industria panificadora de gran escala los ingredientes como la harina, edulcorantes, son normalmente pesados automáticamente y son alimentados directamente a las mezcladoras, mientras que el agua, grasas y edulcorantes líquidos son enviados por tubería con sistemas para medir flujos máxicos y así garantizar el peso de los ingredientes y por lo tanto evitar variaciones en la calidad de los productos debidos a fluctuaciones de peso en los ingredientes. Los ingredientes que se agregan en pequeñas cantidades como el alimento para levadura, acondicionadores de masa, enzimas y otros materiales muy reactivos, son pesados en balanzas más sensibles y agregados manualmente o a través de sistemas neumáticos. La levadura, dependiendo de la presentación que se utilice, ya sea líquida, comprimida, seca activa o instantánea se añade directamente o bien rehidratada a través de tubería a la mezcladora.

Los efectos físicos durante la fase de mezclado se pueden diferenciar en incorporación, hidratación, levantamiento y desarrollo, después del cual se puede sobremezclar la masa, perdiendo las propiedades funcionales de retención de los gases, es cuando se dice que una masa está "quemada". Los marcados cambios en la apariencia y comportamiento durante las etapas de desarrollo de la masa han sido atribuidos a una alteración básica en las características de flujo del gluten (2).

La masa, a un nivel molecular, puede ser visualizada como una red tridimensional compuesta de cadenas largas de proteína que están unidas por varios tipos de enlaces químicos. El más significativo de estos es el enlace covalente de sulfuro (-S-S-) el cual, a través de la reacción de intercambio disulfuro-sulfidrido, rápidamente se adapta a los requerimientos dinámicos impuestos por la acción del mezclado. El intercambio de enlaces de sulfuro se cree que es iniciada por la reducción del grupo tiol, o sulfidrido (-S-H). Aunque existe un predominio de los grupos -S-S- sobre los grupos -S-H en la proteína de trigo, un número limitado de grupos tiol es capaz de catalizar el intercambio de grandes números de enlaces -S-S-. La reducción de tan solo el 7% de enlaces de sulfuro en una masa han demostrado producir profundos cambios en las propiedades físicas (4).

Otros enlaces importantes incluyen enlaces de hidrógeno, hidrofóbicos, iónicos y con fuerzas de Van der Waals. Los enlaces de hidrógeno son formados principalmente por numerosos grupos amino de residuos de glutamina de la proteína del trigo, mientras que residuos no polares de amino ácidos como leucina y valina forman enlaces hidrofóbicos en presencia de agua (4,5).

La incorporación de aire es otro aspecto importante del mezclado. Aunque el 20% de la harina a granel es aire, cantidades adicionales se incorporan durante el mezclado. Mediciones de la densidad de la masa muestran que la tasa de incorporación incrementa mientras la masa se vuelve más cohesiva. Cuando la masa ha alcanzado su desarrollo óptimo, habrá incorporado la mitad del total del aire que puede retener.

El aire tiene diferentes efectos en la masa. El nitrógeno provee de bases para la formación de celdillas durante la fermentación y finalmente en el producto horneado. A través de su efecto oxidante, el oxígeno del aire causa la acelerada desaparición de los erupios tol de la harina y por lo tanto aumentando la resistencia de la masa a la extensión, disminuye su movilidad y tiempo de mezclado.

En esta etapa se dosifican algunos mejoradores de la calidad de la harina, como es el caso de los oxidantes, reforzadores, reductores, enzimas anti-envejecimiento, etc. y esta se realiza en base a los resultados analíticos de la calidad de la harina, como se verá durante las siguientes secciones.

3.3.2.2 Fermentación

La masa es sometida a un proceso bioquímico, donde a través del efecto de la levadura sobre los azúcares fermentables los transforma en alcohol y dióxido de carbono como principales productos finales, y por consiguiente se obtiene una masa ligera y aireada. Esto impartirá al producto horneado un característico aroma y sabor.

La harina provee de los carbohidratos que serán empleados por la levadura durante esta etapa, para la producción de gases, y es donde juega un papel preponderante la actividad enzimática de la harina, ya que una harina que tenga baja actividad deberá de ser dosificada de un complemento enzimático, para poder obtener las características de proceso y de calidad de producto (2). La levadura como cualquier organismo vivo, debe ser provisto de un medio adecuado para que se desarrolle. El nivel de humedad, temperatura moderada, acidez en el medio y una abundante cantidad de carbohidratos fermentables, fuentes de nitrógeno asimilable, así como ciertos minerales forman los requisitos básicos para una buena fermentación. La levadura a su vez produce cambios en el medio durante la fermentación, como consecuencia de la descomposición de azúcares. Se acumulan desperdicios en forma de dióxido de carbono, alcoholes, ácidos y ésteres, se modifica el pH, se ablanda el gluten, etc.

Existen diferentes métodos industriales de fermentar la harina para transformarla en pan. Entre los más extensamente utilizados se encuentran el de esponja-masa y esponja líquida. En ambos casos existen dos etapas de fermentación: antes y después del mezclado.

La primera etapa de fermentación es conocida como "esponja", y consiste en una mezcla de harina, agua, levadura y acondicionadores del agua y levadura conocidos como "alimento para levadura APL". Se logra una hidratación completa de la harina durante esta etapa. Además se logra disminuir el nivel total de levadura empleada, ya que bajo las condiciones de temperatura, humedad y

pH de la esponja, la levadura alcanza su mayor actividad. El producto terminado tendrá un mayor aroma, sabor, vida de anaquel y humedad que en productos elaborados a partir de masa directa. El tiempo de mezclado disminuye por la hidratación adecuada de la harina y el acondicionamiento del gluten.

En el método de esponja-masa, la cantidad de harina utilizada en la esponja es de un 60 a un 75% del total de la harina, de agua es del 55 al 65% y de 3 a 5% de levadura fresca comprimida (base harina). Los ingredientes se homogeneizan en una mezcladora y se dejan reposar de 3 a 5 horas en un cuarto con 80% de humedad relativa y temperatura de 26 a 30°C. Finalmente se agrega al resto de los ingredientes en la mezcladora para formar la masa.

El método de esponja líquida consiste en incorporar de un 45 a un 55% de harina, 50 a 60% de agua y de 3 a 5% de levadura fresca comprimida (base harina). Para elaborarla se utilizan tanques con agitadores en los que se incorpora el agua junto con la levadura y posteriormente se agrega la harina y el alimento para levadura. Se forma un fluido con alta viscosidad, que puede ser bombeado, generalmente con bombas de lobulos.

La esponja se elabora a una temperatura de 26° a 27°C y se deja reposar entre 2 y 4 horas. Después de este tiempo se enfría por un intercambiador de placas hasta una temperatura de entre 8° y 10 °C, a la cual se almacena. Se bombea a un tanque pesador y de ahí va directamente a la mezcladora en la cual se elabora la masa por incorporación de los demás ingredientes.

En el método de esponja líquida, se requiere menor espacio para la fermentación de grandes volúmenes de prefermento en comparación con el método de esponja-masa, además de la facilidad de manejo por medio de bombas y un mejor acondicionamiento de la levadura y el gluten. Las ventajas del sistema de esponja-masa consisten en una mayor absorción por la cantidad de harina que se hidrata y en la velocidad más controlada de fermentación debida a la menor cantidad de agua empleada (1,2).

Durante la fermentación de la esponja y el mezclado de la masa se generan las dos principales fuerzas que entran en juego: la producción y retención de gas, que estando balanceadas producen la optimización de calidad del pan. La producción de gas involucra fundamentalmente el funcionamiento biológico de la levadura sobre los azúcares fermentables, mientras que la retención de gas es dada por las modificaciones mecánicas y fisicoquímicas de la estructura formada por el gluten de la masa durante el mezclado y la fermentación.

Ya que la masa se ha elaborado, dividido en porciones individuales y con la forma deseada, se lleva a cabo la segunda etapa de fermentación conocida como "tiempo de prueba" (proof time). La masa se lleva a una cámara de humedad y temperatura en donde reposa generalmente durante una hora. Es necesario contar con 80 a 90% de humedad relativa para panes y una temperatura de 40 a 46 °C, para un óptimo desarrollo de la masa, estos valores depende en gran medida de la variedad del producto a elaborar. La corteza deberá conservarse húmeda y tersa para que la masa se expanda con facilidad dentro de los moldes. En esta etapa la masa crece y alcanza casi el volumen final de la hogaza.

La fermentación después del mezclado, es donde se obtiene, el 80% del volumen final del producto y donde se comienzan a desarrollar las características finales del pan. La principal tarea del panadero es la de controlar la fermentación de tal manera que las fuerzas de producción y retención de gas estén en equilibrio. Si la producción de gas llega al máximo cuando la capacidad de retención de la masa no ha sido desarrollada se perderá mucho gas y no se logrará una correcta aereación de la masa; si por otro lado, la capacidad de retención de gas llega al máximo antes que la producción, se perderá nuevamente aereación de la masa, reflejándose en una característica de calidad, de bajo volumen y miga no uniforme.

3.3.2.3 Modelado

La función básica del modelado es la de dividir la masa en porciones individuales con el peso, la forma y el volumen adecuado (1,2,5).

El modelado se puede considerar en varias subetapas siendo la primera la división de la masa en piezas individuales con un peso especificado. El objetivo de la división, es obtener un peso constante, con la menor variación posible y a la máxima velocidad dada por el equipo. (algunos equipos disponibles operan con el principio de medida volumétrica), esto se logra generalmente cuando la masa se pesa en menos de 20 minutos, ya que de lo contrario el proceso de fermentación cambia la densidad de la masa y por lo tanto el peso, con excepción de las divisoras que cuentan con degasificadores, previos a la división, lo que garantiza la uniformidad de peso con una mínima desviación.

La operación de dividido somete a la masa a un estrés físico, especialmente cuando esta es forzada en los gusanos de los degasificadores. Esta compresión, seguida del corte, causa una pérdida de dióxido de carbono, la desorientación de las redes de gluten y el incremento de la temperatura, lo que requiere de un periodo de reposo para lograr las características de calidad.

El siguiente paso es el boleado. La boleadora consiste generalmente en una superficie cónica por la que la masa dividida se enrolla en sí misma, o a través de guías plásticas y bandas boleadoras. Se forman bolas que se secan parcialmente por la pérdida de humedad y la adición de harina de polveo. Esta capa tiene como función la de ser una barrera a la difusión de gases y permitir que el dióxido de carbono se acumule en el interior.

Después del boleado, la masa pasa por la modeladora. La primera operación de la modeladora es aplanar las bolas a una forma de tortilla por medio de tres pares de rodillos, después de lo cual se enrolla y se sella en forma de "camote" con la longitud preestablecida. En algunos casos se realiza una operación adicional, que es la de trenzar dos piezas entre sí, con la finalidad de mejorar las características internas del pan. Al manejar tortillas de masa con menor peso se obtiene una mejor distribución de las celdillas de gas, ya que los rodillos se cierran más y degasifican mejor.

Una vez que la pieza tiene la forma y tamaño deseados, se deposita en el molde previamente engrasado y se dirige a la última etapa de fermentación conocida como "prueba final", como se mencionó en el apartado 3.3.2.2.

Quando la masa sale de la cámara de vapor, se puede detectar si todavía tiene fuerza para crecer la última etapa en el horno y si el color será adecuado o pálido dependiendo de la corteza. Esto está correlacionado directamente con la calidad y fortalecimiento de la harina. Si esta es tersa, brillante y no pegajosa la masa se encuentra en óptimas condiciones para el horneo. Si por el contrario aparecen ampollas se dice que la masa está "picada" o sea sobrefermentada, y por lo tanto débil, no crecerá adecuadamente en el horno, las celdillas estarán colapsadas y el color será pálido, o por el contrario no crece al volumen estandarizado, se espera que el producto tenga una mala calidad, debiéndose a problemas de calidad de los ingredientes y/o al proceso. La estabilidad de la harina determina la cantidad de sobrefermentación o rudeza de manejo puede soportar una masa sin afectar la calidad del pan, en esta etapa y durante el horneo, es donde más se puede observar la funcionalidad de la harina y de los aditivos o reforzadores.

3.3.2.4 Horneo

La temperatura del horno y la duración de la cocción varían según el tamaño y el tipo de pan, la temperatura oscila entre 220° y 275°C, mientras que el tiempo de cocción varía según el tipo de horno y peso del producto entre 15 y 45 minutos.

El proceso de cocción de las piezas de masa consiste en una serie de transformaciones de tipo físico, químico y biológico, que permite obtener al final del mismo un producto comestible y de excelentes características sensoriales y nutritivas.

El calor se propagará del ambiente hasta el interior del producto, por convección, radiación y conducción, estableciéndose un gradiente de temperatura entre el ambiente y el interior del producto. Genera un movimiento (del interior hacia el exterior) de moléculas de agua que, al llegar a la superficie se evaporan, por lo cual la temperatura en el producto tiende a disminuir hacia el interior, además de que se va formando una capa natural de aislamiento térmico, por el aire retenido dentro de la masa (1,2).

Durante la cocción, además de la evaporación del agua, también ocurre la volatilización de todas aquellas sustancias que tienen una temperatura de evaporación inferior a 100°C y en particular del alcohol etílico y de todas las sustancias aromáticas que se forman tanto en la fermentación, como en la cocción (aldehídos, éteres, ácidos, etc.), razón por la cual se está comenzando a legislar sobre este tipo de deshechos (2).

A causa de la expansión del gas y del aumento de la tensión del vapor de agua, debidos a la temperatura del horno, en la masa surge un rápido aumento de volumen que alcanza el máximo desarrollo después de un tiempo (5-10 minutos), variable con el peso, la forma y calidad de la masa. El desarrollo de la masa está relacionado con tres factores, es decir, elasticidad, concentración del gas, y resistencia de la masa y la capacidad de retenerlo.

La calidad y la cantidad del gluten, la cantidad de azúcares reductores, por su capacidad para formar gas, la cantidad de levadura, de sal o de otros ingredientes, tales como la grasa y el azúcar,

representan otros factores de las que depende el desarrollo del pan; otros parámetros tecnológicos como la temperatura y velocidad de cocción, características de las piezas, ciclo de elaboración y duración de la fermentación tienen importancia en la obtención de un volumen óptimo del pan.

La elevada elasticidad de la masa junto con una gran capacidad de retención, da lugar a un pan muy grande, con bajo peso específico. Por el contrario, una masa con escasa elasticidad o una pequeña capacidad de retención del gas debido a una malla de gluten rígida y seca, se obtiene un pan de pequeño volumen, con una miga de masa aglomerada, y con unas celdillas no homogéneas, conocido como grano denso y aspero.

En la primera fase de horneado, o sea cuando la temperatura interior de la masa no ha rebasado los 55°C, la levadura continúa activa por lo que la fermentación prosigue, solo una vez alcanzados los 65°C la actividad de la levadura y de algunas enzimas cesa, y al mismo tiempo comienza la coagulación del gluten y la parcial dextrinización del almidón; la totalidad de estos fenómenos junto con la eliminación del agua hace perder a la masa la consistencia plástica y la hace asumir una forma rígida.

La temperatura de cocción influye sobre otros componentes, como son las vitaminas y en particular la tiamina (B1) y la riboflavina (B2) cuyo contenido se reduce notablemente.

El almidón va sufriendo cambios estructurales durante la cocción, pasando de una suspensión, a un gel semirígido para posteriormente ser fijado por la pérdida de agua, generando la estructura interna, conocida como miga del pan. Sobre la superficie del producto, la temperatura más alta provoca el proceso de dextrinización y caramelización de los azúcares y aminoácidos presentes. Además la temperatura conduce a la eliminación del gas en la masa y de sustancias volátiles y aromáticas como los alcoholes, los éteres y todos aquellos productos derivados de la reacción de Maillard entre azúcares y aminoácidos y se forma el aroma característico del pan. A continuación se presenta la tabla no. 16, donde se resumen todos los cambios que ocurren durante la etapa de horneado de un producto, en base a la temperatura interna de la hogaza (1,2,3,4,5)

Tabla no. 16 Fenómenos durante el proceso de Cocción

TEMPERATURA (°C)	FENÓMENOS EN EL INTERIOR DEL PAN
30	Expansión de los gases y producción enzimática de azúcares provenientes de la harina
40	Inicio de hinchamiento del almidón
50-60	Aumento de actividad enzimática, inicio de la solubilización del almidón
60-70	Inicio de desnaturalización de las proteínas
60-75	Final de la gelatinización del almidón
65-80	Muerte de la levadura e inactivación de las enzimas
100	Desarrollo y producción de vapor de agua, formación de la corteza
110-120	Formación de dextrinas en la corteza (clara y amarilla)
130-140	Formación de melanoidinas
140-150	Reacción de Maillard, caramelización
150-200	Producto crujiente y aromático

Bromberg, Y. *Wheat: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists, Inc. Third Edition, 1988, Vol. I, II

De las características de calidad de la harina, el porcentaje de almidón dañado juega un papel importante en un proceso de fermentación ya que de él dependerá si el agua que es incorporada a la masa durante el mezclado es totalmente retenida o será liberada durante el horneado colapsando el producto; de igual forma el porcentaje de proteínas así como su calidad reológica nos darán pauta a realizar ajustes del proceso como son tiempo de mezclado, tiempo de fermentación, cantidad de levadura, porcentaje de absorción o cantidad de reforzadores, la capacidad de retención del gas formado durante la fermentación y su expansión durante el horneado, y la elasticidad de la red proteica para la formación de una miga tersa, fina y sedosa nos es indicada por los valores alveográficos.

3.4 FUNCIONALIDAD DE INGREDIENTES BÁSICOS

3.4.1 Harina

En este apartado solo se mencionara que la harina es la estructura primaria, de los productos de panificación leudados con levadura, ya que contiene unas proteínas formadoras de gluten, el cual es capaz de formar una red tridimensional, para retener el gas producido por la levadura durante el proceso de fermentación de los azúcares, siendo la mayoría de estos obtenidos del almidón propio de la harina, por acción de complejos enzimáticos intrínsecos y como complementos de las formulaciones.

Se revisara con mayor detalle la funcionalidad de la harina a través del estudio de sus componentes en la sección 3.5

3.4.2 Agua

El agua es el solvente universal, que facilita todas las reacciones químicas y bioquímicas, presentes en el proceso de panificación. El agua ocupa, junto con la harina, la levadura y la sal, la posición de ingrediente principal de la masa. Sin agua no sería posible la formación de una masa, pues representa aproximadamente un 40% del total de esta. Es por esta razón que, aun cantidades relativamente pequeñas de materiales activos disueltos en ella, pueden ejercer un efecto pronunciado sobre las propiedades de la masa y la calidad del pan.

El agua disuelve o suspende los ingredientes secos de las masas, permitiendo que se encuentren en contacto íntimo para que se desarrollen las complejas reacciones en los productos de panificación. Permite la distribución uniforme en toda la masa de los ingredientes que se agregan en muy pequeñas cantidades.

El agua, tiene una variación en su calidad en función a la fuente de obtención, requiriéndose por parte del panadero una uniformidad como en cualquier otro ingrediente, para que los productos resultantes también sean uniformes. Las principales variables que deben de ser verificadas son la dureza total (media de 70 a 120 ppm), de calcio, de magnesio y el pH, así como su calidad sanitaria (2).

Las funciones del agua en productos de fermentación son muchas. La primera es que hace posible la formación del gluten. El gluten, componente estructurante muy importante para las masas de fermentación, se forma gracias a la hidratación y acción mecánica sobre las proteínas de la harina al mezclarse esta con agua. El gluten forma la pared de las celidillas, retiene el gas leudante y determina en gran medida el volumen y características de estructura del producto final.

Cuando el almidón se calienta en presencia de agua, los granulos comienzan a hincharse a una temperatura entre 63° y 71°C. Este fenómeno se conoce como gelatinización. Al aumentar la temperatura, los granulos continúan hinchándose y absorben mas agua hasta que alcanzan un tamaño máximo alrededor de los 88°C. En este momento se encuentra totalmente cocido el almidón. Durante

este tiempo es donde se llevan a cabo las reacciones enzimáticas, para la obtención de los productos de cada una, principalmente de las amilasas (2,3)

Los gránulos hinchados son responsables del poder espesante del almidón. El almidón gelatinizado forma una pasta, que se vuelve más firme durante el horneado y posteriormente durante el enfriamiento y que contribuye en forma importante a la estructura de los productos de fermentación, impartiendo rigidez.

La proporción de agua usada en una masa en relación a la harina, ejerce un efecto fundamental sobre las características de la masa. La consistencia, ductilidad, extensibilidad y adherencia de las masas, propiedades que se reflejan en las características finales del producto, se deben casi totalmente al nivel de agua empleado. Si la cantidad de agua no es la apropiada habrá problemas durante el paso de la masa por el equipo automatizado empleado en el proceso. Una masa con demasiada agua será muy floja y requerirá de mucha harina de polveo para no pegarse al equipo, con el consecuente detrimento en la calidad del producto final. Una masa con poca agua será muy dura y se resistirá al buen modelado, afectando también la calidad del pan.

El agua es empleada como un medio de control de temperatura de las masas, ya que se requiere tener la temperatura de la masa entre 26° y 28 °C al finalizar el mezclado, debido a que ésta es donde se tiene la mejor actividad de la levadura. Existe un procedimiento de cálculo para definir la temperatura a la cual debe de ser agregada el agua en función de las temperaturas de los demás ingredientes mayores y del factor de fricción de la mezcladora, y del uso y temperatura del enchaquetamiento de la misma. Las masas calientes se sobrefermentarán y las frías tardarán más tiempo en crecer en la prueba final, afectando esto la calidad del pan.

El agua en las masas durante el horneado, primero se difunde del gluten hacia el almidón y posteriormente al estar sujeta a un calentamiento, forma vapor de agua que se expande en las celdillas existentes en la masa. El vapor de agua ejerce una presión que aumenta el volumen de los productos, junto con la expansión de los gases de la fermentación.

El agua es considerada un agente estructurante al posibilitar la formación del gluten, pero también es un agente suavizante, ya que disuelve al azúcar y, al ser retenido por éste, se inhibe en cierto grado la gelatinización completa del almidón, lo que resulta en un efecto suavizante de la estructura del producto. El agua determina la comestibilidad, suavidad y frescura, características que son determinadas por la humedad del producto terminado.

3.4.3 Grasas

La importancia de las grasas y aceites en la industria de la panificación depende principalmente del producto a desarrollar. En panes de caja la grasa es opcional, siendo la de mayor uso la manteca vegetal, generalmente de soya, ó algodón, cuya función principal es mejorar la palatabilidad del producto terminado. Con anterioridad se usaba normalmente el lardo como manteca preferida, debido al grato sabor que le imparte al producto, pero en la actualidad, se substituyó este por las mantecas vegetales, por su nula aportación al colesterol.

La función principal de las grasas en la formulación del pan, es la de suavizar la estructura molecular del gluten, e impedir la salida de los gases formados durante la fermentación. Mejorando con esto la estructura de la miga del pan, y la firmeza de la corteza, aumenta el volumen del producto, extendiendo la vida útil del producto, por disminución de la firmeza del producto, además aumentan el valor calórico del producto (2,3).

La adición de manteca a la masa de pan, produce un mejoramiento notable del volumen de la hogaza con cada incremento en la cantidad de manteca. Hasta un máximo de 3 a 4% (7 panadero). Por su efecto suavizante, las harinas más fuertes requieren una mayor cantidad de manteca mientras que las harinas panaderas más débiles requieren una menor cantidad.

Debido al poder lubricante de las mantecas, las masas tienen una mejor fluidez en el molde ("Pan Flow") durante la fermentación, ocupando todos los espacios del molde obteniéndose una mejor simetría y volumen del producto. Las masas elaboradas con mantecas llegan al punto de elevación máximo 15 a 20 minutos antes que las masas similares que no contienen manteca.

A las grasas se les debe de analizar normalmente, su índice de plasticidad, ó % de sólidos dilatométricos, el grado de oxidación ó enranciamiento, y el grado de estabilidad al enranciamiento ó grado de saturación (4).

3.4.4 Azúcares

La función principal de los azúcares es la de proporcionar alimento a la levadura para leudar la masa. También se desarrollan por esta misma acción, ácidos y aldehídos volátiles que caracterizan el sabor y aroma del pan. La sacarosa no es empleada directamente por la levadura, ya que emplea solamente azúcares simples, los cuales los obtiene por la acción de la enzima de la levadura, llamada invertasa, que convierte a la sacarosa en glucosa y fructosa, siendo la primera preferida por la levadura para ser asimilada, cuando las dos se encuentran en el sistema al mismo tiempo (2,3).

Aunque la producción adecuada de CO₂ se puede sostener con el 2% a 3% de sacarosa (7 panadero) comúnmente se usan niveles más altos, aproximadamente de 8%. Las razones que justifican lo anterior son: volumen del producto, color de la corteza, sabor, comestibilidad, vida de anaquel, etc. Los niveles altos de azúcar aseguran el mantener la fermentación a una alta velocidad de producción de gas durante el tiempo de prueba final, que se requiere para los sistemas de producción a gran escala.

Algunos azúcares tienen la propiedad de ser reductores, ya que tienen la habilidad de reducir químicamente a ciertos compuestos. La glucosa y fructosa son azúcares reductores. En la sacarosa se encuentran bloqueados los grupos carbonilo, por lo que esta no es reductora. Los azúcares reductores, cuando se calientan en presencia de proteínas reaccionan con sus aminoácidos y forman compuestos oscuros llamados melanoidinas, por las reacciones de Maillard, siendo estas muy complejas. En las primeras etapas, las melanoidinas se asemejan a los caramelos en su color, olor y sabor. Las reacciones posteriores y últimas provocan su transformación en sustancias negras, amargas e

insolubles. Las reacciones de Maillard también forman muchos compuestos que imparten el característico aroma al pan horneado y mejoran el sabor.

Los azúcares que permanecen sin fermentar por la levadura se conocen como azúcares residuales, los cuales tienen un efecto significativo en las características del producto terminado, como se describe a continuación:

Promueven una rápida formación de color de la corteza por la caramelización y reacciones de Maillard entre azúcares reductores y proteínas de la harina de trigo. Esto favorece una menor temperatura y tiempo de horneado, con una mayor retención de humedad de la hogaza.

El tiempo de prueba final también se ve afectado por aumentar la presión osmótica en la masa, por lo que se requieren mayores porcentajes de levadura.

Imparten cualidades de textura, en función de mejor grano, y miga tersa, suave y más blanca. Estos efectos se atribuyen a una gelatinización de almidón retardada y una desnaturalización de proteínas causadas por el azúcar durante el horneado.

Se aumenta la vida de anaquel del producto por un incremento en la retención de la humedad por la naturaleza higroscópica de algunos azúcares, tales como la fructosa, miel, azúcar invertido y jarabe de maíz. La higroscopicidad es la habilidad de una sustancia para absorber el contenido de humedad y retenerlo (4).

Las masas dulces con niveles de azúcar del 20% al 25% (base harina) se tiene que mezclar un 50% más que una masa normal, para mantener un volumen y demás cualidades en el producto terminado. El adecuado desarrollo de la masa durante el mezclado, requiere de mayor trabajo mecánico, ya que la hidratación del gluten sería deficiente (2).

La caramelización comprende la conversión del azúcar en sustancias coloridas mediante una hidrólisis inicial a monosacáridos, seguida por una polimerización a causa del calor, las sustancias coloridas formadas se llaman "caramelos".

3.4.5 Levadura

El proceso de panificación es una interacción altamente compleja de procesos físicos, químicos y bioquímicos, donde el más fundamental es la fermentación, que es iniciado y mantenido por la acción de la levadura. La levadura para productos de panificación está compuesta de células de cepas selectas del microorganismo *Saccharomyces cerevisiae*. La levadura se presenta en diferentes formas comerciales, como crema, comprimida, seca activa y seca instantánea, teniendo cada una sus ventajas e inconvenientes (1,2,3).

La fermentación alcohólica, puede ser definida en términos generales como la conversión enzimática de carbohidratos en etanol, y dióxido de carbono, como productos principales, el proceso se lleva a cabo en condiciones anaeróbicas. Se estima que el 95% de la glucosa es convertido en

etanol y CO_2 , liberando energía en forma de calor. Para el crecimiento y reproducción de la levadura se requieren algunos nutrimentos adicionales, tales como azúcares fermentables, una fuente de nitrógeno (sales de amonio, urea, aminoácidos y amidas), azufre, minerales y muchas de las vitaminas solubles en agua (2).

Físicamente, estos cambios incluyen factores tales como la hidratación, la aireación y la modificación de la plasticidad de la masa, su elasticidad y su extensibilidad. Químicamente, incluyen modificaciones importantes de los carbohidratos, con la producción de alcohol, bióxido de carbono y, en menor escala, otras sustancias relacionadas.

En una masa, la levadura actúa sobre 3.5% (base harina) de carbohidratos fermentables. Esta cantidad debe estar presente en la masa como ingrediente añadido o como resultado de la actividad amilolítica sobre el almidón danado; si se desea alcanzar la aireación apropiada y el crecimiento máximo de la masa.

En la presencia de oxígeno la levadura utilizará el azúcar en la masa para reproducirse. Sin embargo, las actividades metabólicas de la levadura pronto consumen todo el oxígeno disponible en la masa y de esta manera crean condiciones anaeróbicas dentro de la masa. En esta situación, la levadura comenzará a fermentar los azúcares de la masa, produciendo principalmente CO_2 y alcohol, acompañados de solo una cantidad relativamente pequeña de crecimiento celular.

El proceso de fermentación por parte de la levadura produce tres cambios principales en la masa. El primero es la generación de CO_2 , lo cual resulta en un producto ligero y aireado, lo que mejora la comestibilidad de todos los productos leudados con levadura.

En segundo lugar, los subproductos de la fermentación están formados por compuestos saborizantes y precursores del sabor. Estos solamente desarrollarán su potencial saborizante después de transformarse con el calor del horno (2). Las cetonas, aldehídos, alcoholes y ácidos, todos contribuyen al sabor del pan de esta manera. Los productos que no se someten a una fermentación adecuada no producen suficientes de estos compuestos para resultar en productos de buen sabor (4).

Por último, el proceso de fermentación "madura" o "desarrolla" a la masa. Este proceso es complejo y muchos factores contribuyen a él. Algunos de estos factores son la disminución del pH de la masa, cambios en la tensión interfacial de varias fases de masa resultante de la formación de etanol y el trabajo físico de la masa, debido a la expansión de los gases generados y por la acción suavizante de las reacciones reductoras sobre los enlaces disulfuro, de las proteínas, por las enzimas de la levadura (2). Cada uno ayuda a desarrollar la madurez deseada, junto con la hidratación del almidón y de las proteínas.

En resumen, la acción básica de la levadura en productos de fermentación es: la producción de bióxido de carbono (CO_2), que provoca el crecimiento de la masa, el desarrollo o maduración de la masa, y el desarrollo de precursores de sabor. La levadura logra esta acción mediante el rompimiento inicial de los azúcares, como la sacarosa (azúcar no fermentable), por acción de la invertasa, presente en la pared celular de la levadura, formando azúcares fermentables, como la glucosa, fructosa y manosa, los cuales son empleados para formación de dióxido de carbono,

aldehídos y cetonas, los que producen el aroma y sabor característicos del pan, a través de las complejas reacciones que se llevan a cabo dentro de la levadura.

El método más empleado para determinar la calidad de la levadura, es el poder de gasificación, el cual depende de la temperatura, pH, concentración de etanol, naturaleza de los azúcares, presión osmótica, y concentración de la levadura (10)

Las condiciones óptimas de desarrollo de la levadura son: temperatura entre 25 y 38°C, pH entre 4.0 y 6.0, % de etanol entre 3.0 y 20.0%, azúcares menores al 5% y sal menor al 2% (2)

3.4.6 Sal

El cloruro de sodio o sal común es un ingrediente menor en cantidad, pero cualitativamente muy importante. En los productos de fermentación cumple con varias funciones, la más importante, es el mejoramiento del sabor del pan. El sabor de la misma sal no es deseable por lo general, pero es bien sabido que tienen la propiedad de acentuar otros sabores, mejorando el balance de sabores. Los panes en los que se ha omitido la sal, tienen un sabor insípido, el cual no es apto para la venta normal, y solamente se destina para un pequeño grupo de personas que requieren productos libres de sodio.

La sal posee un efecto inhibitorio sobre la fermentación de la levadura, que comienza a niveles de entre el 1.5 al 2.0% (base harina), reflejado en una actividad reducida de levadura y, por tanto, en un menor poder de gasificación (3)

Este efecto se debe a la presión osmótica que ejerce la sal sobre la pared celular de la levadura. El fenómeno se explica de la siguiente manera: La concentración de sal del interior de la célula de levadura tiende a igualarse con la concentración de sal del agua de la masa. Al ser esta mayor, sale agua del interior de la célula de levadura hacia el agua de la masa, deshidratándose la levadura y perdiendo así su poder de gasificación. Esta acción de la sal puede ser deseable en condiciones donde no se tiene un control adecuado de la temperatura, y por tanto se tiene una fermentación errática. La sal previene una acción excesiva de la levadura, especialmente en masas de fermentación prolongada. El efecto de la sal es indeseable cuando se desea una mayor rapidez de fermentación, bajo condiciones controladas de temperatura. La sal tiene también, en cierto grado, un efecto inhibitorio sobre la actividad de otros microorganismos, inhibiendo la acción de las bacterias productoras de ácido (2)

A concentraciones adecuadas, la sal tiene un efecto fortalecedor y endurecedor sobre el gluten de la masa, debido en parte a la inhibición de las proteasas, pero de manera más importante por una interacción directa de la sal con las proteínas de la harina. Este efecto fortalecedor es deseable cuando se tienen aguas muy suaves, o donde se tenga que utilizar harinas con maduración inadecuada. En estas condiciones, el uso de una máxima cantidad de sal ayudará a vencer las posibles dificultades encontradas con masas flojas y pegajosas. La acción astringente de la sal sobre la masa evita su excesiva adherencia, por lo tanto las masas sin sal serán muy flojas, pegajosas y difíciles de maquinar.

A pesar de que el brillo de la corteza generalmente se asocia con azúcares y dextrinas, también es necesaria la sal. En panes donde se ha omitido la sal se observa un aspecto de corteza pálido y poco brillante. La sal tiene un efecto sobre la temperatura a la cual caramelizan los azúcares.

La sal se puede adicionar en 0.5% a 1.0% en la etapa de esponja, reduciendo el tiempo de fermentación, los requerimientos de oxidantes en 5 a 15 ppm, aumentando la velocidad de maduración del gluten, incrementando dramáticamente la tolerancia a la fermentación, mejorando la retención del gas y mejorando substancialmente la calidad del pan. Se emplea como medio de control del desarrollo de la masa, debido a su alta velocidad de disolución, si se adiciona la sal después del levantamiento ("pick-up") de los ingredientes en el mezclado, reduce substancialmente el tiempo requerido para alcanzar el desarrollo óptimo del gluten. El efecto de extender el tiempo de mezclado, hasta en un 80%, es atribuido a la reducción en la capacidad de retención de agua, de las proteínas de la harina y por el efecto inhibitor sobre las enzimas proteolíticas (2,4,5)

3.5 HARINA: FUNCIONALIDAD Y CARACTERIZACION

Las especificaciones de las harinas son, necesariamente, exactas y demandantes. Estas están diseñadas para definir la calidad de la harina a ser usada, y no necesariamente la de los productos terminados hechos de esta harina. Todos los panaderos que compran la harina por una especificación, la evalúan posteriormente en términos del producto terminado (24). El entendimiento y uso de una buena especificación de harina es de la mayor importancia para todos los panaderos. Debemos de recordar algo de suma importancia en la especificación de la harina, esta tendrá que revisarse anualmente en función al comportamiento en calidad, disponibilidad y precio del trigo en los mercados nacionales e internacionales.

Debido a que la harina es el principal ingrediente para el panadero y de la calidad de esta depende grandemente la calidad de los productos finales, y con la tendencia actual de automatización se ve como una gran necesidad el poder contar con materias primas de una calidad alta y consistente la cual requiera de mínimos ajustes durante su procesamiento. Así tenemos que normalmente las especificaciones de las harinas van desde algo tan simple como el % de proteínas, de humedad y de cenizas hasta aquellas que involucran varias pruebas reológicas, microbiológicas, bromatológicas y funcionales. Es por eso que nos enfocaremos en esta sección a la revisión de la funcionalidad, caracterización de la harina, así como a los mejoradores y su legislación.

3.5.1 Harinas empleadas en productos de Panificación

Las harinas de trigo se emplean para la elaboración de una amplia gama de productos de panificación. Cada producto se fabrica de mejor manera a partir de distintos tipos de harina. Los panes, bollos, pasteles, galletas, corteza para pay, todos requieren una harina especial y diferente.

Las harinas panaderas se emplean para la elaboración de productos de fermentación. La harina se muele a partir de trigos duros empleando una sola variedad de trigo, o una mezcla de ellas, para producir una harina con el comportamiento panadero deseado. Los trigos duros se distinguen por un alto contenido de proteínas de buena calidad.

La fabricación de los productos leudados con levadura se basa en la calidad de la proteína de la harina para formar una masa elástica y extensible cuando se mezcla con agua, capaz de retener el CO₂ producido durante la fermentación. Estas proteínas, las formadoras de gluten, deben estar presentes en suficiente cantidad y deben poseer la calidad necesaria para soportar las acciones de mezclado, extensión y contracción, a las que se someten las masas durante la elaboración de pan. El gluten forma una estructura tridimensional (que debe desarrollarse durante el mezclado) en forma de red. Contiene celdillas que atrapan al CO₂ y otros gases leudantes, que tienen la necesidad de expandirse. La estructura del gluten, después de sufrir su última expansión durante el horneo, coagula impartiendo rigidez a los productos horneados.

3.5.2 Composición de la Harina

La harina esta compuesta de:

Proteínas. Las cuales pueden ser solubles y no solubles en agua, de estas últimas son de las que se forma el gluten, que es una proteína compleja formada al adicionar agua y mezclar la harina, el cual contiene cerca del 90% del total de las proteínas. El gluten absorbe cerca de tres veces su peso seco en agua y en gran medida es el responsable de la absorción de la harina, junto con las pentosanas.

Tabla no. 17 Análisis de Gluten Húmedo y Seco.

COMPONENTE	HUMEDO	SECO
AGUA	6.75	0
PROTEINA	26.4	40
ALMIDÓN	5.3	10
GRASA	2.5	6
CENIZA	7.0	3
FIBRA	2.3	1

From: *The Baking Science & Technology*, Second Edition, Company, Third Edition, 1988, Vol. 1-511

El contenido de proteínas de la harina depende de la variedad de trigo que es usado, de la precipitación promedio, de la fertilización del suelo y del área geográfica donde es cultivado el trigo.

La calidad de las proteínas es más importante que la cantidad de las mismas en la harina. Así podemos tener trigo de variedades que tengan alto rendimiento agronomico, alto peso hectolitrico, alto porcentaje de proteínas (como la variedad cheyene) , lo que nos indica excelentes características molineras, pero su comportamiento funcional es el de una harina cuyo gluten es debil. Así tenemos que en algunos casos los proveedores de harina, en cosechas pobres en proteínas, tienen la necesidad de incorporar trigos de alto porcentaje de proteína , aunque esta no sea de buena calidad para favorecer la especificación en cantidad. Y debido a esto el porcentaje de proteína no es un indicador directo de la calidad panadera de una harina.

Por otro lado, para harinas pasteleras se requieren bajos porcentajes de proteínas y además que la proteína sea debil, lo cual es difícil de separar del almidón. Y harinas de proteínas fuertes producen pasteles demasiado duros y ahulados. Y debemos de tener cuidado durante el mezclado, con la finalidad de no desarrollar el gluten presente. Este tipo de harinas es tratada con gas cloro para favorecer el debilitamiento de la proteína y para modificar las características de viscosidad del gel formado por el almidón. El pH es un indicador de la dosificación de cloro.

Cenizas. Los principales minerales presentes en la harina son, el ácido fosfórico, potasio, magnesio, calcio y menor cantidad sodio, hierro, aluminio, azufre, cloro y silicio (2).

Las cenizas representan un índice del refinamiento de la harina, ya que como recordaran la mayoría de los minerales están presentes en las capas del salvado y en la harina representan una

cuarta o quinta parte del contenido de cenizas del trigo. Este índice no es un índice directo de calidad panificable (27).

Harinas del mismo contenido de cenizas, partiendo de la misma mezcla de trigos pueden tener características funcionales diferentes, estas pueden ser elaboradas de la siguiente manera:

Tabla no. 18 Mezclas de Harinas para Obtener 0,45% Cenizas

Harinas empleadas	% Cenizas de cada harina	% Cenizas de la harina final
50% patente corta	0,40%	0,45%
50% patente larga	0,50%	
75% patente corta	0,40%	0,45%
25% primera limpia	0,60%	
90% patente corta	0,40%	0,45%
10% segunda limpia	0,90%	

Canadian International Grains Institute. Grains & Cereals: Handling, Marketing, Processing. (1991). Volumen 6, 1991, P. 1-111

El contenido de cenizas de harinas del mismo grado varía con el año de la cosecha.

Carbohidratos. Estos son celulosa, gomas (3,5-4%) siendo las principales las pentosanas de arabinosa y xilosa, estas son de 15 a 20 veces más viscosas que las soluciones de proteínas, absorben de 10 a 12 veces su peso seco en agua y sirven de enlace entre las proteínas y al almidón por su gran capacidad de retención de agua y por su gran tamaño molecular que genera puentes entre las moléculas (2,3). Azúcares solubles (1-1,5%) como sacarosa, maltosa, dextrosa, levulosa, y algunas dextrinas solubles. Durante el proceso de molienda un número de granulos de almidón son rotos produciendo que estos se solubilizan en agua y sean susceptibles de ataque enzimático. Las harinas que contienen una gran cantidad de almidón dañado resultan en harinas de calidad inferior ya que el exceso de agua captada para el completo desarrollo de la masa es una "absorción falsa" debido a que ésta es liberada en el proceso de horneado produciendo una sobrecarga a la masa generando un colapsamiento del pan si la fuerza del gluten no es la adecuada, viéndose reflejado en una pobre tolerancia a la fermentación o sobremezclado y aunado a esto al tener mayor capacidad fermentativa produciendo esponjas viejas y características de masas sobrefermentadas.

El almidón representa el 70% del peso de la harina, y cuya temperatura de gelatinización es de aproximadamente 60°C, dependiendo de la concentración de sólidos, pH y otros factores. El almidón normalmente está compuesto por un 19-26% de amilosa y un 74-81% de amilopectina (3). El almidón en harinas panaderas no es un indicador de la calidad de la misma, aunque afecta las características de la masa. Los granulos de almidón no dañado no sufre cambios durante la fermentación, sino hasta que la temperatura se incrementa y este se hincha y gelatiniza siendo en este momento susceptible del ataque enzimático, que es el principio de control de la vida de anaquel. El almidón contribuye principalmente a las características internas de los panes. El colapsamiento de panes de alto contenido de gluten puede ser debido a una insuficiente cantidad de almidón que soporte la estructura interna en el proceso de horneado. Y la dosificación de complementos enzimáticos es con la finalidad de modificar el almidón para obtener las características internas del pan.

Grasas. Representa el 1.5-2% del peso de la harina, pueden estar en forma de fosfolípidos, lipoproteínas y glucolípidos. Las grasas influyen notablemente en las características de fuerza de la masas a través de las interacciones presentes entre gluten y grasas (2,3). Además la harina contiene vitaminas en bajas proporciones ya que fueron eliminados en el salvado durante la molinenda y deberán de ser dosificados como complemento nutricional, algunos ácidos orgánicos, pigmentos carotenoides, enzimas proteolíticas, lipasas y las principales las amilasas, que son las responsables en gran medida de la transformación del almidón a bióxido de carbono durante la fermentación.

3.5.3 Caracterización de las Harinas Panaderas

La definición funcional de una harina es la suma de los diferentes análisis físico-químicos, reológicos, enzimáticos y microbiológicos, realizados en el laboratorio, ya que si queremos predecir el funcionamiento de la harina durante el proceso, con un solo análisis disminuye la asertividad, y por lo tanto, se realizan ajustes de formulación y o proceso en forma parcial o errónea. Normalmente en la práctica, los ajustes operativos se realizan por comparación de los análisis de la nueva harina con la que se está empleando y sus condiciones de operación actuales, lo que nos indica cuales podrían ser los cambios necesarios, aunque la manera más adecuada para obtener un resultado más preciso, es realizando una prueba de panificación, primero a nivel laboratorio y posteriormente en la planta.

Con un proceso y formulación conocida y en control, es la manera en que deben realizarse las pruebas comparativas de los mejoradores de harina, ya que de no ser así, no se puede definir el comportamiento de mejora de la calidad de los ingredientes en prueba.

Existen diferentes tipos de análisis para la caracterización de una harina y estos dependen del tipo de harina, por lo que es este trabajo se mencionaran solamente los que son más comúnmente empleados para identificar una harina panadera.

3.5.3.1 Alveográfica

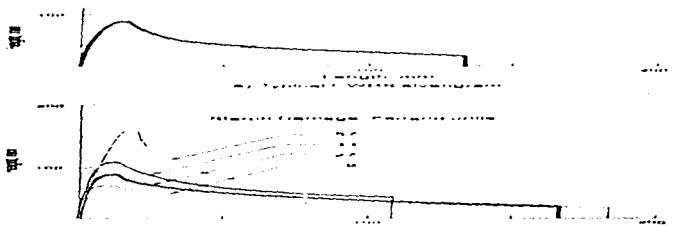
El alveograma es el análisis más empleado en la industria molinera para definir las características funcionales de una harina, ya que se puede predecir con cierto grado de confiabilidad el comportamiento de la harina en un proceso de panificación. Este consiste en la medición de la resistencia a la expansión, elasticidad de una pequeña película de masa hasta su rompimiento (2,9,10,11,13).

El instrumento consta de una mezcladora, un manómetro registrador y la cámara de expansión de la masa. Se colocan 250 g de una harina de humedad conocida en la mezcladora y se arranca el motor de la mezcladora, se comienza a adicionar el volumen necesario de una solución de cloruro de sodio al 2.5% (usando la tabla dada por el proveedor, en base a la humedad de la harina), se mezcla por un período de 7 minutos. Después de esto se abre la compuerta de descarga, cortándose placas de masa, para ser laminadas posteriormente a un espesor constante, y cortadas en forma circular, depositándolas en una platinas previamente engrasadas, se introducen a una cámara de reposo del alveógrafo.

La pieza de masa se coloca en el plato superior del alveógrafo y es introducido el aire de presión constante por el plato inferior, comenzándose a expandir la masa, lo cual es registrado en función del tiempo, en el manómetro, hasta que la película de masa se revienta y el registrador regresa a cero. Este procedimiento se repite con las cuatro o cinco piezas de masa, para obtener un promedio. Es importante que el procedimiento se realice a una temperatura constante de 25 °C.

En la figura no 14 se muestra un alveograma, donde se pueden observar los valores de tenacidad, extensibilidad y fuerza de la harina, así como el efecto del % de almidón dañado (11)

Figura no.14 Alveograma de una Harina y el Efecto del Porcentaje de Almidón Dañado.



Preston, K. R. y Deuter, J. B. Effects of Starch Damage and Water Absorption on the Alveograph Properties of Canadian Hard Red Spring Wheats. Canadian Journal of Plant Science and Technology, Vol. 20, No. 3, 1947, Pag. 75-80

Los valores óptimos para una harina panadera empleada a nivel industrial es de:

Fuerza W = 300 Míximo y
Tenacidad-Extensibilidad P/G entre 3 y 5

valores inferiores de fuerza tienen como consecuencia una masa de pobre tolerancia al mezclado y un pan de poco volumen, con un grano denso y grisáceo. Por otro lado una relación P/G mayor a 5 da por resultado una masa difícil de desarrollar y por lo tanto un pan de bajo volumen, con lo que esto conlleva en la miga. Existen diferentes tipos de harinas que tienen valores superiores e inferiores en los dos parámetros, y que se deben de ajustar en el proceso de formas diferentes, así una harina débil, o sea de fuerza menor a 300, se deberá de adicionar de gluten, reforzadores, oxidantes, disminuir el trabajo mecánico o bioquímico, o fermentar por menos tiempo. Si por el contrario tenemos una harina muy fuerte, esta deberá, dependiendo de la fuerza y de los demás análisis, de ser adicionada de reductores, fermentarse por más tiempo o mezclarse más intensamente.

En México, este análisis es la base de los panaderos, aunque realmente no es el mejor análisis reológico, para determinar el comportamiento de una harina elaborada de trigos muy fuertes y de alta absorción, por el efecto del 7 de almidón dañado.

3.5.3.2 Farinográfica

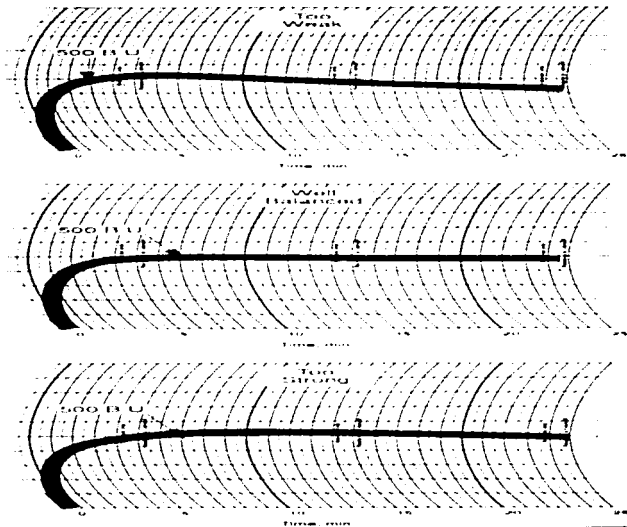
El farinógrafo de Brabender, es ampliamente aceptado por los diferentes laboratorios de cereales en el mundo. El aparato consta de un termostato, una mezcladora de alta velocidad encaquetada, la cual registra a través de un dinamómetro oscilatorio, la resistencia de la masa, la que es graficada en un registrador mecánico, de donde es leída la calidad de la harina (8,9,10,13).

La harina y los ingredientes se adicionan a la mezcladora, encendiéndose y adicionándose el agua rápidamente, hasta que la gráfica es centrada en la línea de los 500 BU. A la cantidad de agua necesaria para desarrollar la masa hasta la línea media, es conocida como **% de Absorción**, una masa falta de absorción estará por encima de la línea de los 500 BU y por el contrario una masa excedida de absorción no llegará a dicha línea de referencia.

Otro de los datos obtenidos de la gráfica son **Tiempo de llegada**, es el tiempo que tarda en llegar la gráfica a la línea de los 500 BU. **Tiempo de salida**, es el tiempo en que la curva deja la línea de los 500 BU. **Estrabilidad**, es la diferencia entre el tiempo de salida menos el tiempo de entrada, y es uno de los principales parámetros de calidad de una harina panadera, ya que nos indica la "tolerancia" de la masa a falta o sobremezclados, sin afectar en gran medida la calidad del producto terminado. **Tiempo de desarrollo máximo**, que es el tiempo en donde la harina alcanza el máximo de consistencia de la masa, lo cual nos indica la fuerza relativa de la harina o la calidad de la proteína, así harinas fuertes requieren de más tiempo de mezclado. **Índice de Tolerancia al Mezclado ITM**, está representado por la diferencia en unidades Brabender entre el máximo de la gráfica del tiempo de desarrollo máximo y el máximo de la gráfica 5 minutos después, y es otro indicador de los requerimientos de mezclado.

Las harinas panaderas deben poseer una buena tolerancia, sobre todo al mezclado y a la fermentación. Deben poder soportar un ligero sobremezclado y, con un pequeño exceso de fermentación, las masas no deben volverse demasiado flojas o pegajosas. La tolerancia de las harinas está relacionada con la calidad del gluten. En la figura no 15 se presentan tres curvas farinográficas típicas de harinas débiles, bien balanceadas y muy fuertes.

Figura no.15 Farinograma de una Harina Debil, una Bien Balanceada y una Muy Fuerte.



Source: W. D. Keith, H. J. The Amylograph Handbook. American Association of Cereal Chemists, 1960. Printing, 1960.

La absorción se define como "la cantidad de agua, expresada en porcentaje base harina, necesaria para obtener una masa de consistencia óptima, con buenas propiedades de manejo y que resulte en el mejor producto"

La absorción de las harinas panaderas es un factor de calidad muy importante. Siempre se desean los valores superiores de absorción. De esta manera, aumenta el rendimiento de la masa y también se ejerce una acción favorable sobre la vida de anaquel de los productos. La absorción de las harinas depende en gran parte de su contenido proteico. Sin embargo, la calidad de las proteínas también afecta a la absorción. Esto explica el por que dos harinas con el mismo contenido proteico no presenta el mismo valor de absorción óptimo (8,10).

3.5.3.3 Enzimática

La determinación de la actividad diastásica de la harina es un índice de la cantidad de amilasas presentes en la harina. Las amilasas actúan sobre los granulos del almidón dañado (durante la fermentación de las esponjas) y sobre los granulos de almidón gelatinizados (durante el horneado), brindando a la levadura suficiente cantidad del azúcar fermentable maltosa, para sostener una vigorosa actividad durante las etapas de proceso señaladas. La mayoría de las harinas son deficientes en la actividad de la alfa-amilasa, enzima que provee a la beta amilasa de suficientes sitios donde actuar para la formación de maltosa (10).

Existen diferentes métodos de análisis, como la Actividad diastásica, reportada como mg de maltosa producidas por 10 g de harina en 1 hora a 30 °C. Este método es complejo y tardado, por lo cual se han diseñado métodos más rápidos.

"Número de Caída" o "Falling Number", es un método autolítico, que emplea un instrumento de fácil manejo y donde se obtiene una respuesta en pocos minutos, de alta reproducibilidad. Está basado en la gelatinización del almidón por un incremento de la temperatura y la licuefacción del mismo por acción de la alfa amilasa. La actividad enzimática está expresada en términos del número de caída, el cual es el tiempo en segundos que requiere la enzima en licuar la suspensión de almidón, gelatinizada por el aumento de temperatura, lo cual se observa al caer el agitador de la parte superior del gel de almidón (2,10).

El instrumento consta de un baño de agua hirviendo, un agitador con su respectivo motor, controles electrónicos, para garantizar la agitación uniforme, y un registrador de tiempo. Todos los elementos están electrónicamente interconectados. Además cuenta con tubos de ensayo y un agitador de acero inoxidable que embona perfectamente en el tubo.

Se emplean 7 gramos de harina, los cuales se colocan en el tubo con 25 ml. de agua destilada, agitándose hasta obtener una suspensión uniforme. El agitador es colocado dentro del tubo y el tubo es introducido en el baño de agua hirviendo. El reloj es automáticamente activado, después de 5 segundos, comienza la agitación vertical, por 55 segundos, a razón de 2 agitaciones por segundo. Al final de los 90 segundos, el agitador es liberado en la parte superior de la suspensión de agua y harina. Cuando el agitador está completamente abajo, se detiene automáticamente el reloj, registrando los segundos.

Harinas panaderas con una buena actividad diastásica tienen valores de Falling number de 220 a 250 segundos, un valor mayor a 400 segundos indica una deficiente actividad diastásica, por lo que será necesario la adición de un complemento enzimático, como puede ser malta o directamente una alfa-amilasa (con el inconveniente de no poder ser detectadas estas enzimas termolábiles, por el método tradicional del Falling Number, requiriendo emplear el método modificado), por el contrario una harina sobremaltada o proveniente de un trigo altamente germinado, nos dará valores menores, siendo esto motivo de rechazo de la harina, por no poder ser ajustado el proceso ni la formulación, debido a los grandes problemas que una harina de este tipo ocasiona en el proceso.

Otro método para determinar actividad enzimática es el empleo de **Visco-amilógrafo**, el cual basa su funcionamiento en la determinación de la viscosidad de una solución de harina, bajo un incremento constante de la temperatura. La viscosidad tiende a aumentar conforme el almidón de la harina se gelatiniza con el incremento de temperatura, hasta que es contrarrestado por la licuefacción del almidón debido a la actividad de la alta amilasa. La altura máxima registrada por la curva es tomada como un índice de la actividad enzimática.

El instrumento es básicamente un registrador, un viscosímetro, una taza rotatoria de 500 ml de capacidad, y donde es colocada una suspensión de harina o almidón, para su calentamiento constante de 1.5 C/minuto. La taza tiene 8 elementos metálicos tipo verticalmente y rota a 75 rpm, estos elementos son contrarrestados por 7 elementos suspendidos del sensor superior, los cuales están introducidos en la suspensión. El sensor está conectado a través de un sistema de medición muy preciso a la pluma del graficador. El calentamiento es generado por un elemento térmico que rodea la taza y la temperatura es controlada por un termorregulador inmerso en la muestra.

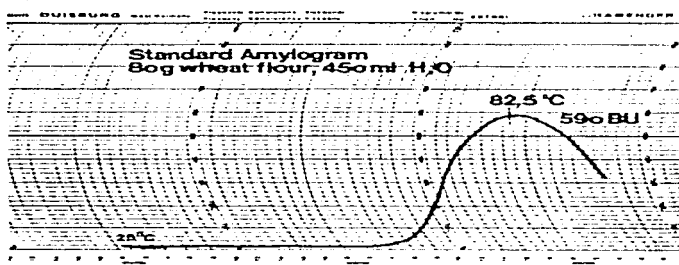
Se colocan de 40 a 50 gramos de harina en 400 a 450 ml de solución amortiguadora (hecha de Fosfato disódico y ácido cítrico), dicha suspensión se coloca en la taza. Se enciende el aparato, incrementado la temperatura hasta 95 C y manteniéndose constante, al mismo tiempo la taza comienza a girar y la fuerza de la suspensión de harina es transmitida al elemento sensor. El torque producido es transmitido a la pluma del registrador, trazando la curva en el papel en movimiento a una velocidad de 5 mm/min.

De la curva del amilograma, podemos interpretar la temperatura a la cual el almidón comienza a hincharse, lo cual tiene una correlación entre la temperatura de gelatinización y las características de la miga del pan, así una pobre calidad de la miga coincide con un tiempo tardío de gelatinización, debido presumiblemente a una mayor degradación del almidón por la alta amilasa, durante la primera fase de horneado y un temprano hinchamiento del almidón.

La altura de la curva en el pico de viscosidad es un importante indicador de la calidad de la miga. Una altura excesiva de la curva nos indica una actividad inadecuada de la alta amilasa, resultando en una miga con un rápido envejecimiento. Por el contrario una altura pequeña de la curva nos indica una excesiva actividad enzimática, lo que se traduce en una miga húmeda y chistosa. El valor óptimo se encuentra en la parte media de la curva.

La Figura no 16 muestra un Viscoamilograma de una harina donde se puede observar que el pico máximo de la curva se encuentra cercano a las 500 Unidades Brabender, lo que nos indica una harina con una correcta actividad enzimática.

Figura no.16 Viscoamilograma de una Harina con Buena Actividad Enzimática.



From *Baking Science & Technology*, Second Edition, Vol. 1, Chap. 11, p. 111

3.5.3.4 Físico-química

Se mencionarán brevemente los métodos físico-químicos y su significado y correlación con la funcionalidad y calidad del producto, sin entrar en detalle sobre las técnicas (10,13,34).

Porcentaje de Humedad o de Sólidos. Es la cantidad de agua presente en la harina, obtenida por diferencia de peso entre la muestra inicial y la muestra seca, representada en porcentaje, siendo el porcentaje de sólidos la diferencia de 100% y el porcentaje de humedad. Uno de los procedimientos más simples consiste en exponer la harina al calor de una lámpara de luz infrarroja, empleando una balanza de humedad, en otros se seca la muestra en un horno. Este análisis representa una medida de orden económico, ya que se debe pagar en base a la máxima cantidad de sólidos, además representa un factor de conservación, ya que a valores superiores de 14.5% de humedad se favorece el crecimiento microbiano por aumento de la actividad de agua. Existe una correlación entre el porcentaje de humedad y la actividad del agua, un 14% de humedad nos representa una segunda monocapa que equivale a aproximadamente A_w de 0.7, arriba del cual aumenta el crecimiento de hongos y levaduras.

Porcentaje de Cenizas. Es la cantidad de minerales presentes en la muestra, obtenida de la diferencia de peso entre una muestra y los residuos no orgánicos, obtenidos por la calcinación de la muestra, sin la volatilización de los compuestos orgánicos, reportándose el resultado en porcentaje, esto se obtiene por la incineración de la muestra en una mufla eléctrica a una temperatura entre 550 a 590 °C. El porcentaje de cenizas nos representa una medida del grado de extracción de la harina y no un indicador directo de la calidad de la harina, debido a que como se revisó con anterioridad, se pueden obtener diferentes harinas con el mismo porcentaje de cenizas, con una funcionalidad muy

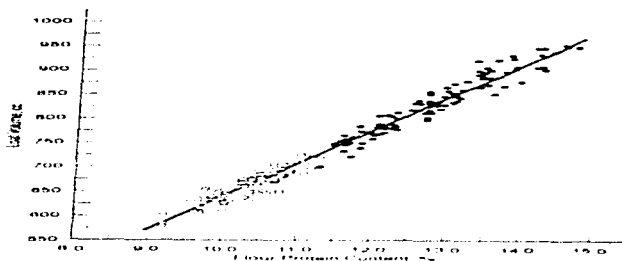
diferente, por lo que es necesario revisar los demás análisis antes de tomar una decisión funcional de la harina.

Las cenizas representan la mayoría de los minerales, obtenidos por la planta de trigo desde el suelo. Los minerales no se distribuyen uniformemente en el grano de trigo. La porción de endosperma muestra una mucho menor concentración que la del salvado. Por lo tanto, la determinación de cenizas sirve como un indicador útil de la separación de las distintas fracciones del grano, obtenido durante la molienda.

Porcentaje de Proteínas. Las proteínas de la harina de trigo, gracias a la formación del gluten, le imparten a la harina su característica única de formar una masa, que retendrá los gases desprendidos durante la fermentación y que, después del horneado, producirá un pan ligero y aireado. El contenido de proteínas es vital por su alta correlación con propiedades funcionales de la harina, como la absorción de agua, requerimientos de mezclado y su tolerancia, requerimientos de oxidación, características de manejo de masa y la calidad de la miga. Normalmente se determina por el procedimiento de Kjeldahl, el cual consiste en la digestión de la muestra en ácido sulfúrico y otros reactivos, hasta que el nitrógeno es reducido a sulfato de amonio, entonces se adiciona hidróxido de sodio concentrado para liberar el amoníaco, el cual es destilado en un volumen medido de ácido, seguido de una titulación, el contenido de proteínas es calculado por la multiplicación del contenido de nitrógeno por el factor de 5.7, el cual es basado en asumir que el contenido de una combinación de trigos es de 17.5% (100 17.5 = 5.7). Este procedimiento nos da solamente un indicador de la cantidad de proteínas presentes en la harina, y no un indicador de su calidad, por lo que es necesario relacionarlo, con los indicadores reológicos.

Existe una relación entre el porcentaje de proteínas y el volumen final del producto, como lo podemos observar en la figura no 17, por lo que normalmente se compra el trigo por porcentaje de proteínas dependiendo del tipo de producto que se pretende elaborar y las características finales de volumen, o bien para realizar las mezclas adecuadas de trigo buscando optimizar el volumen del producto, dependiendo de los precios del trigo y los premios pagados por un mayor porcentaje de proteínas.

Figura no.17 Correlación del Porcentaje de Proteínas y el Volumen del Pan.



Canadian International Grains Institute. Grains & Oilseeds: Handling, Marketing, Processing. C I G I. Fourth Edition, 1993. Vol. 1 y II

% Almidón dañado Es la cantidad de granulos de almidon que fueron dañados durante la molienda y nos da un indicador de la verdadera absorcion de la harina y de que se puede tener una fermentacion suave o vigorosa y ademas de un posible colapsamiento del pan a la salida de la cámara de fermentacion o durante el horneo, por un exceso de este parametro. Este depende directamente del grado de dureza del trigo.

Sedimentación. El acido lactico produce un efecto dilatador en el gluten, y la magnitud del hinchamiento nos provee de un indicador de la calidad del gluten. Asi tenemos que harinas con proteinas fuertes tienen una mayor viscosidad que las harinas debiles, esto se ha correlacionado fuertemente con la prueba de panificación. Es colocada una muestra de 4 gramos de harina en un tubo graduado de 100 ml con tapa, se adicionan 50 ml de agua destilada y 2.5 ml de acido lactico diluido, se mezcla el contenido por agitacion del tubo (previamente tapado) invirtiendo por 10 veces y leyendo el volumen de sedimentacion de la harina despues de 5 minutos, que es el tiempo en que se obtiene el maximo hinchamiento de las proteinas.

El valor de sedimentacion depende de la cantidad de proteinas y de la calidad del gluten. Valores de sedimentacion superiores a 55 ml indican una excelente calidad panificable de la harina y valores menores de 20 ml son indicadores de una pobre calidad de la harina.

Existen muchos otros metodos, empleados para determinar la calidad de la harina tales como el Mixografo, Reografo, Consistometro, Misatron, Estensometro, Maturografo, Reflectancia, Fermentografo, Glutomatic, Gasografo, etc, todos y cada uno nos dan indicadores parciales de la calidad de la harina, y se usan dependiendo principalmente de si es una institucion de investigacion, un molino, o una industria de panificacion (2,9,10)

3.5.3.5 Prueba de Panificación

Se obtiene información útil y adecuada de los análisis físico-químicos, reológicos, enzimáticos, pero la prueba de panificación es el índice más adecuado para predecir un comportamiento funcional de la harina durante la producción. Normalmente se realiza bajo condiciones controladas de formulación y proceso, para poderlo hacer reproducible, y tiene el objetivo de medir el volumen de la hogaza y las características potenciales de la miga.

Existen dos métodos aprobados por la AACCC (American Association of Cereal Chemistry) (10), basados en el proceso de masa directa y de esponja-masa, aunque algunas industrias a nivel mundial simulan las condiciones normales de su proceso, para determinar la funcionalidad de una harina. Lo fundamental de esta prueba es el mantener constantes las variables de formulación y proceso, tales como tiempos de mezclado, de fermentación de horno y entramiento, así como las temperaturas y humedades relativas.

Normalmente se mide el volumen del pan por el método de desplazamiento de semillas de mostaza, por comparación de un volumen conocido, y las características de la miga se evalúan por un panel de expertos, o bien en la actualidad por un sistema de "scanner" conectado a una computadora personal, para determinar el tamaño de las células y el grosor de las paredes de los granos, así como su distribución y uniformidad.

A continuación se presenta la tabla no 19, donde se evalúa, por expertos de un molino Estadounidense, la calidad de las harinas en base a la calidad del pan, se presenta el porcentaje del pan en cada nivel de calidad, observándose una disminución progresiva de la calidad con respecto al tiempo.

Tabla no. 19 Calificación de Calidad de Harinas por Evaluación de Producto terminado, Cargill Milling

Año	75	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
AA10	2.4											
A9	24.4	12.0	1.8									
A8	53.0	70.6	57.9	37.6	24.5	14.1	1.8	0.2				
A7	16.0	12.0	30.2	42.0	54.5	64.0	52.9	38.5	29.6	14.5	7.2	0.7
B6	2.4	4.2	8.9	16.9	18.4	21.9	39.9	44.5	33.9	44.5	34.1	32.1
B5	0.9	1.2	2.2	2.6	1.6	1.1	4.6	14.8	22.9	33.5	33.8	52.1
B4	0.4		1.8	0.3			0.6	1.7	3.6	6.5	12.5	14.5
C3	0.5			0.6			0.2	0.3		1.0	2.4	0.7
C2												
C1												

3.5.4 Almacenamiento y Respiración de la Harina

La harina recién molida que no ha sido madurada químicamente generalmente producirá un pan de menor volumen, textura y grano. Al mismo tiempo las harinas químicamente maduras, y las harinas recién molidas producirán un pan aceptable. Cuando estas últimas son usadas dentro de los

cinco primeros días después de la molienda, el pan mostrará características que son indicativo de una pérdida de la elasticidad adecuada de la masa.

La fase crítica en el almacenamiento es el comienzo de la respiración de la harina, la cual también es conocido como "sudar", durante el cual toman lugar todos aquellos cambios bioquímicos y oxidativos propios de la maduración de la harina. Este sudor comienza normalmente después del cuarto o quinto día de la molienda de la harina y generalmente dura tres semanas.

Una harina en la etapa de maduración no es oportuno emplearla para la panificación, ya que no se tiene una certeza en el comportamiento de esta durante la fermentación (12). Así, que mientras que un panadero puede procesar exitosamente harina recién molida o "caliente", otro podrá tener problemas operativos con la misma harina.

El uso de harina recién molida dependerá en gran medida de la cercanía del molino y de las existencias que se pueden manejar, desde los puntos de vista físicos y financiero, en ambas partes, dando una situación demastado inestable y factible de sufrir errores que pueden ocasionar graves consecuencias en el abasto y la calidad del pan.

La conservación de la calidad de la harina durante su almacenamiento es influida grandemente por el contenido de humedad. La harina al ser altamente higroscópica, causa fluctuaciones en su contenido de humedad, cuando existen variaciones en las condiciones climatológicas, principalmente cuando es almacenada en bultos.

La harina normalmente pierde humedad cuando es almacenada en humedades relativas menores del 60%. Y aunque la humedad es reabsorbida en condiciones de alta humedad, no todas las pérdidas son normalmente recuperadas (2,3,12).

El mejoramiento progresivo de la calidad de la harina con respecto al tiempo varía con la variedad del trigo y el tipo de la harina. Así el primer deterioro en la calidad de la harina (etapa de sudor) es seguido por una etapa de mejores características de calidad y esta a su vez es seguida por una segunda etapa de deterioro, la cual es debida a la contaminación por hongos y bacterias. Una periodicidad similar es observada en casi todas las características de calidad de la harina. La intensidad y velocidad de estos cambios varía con los diferentes grados de harinas y normalmente ocurren más rápidamente y duran más tiempo conforme se aumenta el contenido de humedad de la harina.

La interrelación entre el gluten y algunos compuestos grasos son los que nos dan las características finales de fuerza en la masa, así que durante la maduración de la harina se presentan cambios estructurales en las grasas oxidándose el ácido linoleico (grasa no saturada), y presentándose ácidos grasos libres, afectando negativamente la calidad del gluten (2).

Otro factor que afecta la maduración de la harina es la temperatura, y a medida que es menor, los cambios en las harinas disminuyen. Se ha observado que la velocidad de hidratación del gluten entre pH de 4 a 7 es afectada por el envejecimiento.

3.6 MEJORADORES DE LA CALIDAD DE LA HARINA

3.6.1 Empleo de mejoradores para estandarizar la calidad de la harina

Como se observa en la tabla no 19, al paso del tiempo ha venido disminuyendo la calidad panificable de los trigos americanos, lo que ha dado como consecuencia una mayor investigación sobre el uso de mejoradores de la calidad de la harina, para subsanar la deficiencia intrínseca del trigo. En esto se basa el presente estudio, para poder sugerir algunas alternativas en el uso de mejoradores de harina con la finalidad de estandarizar su calidad y así poder abastecer a la industria de la panificación de un ingrediente con las mínimas variaciones posibles de proceso y/o formulación. A continuación se presentan los mejoradores normalmente empleados en la industria de la panificación, así como algunos que se encuentran en fase de desarrollo experimental, y que en futuro muy cercano se emplearán en forma cotidiana.

3.6.1.1 Gluten de Trigo Vital

El gluten de trigo es la forma más natural de estandarizar la cantidad de proteínas presentes en la harina, así como de reforzar la calidad de una harina de pobres cualidades panificables. Obviamente la calidad del gluten depende directamente de la calidad del trigo de donde provenga, cabe recordar que la calidad del gluten empleado es de vital importancia ya que la dosificación de un gluten que no cubra la calidad funcional a pesar de tener el nivel de proteína en lugar de proveer un beneficio a la calidad de la harina y por consiguiente a la del pan, nos ocasiona problemas de una falsa absorción que se convierte en un peso adicional a la formulación ocasionando esto un posible colapsamiento del producto.

Aproximadamente el 80% de la proteína de trigo, está formada por un grupo complejo de proteínas no solubles del cual la gliadina y la glutenina son las más abundantes. Este grupo de proteínas forma el gluten y es responsable de la típica estructura de celdas de la masa (2,3).

En la elaboración del gluten de trigo vital, la proteína de la harina se separa del almidón mediante el amasado de la harina de trigo con agua. Las harinas de buena calidad se mezclan para formar masas flojas y acuosas, que contienen de 80 a 90 kilogramos de agua por 100 kg. de harina. Después de hidratar uniformemente la harina, la masa se lava y amasa en varias ocasiones con agua adicional. El gluten permanece como una masa dura parecida al hule y se decanta el almidón junto con el agua en exceso. Las harinas promedio producen alrededor de 15 kg. de gluten y 50 kg. de almidón por cada 100 kg. de harina. El resto de la harina permanece en el agua de lavado como pequeños granulos solubles de almidón y salvado. En este momento, el gluten contiene más o menos 30 partes de gluten por 70 partes de agua. El gluten al igual que otras proteínas se desnaturaliza fácilmente por el calor, particularmente en presencia de grandes cantidades de agua, de manera que se tiene que mantener un cuidadoso proceso de secado para mantener su vitalidad (31).

Debido a que el gluten de trigo es en gran parte responsable de la estructura en el sistema de la masa, el gluten de trigo vital se usa para complementar a la proteína natural del trigo, cuando se necesita fuerza adicional. Por ejemplo, en masas dulces la proteína de la harina debe soportar un alto nivel de manteca y azúcar, y el gluten de trigo aporta la fuerza requerida. En panes de variedad, los ingredientes que no son harina diluyen la harina de trigo a un grado tal que el gluten no puede funcionar satisfactoriamente a menos de complementarse con el gluten de trigo vital. A continuación se presenta una tabla para el ajuste del porcentaje de proteínas de una harina, mediante la dosificación de gluten de trigo vital.

Tabla no. 20 Carta de uso de Gluten de Trigo para Incrementar el Contenido de Proteínas de Harinas Ordinarias.

% Actual	% de Proteína Deseado										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
6	1.35	2.74	4.17	5.64	7.15	8.70	10.29	11.92	13.59	15.30	17.05
7		1.37	2.78	4.23	5.72	7.25	8.82	10.43	12.08	13.77	15.50
8			1.39	2.82	4.29	5.80	7.35	8.94	10.57	12.24	13.95
9				1.41	2.86	4.35	5.88	7.45	9.06	10.71	12.40
10					1.43	2.90	4.41	5.96	7.55	9.18	10.85
11						1.45	2.94	4.47	6.04	7.66	9.30
12							1.47	2.98	4.63	6.12	7.75
13								1.49	3.02	4.59	6.20
14									1.51	3.06	4.65
15										1.53	3.10
16											1.55

U.S. Grain Processing Company, Inc., Grams & Ounces, Baking, Marketing, Processing © 1971, 1976, 1979, Vol. 1-10

Para incrementar el contenido de proteína de una harina de cualquier nivel mostrado en la primer columna de la izquierda a cualquier nivel mostrado en la primer final, se deberá adicionar la cantidad de gluten (en libras) que aparece en la intersección de la fila (% actual de proteína en la harina) con la columna (% proteína deseado) a 100 lb de harina. Por ejemplo si tenemos una harina con un 10% de proteína y deseamos una harina con 12% deberá adicionarse 2.90 lb por cada 100 lb de harina (1).

En la producción industrial de pan blanco, el gluten de trigo vital es benéfico al constituir paredes laterales más fuertes y prevenir que el pan horneado se colapse. Como guía en estas aplicaciones, la adición de 1% de gluten de trigo vital (porcentaje panadero) a una fórmula incrementa el contenido proteico de la mezcla harina-gluten en un 0.6%. Además, al agregar un kg. de gluten a 100 kg. de harina que contiene 12% de proteína, se produce una mezcla de 12.6% de proteína. A continuación se presentan los usos típicos del gluten de trigo vital.

Tabla no. 21 Porcentajes de uso de Gluten de Trigo Vital en Diferentes Productos

PRODUCTO	DE GLUTEN VITAL (Porcentaje Panificable)
Bollería	1-2
Pan de caña	1-2
Panes negro y de centeno	1-4
Panes dulces	1-2
Panes con fibra (fibras naturales de grano)	4-7
Panes franceses e italianos	1-2

Primeros y Wheat Chemistry and Technology, Second Edition, International Edition, 1988, Vol. 1, 11

Recordemos que el precio del trigo y sus productos varían en base a su calidad y la cantidad disponible en las diferentes cosechas, por este motivo el precio del gluten varía al unísono que el de la harina, lo que no lo hace muy atractivo, cuando es necesario mejorar la calidad de la harina, ya que si es un año con pobre calidad panificable, el gluten tendrá un alto precio en el mercado.

3.6.1.2 Oxidantes.

Los oxidantes son compuestos aprobados por la Food and Drug Administration, los cuales tienen un beneficio en la funcionalidad de la harina durante el proceso de panificación, ya que refuerzan la estructura molecular del gluten debido a la oxidación de los grupos sulfhidrilo convirtiéndolos en enlaces disulfuro (2,3,5,20,25,29,30,33). El efecto global de los oxidantes es esencialmente un mejoramiento en las características físicas de las masas de fermentación, que resulta en un pan con mayor volumen, grano más fino, textura más suave y una mejor simetría. Los oxidantes se clasifican en base a su velocidad de reacción según la tabla no 22 en:

Tabla no. 22 Niveles Permitidos de Oxidantes y su Velocidad de Reacción

Oxidante	Nivel Máximo permitido (ppm)	Velocidad de Reacción	Etapas de funcionamiento
Bromato de Potasio	75	Lenta	Horneo
Iodato de Potasio	75	Rápida	Mezclado/Cámara de Vapor
Bromato de Calcio	75	Lenta	Horneo
Iodato de Calcio	75	Rápida	Mezclado/Cámara de Vapor
Peróxido de Calcio	75	Rápida	Mezclado/Cámara de Vapor
Azodicarbonamida	45	Rápida	Mezclado/Cámara de Vapor
Ácido Ascórbico	Sin restricción	Intermedia	Mezclado/Cámara de Vapor

Primeros, L. J. Baking Science & Technology, Sponand Publishing Company, Third Edition, 1988, Vol. 1, 11

La diferencia en la velocidad de reacción de los oxidantes, es debida a la temperatura de solubilización de los compuestos, y esto tiene como efecto que los diferentes oxidantes, reaccionan en diferentes etapas del proceso de panificación.

La funcionalidad de todos los oxidantes es la de reforzar la estructura molecular del gluten, mediante la oxidación de los grupos thiol, convirtiéndolos en enlaces disulfuro, y sus efectos son diferentes por la diferente etapa donde reaccionan. Deberá seleccionarse el agente oxidante más apropiado para los diferentes tipos de harina, las diversas prácticas de mezclado y fermentación, así como variaciones en el abastecimiento del agua.

3.6.1.2.1 Bromato de Potasio

Es un agente oxidante de acción relativamente lenta. Los principales efectos mejoradores sobre las masas, los ejerce durante las últimas etapas del procesamiento. Fortalece a las masas durante los últimos momentos del periodo de prueba final y durante los primeros minutos de horneo, de aquí su gran importancia como reforzador de la calidad de la harina y aunado a esto su bajo precio lo hace uno de los mejoradores más utilizados en la industria de la panificación a nivel mundial, aunque debido a las investigaciones recientes algunos países europeos así como Canadá y el estado de California en Estados Unidos, han dejado de utilizarlo, tratándolo de sustituir por alguna otra alternativa, existiendo actualmente muchas mezclas de otros oxidantes con enzimas o con ciertos recubrimientos grasos, pero ninguno con la misma relación costo-beneficio (20,25,29,30,33,40).

La acción tardía del bromato se debe a que el bromato produce una oxidación óptima cuando el pH de la masa ha alcanzado un valor de aproximadamente 5.0 y cuando la temperatura de la misma es superior a 40 °C. Ambas condiciones se presentan en las etapas del proceso antes mencionadas.

La acción mejoradora del bromato es muy deseable en las últimas etapas del proceso, donde se acentúa el abuso que han sufrido las masas, y mucho más dentro de la industria, donde los transportadores tienen un constante efecto de debilitamiento de la masa. Es en estos momentos cuando las masas se encuentran más debilitadas y requieren de un efecto fortalecedor para evitar su colapsamiento. El efecto fortalecedor del bromato es muy necesario para sostener el incremento súbito de volumen, que sufre la masa durante el jalón en el horno. Las masas elaboradas con harinas inadecuadamente oxidadas poseen una estructura de gluten relativamente débil, por lo que sus celdillas tienden a romperse en un mayor grado y producir un pan con grandes celdillas o grano abierto. Las harinas adecuadamente oxidadas, poseen un gluten fuerte que soporta mejor esta etapa, sin mucho colapsamiento de las celdillas de gas. Tales harinas producen pan de celdillas muy finas, alargadas y una textura sedosa.

3.6.1.2.2 Iodato de Potasio

Es un agente oxidante de acción muy rápida. Después de mezclar una masa bajo condiciones normales, ya no se podrá detectar iodato residual. Esta acción temprana provoca el notable incremento en la retención de gas que sufren las esponjas elaboradas con alimento de levadura, que contenga yodato como oxidante. Las esponjas resultantes alcanzan un mayor volumen y son más

"vivas". El efecto oxidante se presenta tempranamente durante la fermentación, donde ayuda a establecer un patrón básico del grano, que resultara finalmente en una estructura de miga más fina y uniforme que la obtenida solamente con el uso de bromato (2).

El empleo de iodato de calcio ha aminorado un poco este problema. Contiene una mayor cantidad de oxígeno por molécula y tiene una rapidez en disolución más lenta, de manera que libera oxígeno más lentamente en la masa. La disipación temprana de la acción oxidante del iodato (debido a que tiene un efecto muy rápido), produce masas que en etapas posteriores del proceso estarán desprovistas, de la resistencia necesaria al abuso mecánico.

El iodato de potasio también se emplea para masas en procesos continuos. El desarrollo de la masa se lleva a cabo en cámaras cerradas en ausencia de aire. Durante el mezclado convencional de masas, el oxígeno del aire produce una oxidación benéfica, necesaria para el desarrollo de la masa, y provocada por la oxidación de los grupos tiol o sulfhidrilo, que en sistemas de mezclado continuo debe aportar el iodato con su rápida acción oxidante.

3.6.1.2.3 Peróxido de calcio

Ejerce un efecto diferente sobre las propiedades de la masa al de los otros tipos de oxidantes. Su reacción en la masa al parecer también es diferente. Se incluye en la masa, en vez de en las esponjas. Reacciona rápidamente, fortaleciendo al gluten y produciendo masas más secas, suaves y maquinables. Permite así un incremento en la absorción y una reducción en la cantidad de harina de polveo durante el maquinado. El peróxido de calcio no puede emplearse en prefermentos, ya que comienza a reaccionar al tener contacto con la humedad y su actividad se terminaría antes de que se llegara a mezclar la masa, aunque se puede usar con algún recubrimiento, que permita que reaccione durante el mezclado (2,25,30,39).

El peróxido de calcio puede emplearse ventajosamente en productos de hojlería, donde las masas deben ser más flojas que las de pan.

3.6.1.2.4 Azodicarbonamida (ADA)

Inicialmente se adicionaba a las harinas, únicamente como madurador de la harina, y actualmente también es empleada como agente oxidante de las masas. Es un oxidante de acción rápida, que en este aspecto se parece al iodato, pero su actividad prevalece durante un mayor lapso de tiempo. Cuando el ADA sustituye al iodato en sistemas de mezclado continuo, disminuye los requerimientos de mezclado de la masa actualmente, con la finalidad de obtener un pan más suave, se han probado algunas mezclas de ADA con enzimas y peróxido de calcio. Esto ayuda a desaparecer los bromatos de fórmula y nos trae como consecuencia que las masas resultantes presenten una gran tolerancia a los "golpes mecánicos" cuando la masa ya ha sido leudada, a la salida de la cámara, momento más crítico del proceso (2,25,30,39).

3.6.1.2.5 Ácido Ascórbico

El ácido ascórbico es un agente reductor (como lo son la L-Cisteína o el Glutatión) cuando se adiciona a las harinas que serán empleadas en sistemas continuos de mezclado (en las cuales el desarrollo de la masa tiene lugar en ausencia de oxígeno), pero cuando es adicionado en presencia de oxígeno este se convierte en ácido dehidro-L-ascórbico actuando como oxidante en las masas desarrolladas convencionalmente (2,3,30)

La harina es casi inmune a una sobredosis de ácido ascórbico. Los efectos con tratamientos de 30 a 120 ppm son casi constantes (2). En los sistemas de mezclado convencional, el ácido ascórbico es un mejorador de acción intermedia, el cual provee una mayor resistencia contra el sobremezclado.

El ácido ascórbico no deberá formar parte del alimento para levadura, ya que este ingrediente se adiciona a las esponjas. En las esponjas se crea un ambiente anaerobio, por lo que el ácido ascórbico actuará como agente reductor (1,2). Suavizará excesivamente a las proteínas de la harina, obteniéndose una masa muy debilitada que provocará problemas de estabilidad en el proceso. Actualmente se están adicionando alrededor de 20 a 30 ppm en esponjas para mejorar el proceso de desarrollo de la masa, aunque existe el riesgo, que por alguna falla mecánica en el proceso el ácido ascórbico actúe durante más tiempo afectando las características de las masas. Cuando se busque acción oxidante, el ácido ascórbico debe emplearse como aditivo directo a las masas.

En la actualidad se están empleando oxidantes recubiertos de un material graso de alto punto de fusión, con la finalidad de controlar la etapa donde reacciona el oxidante y obtener los beneficios deseados, además la manera óptima del uso de los oxidantes es en combinaciones, para obtener el balance adecuado de oxidación en las diferentes etapas, dependiendo del tipo de proceso y producto (30).

Existe una prueba para evaluar el efecto de los mejoradores en la harina, donde se elabora una masa que se fermenta normalmente y se golpea (en forma constante, con un peso por un lado del molde), horneándose y midiendo el volumen específico del pan y comparándolo contra el que no fue golpeado. Un pan elaborado con la cantidad correcta de mejorador, se observa en esta prueba con una buena recuperación, obteniendo un volumen específico similar al control.

3.6.1.3 Enzimas

Las enzimas son catalizadores biológicos, las cuales aceleran la velocidad de reacción química, permanecen sin cambio químicamente por la reacción, no afectan el equilibrio de una reacción reversible y tienen una acción específica. Son proteínas de peso molecular entre 10,000 y 1,000,000, algunas contienen compuestos no proteicos, llamados cofactores o coenzimas. Su especificidad depende del medio de donde provengan, así una alfa-amilasa de origen fúngal, bacteriano o de la malta, actúan de forma diferente. Recordemos el efecto de la temperatura, y del pH en la velocidad de reacción, así como la termoestabilidad (21,22,23,26,38).

Las enzimas se nombran en base al sustrato al cual atacan y se les adiciona la terminación "asa", aunque existen nombres que no se rigen por este sistema, como la papaina, pepsina, tripsina, etc. Las enzimas se agrupan en Oxidoreductasas, Transferasas, Hidrolasas, Liasas, Isomerasas y Ligasas. A continuación se revisaran las principales enzimas, y su funcionalidad como mejoradores de la calidad de la harina (4).

3.6.1.3.1 Amilasas

Las amilasas se dividen en dos grupos las alfa-amilasa (endoenzimas) y las beta-amilasas (exoenzimas). Su acción combinada sobre los polisacáridos, como la amilosa y amilopeptina, producen cambios en la pasta de almidón, tales como disminución de la viscosidad, aparición de grupos reductores, formación de maltosa y dextrinas, y pérdida de la capacidad del almidón de dar color azul con el yodo.

Las beta-amilasas tienen una formación rápida de maltosa, como único producto de bajo peso molecular. La acción de la enzima se detiene cuando el 60% del rendimiento teórico de maltosa ha sido formado. Las dextrinas residuales, comúnmente llamadas, beta-amilodextrina o dextrinas terminales, mantienen muchas de las propiedades del almidón original. Estas son no-reductoras, dando un color violeta cuando son tratadas con una solución de yodo. La beta-amilasa no llega a tener una verdadera dextrinificación. Se llaman beta-amilasas, debido a que cuando son examinadas en un polarímetro tienen un giro beta. Estas enzimas solamente atacan los enlaces glucosídicos alta-1,4, por la parte final, no reductora del almidón, produciendo moléculas de maltosa y maltotriosa. Y se detiene cuando encuentra un enlace ramificado o alta-1,6, por lo que puede hidrolizar completamente a la amilosa, mientras la amilopeptina es hidrolizada en un 52%. Los productos de la conversión son aproximadamente 6% de maltosa, 3% de beta-dextrinas limitantes y una cantidad pequeña de maltotriosa; 91% del almidón permanece intacto. La temperatura de inactivación es de 57 a 72 °C, que se referencia a los 2-5 primeros minutos de horneado.

Las alfa-amilasas actúan en forma aleatoria en la parte interior de la molécula de almidón, en los enlaces glucosídicos alta-1,4, lo que hace referir a esta enzima como dextrinogénica o hucetactante, produciendo cadenas cortas o dextrinas. Estas enzimas producen dextrinas limitantes de bajo peso molecular, conteniendo relativamente pocas unidades de glucosa, en comparación con las dextrinas limitantes de alto peso molecular producidas por la beta-amilasa. Las alfa-amilasas pueden actuar en los enlaces alta-1,4 y en los alta-1,6, produciendo oligosacáridos con enlaces alta-1,6. Además difiere de la beta-amilasa, en que puede atacar al almidón dañado y licuar y dextrinificar al almidón gelatinizado, prácticamente sin presencia de maltosa (32).

El rango de pH de la alfa-amilasa a temperatura ambiente es de 3.3 a 5.3, siendo el óptimo de 4.5, mientras el de la beta-amilasa es de 4.5 a 9.2, siendo el óptimo de 5.3. La alfa-amilasa es relativamente termoestable, siendo que a 70 °C mantiene su actividad relativamente completa, mientras que la beta-amilasa a esa temperatura ha perdido la mitad de su actividad. Por lo que convienen por unos cuantos minutos a 70 °C, es cuando la masa se encuentra en la primera fase del horneado. Si se quisiera mantener la actividad de la beta-amilasa por acidificación de la masa, se inactivaría la alfa-amilasa, por un pH bajo. Las amilasas presentan diferencias en la velocidad de reacción y termoestabilidad dependiendo de su origen, fúngico o bacteriano, siendo estas últimas más

termoresistentes, con un posible efecto negativo en la producción de un pan gomoso o chicloso, a menos que se empleen enzimas bacterianas de cuarta generación, las cuales son termolábiles, inactivándose antes de que la masa salga del horno, produciendo un efecto suavizador más prolongado, sobre la miga del pan.

A continuación se presenta una tabla no. 23 de Termoestabilidad de la alfa-amilasa de varias fuentes de obtención, en función del % de actividad enzimática a diferentes temperaturas

Tabla no. 23 Termoestabilidad de Alfa-amilasas de Diferentes Fuentes.

Temperatura °C	Porcentaje de Actividad Enzimática		
	F	Fungal	Malta de Trigo Bacteriana
65	149	100	100
70	158	52	100
75	167	3	58
80	176	1	25
85	185	0	1
90	194	0	0
95	203	0	0

Canadian International Grains Institute (Grains & Oils), Handling, Marketing, Processing (C.I.G.I.), 4th Edition, 1993, Vol. 1, 117

Las alfa-amilasas de origen bacteriano tienen un mayor efecto dextrinizante sobre el almidón, lo que ocasiona una masa pegajosa y un pan gomoso, aunque en dosis muy bajas (240 SKB), tienen un efecto favorable en la suavidad del producto después del cuarto día, como se menciona con anterioridad existen en investigación algunas enzimas bacterianas, que son termolábiles a 85 °C, las cuales tienen el efecto antienvejecimiento en el almidón, y no producen la gomosidad de las enzimas normales.

Las Isoamilasas o amilo-1,6 glucosidasas, o dextrinasas-limite, o pulanaras, son capaces de atacar los enlaces alfa-1,6, que las otras dos enzimas no atacan, produciendo sacaridos de bajo peso molecular, completando la hidrólisis de las cadenas ramificadas del almidón. El pH óptimo es de 5.0 y su temperatura óptima es de 55° a 60°C, mostrando poca actividad a temperatura ambiente.

La acción amilolítica en la masa comienza al tiempo en que los ingredientes son combinados y mezclados y finaliza cuando se inactivan después del horno. Las amilasas producen maltosa que es la principal fuente de la levadura para la producción de gas en los productos leudados. La masa sufre muchos cambios, tales como la disminución de la capacidad de absorción, suavizamiento de la consistencia de la masa y un aumento de pegajosidad.

Las amilasas actúan sobre el almidón dañado, en la etapa de esponja, o el almidón hinchado durante la gelatinización, por acción del calor en el horno. Aproximadamente del 6 a 9% del almidón en una harina panadera es dañado durante la molida, y este es el almidón que se utiliza durante las primeras etapas de la fermentación, ya que a una esponja no se añade azúcar, por lo que la levadura debe depender de la conversión del almidón para obtener los carbohidratos que fermentará y

porque los gránulos de almidón dañados o rotos absorberán y retendrán más agua que el almidón no dañado. Conforme el almidón disponible se convierte a azúcares durante la fermentación de la esponja, el agua absorbida durante el mezclado se libera, resultando en un sistema de masa más fluido, notándose en el análisis de viscosidad de la esponja con respecto al tiempo (2,23,38).

Así una harina con menor % de almidón dañado, tendrá una activación inicial de fermentación menor afectando el acondicionamiento bioquímico del gluten, produciendo poca elasticidad de la masa y por lo tanto un pan de bajo volumen, con grano de paredes gruesas y áspero, y por el contrario una harina con valores superiores al 10% de almidón dañado, tendrá una fermentación más vigorosa, produciendo más gas en una etapa donde el gluten aún no ha sido plenamente acondicionado y por lo tanto su capacidad de retención es menor, produciendo una esponja con características de una esponja sobrefermentada, afectando la masa durante la prueba final, por tener mayor probabilidad de picarse y colapsarse el pan, obteniendo por tanto un pan de bajo volumen, pálido, con grano abierto y desgarrado.

La harina solo presenta cantidades muy pequeñas de azúcares, cerca de 1.5%. Estos niveles de azúcares fermentables no son suficientes para el crecimiento de la levadura y para la producción de gas, que se necesita para desarrollar a la esponja. La adición de sacarosa a la esponja no resuelve este problema, ya que la velocidad de producción de gas debe coincidir con la capacidad de la esponja para retenerlo. La adición de azúcar en el periodo inicial de fermentación de la esponja provocará una liberación demasiado rápida del gas, antes de que la esponja este preparada para retenerlo. Gracias a la actividad de la alfa-amilasa, las cadenas de almidón van hidrolizándose lentamente, dando tiempo así a que la esponja cuente con una estructura capaz de retener el gas. Durante el proceso de mezclado se aumenta el nivel de azúcares a un 2.0 a 2.5% por la rápida acción de la beta amilasa en el almidón dañado.

La reacción de producción de maltosa es de menor importancia en sistemas de masa directa, que contienen azúcares añadidos, o en sistemas de pretermentos, que no llevan la adición de harina y donde se agrega una pequeña cantidad de azúcar como nutrimento. Sin embargo, es muy importante la acción amilásica durante el periodo de prueba final, para que el almidón dañado se convierta a dextrinas y maltosa, y así se pueda producir un mejor color de corteza y sabor del producto horneado.

La segunda fase donde se vuelve extremadamente importante la actividad amilásica es durante las primeras etapas del horneado (2,38). Cuando la masa se coloca en el horno, el gluten pierde agua gradualmente conforme se eleva la temperatura, llegando el momento en que se desnaturaliza. El almidón dañado absorberá el agua liberada por el gluten. Al mismo tiempo comienza la gelatinización del almidón. Durante el horneado aumenta muy rápidamente la acción de las amilasas, sobretodo la de alfa-amilasa, hasta llegar a una temperatura de 63° a 66 °C, sobre la cual las enzimas se inactivan velozmente. Esta acción de las amilasas produce dextrinas a partir del almidón gelatinizado, y el resultado observado es un mejor volumen de la hogaza. Es muy importante para la calidad de producción de los panes, el delicado balance entre la gelatinización del almidón y la acción amilolítica, que produce dextrinas y maltosa a partir de este almidón dañado.

Para que se puedan dar estas reacciones debe existir suficiente amilasa, tanto beta como alfa-amilasa. Si la cantidad de amilasas es insuficiente, muy poco almidón se convertirá en dextrinas y maltosa, lo que resultará en un volumen bajo de hogaza, cortezas huecas y pálidas. Si la masa contiene una cantidad excesiva de amilasas, se transformará una cantidad excesiva de almidón a dextrinas y maltosa, y se tendrá como resultado una masa pegajosa, difícil de manejar y un producto de fermentación con una textura pomosa y pegajosa. Las dextrinas se caracterizan por absorber y retener mucha agua, favoreciendo la vida de anaquel de los productos.

El jarabe de malta diastásico complementa a la amilasa de la harina, provee azúcar adicional para la fermentación, facilita el flujo de la masa en el molde, mejora el color de la masa y las características de "granado" del pan. La presencia de enzimas proteolíticas en el jarabe produce ligeras modificaciones del gluten.

Las harinas de trigo contienen normalmente suficiente cantidad de beta-amilasa para la conversión de las cadenas largas de amilosa o maltosa, pero son deficientes en alfa-amilasa natural. Esta condición se ha corregido mediante la práctica común de complementar a la harina con concentrados de alfa-amilasa durante la molienda. Esta complementación provee una harina con concentrados de alfa-amilasa durante la molienda. Existe un problema para la determinación exacta del efecto de dosificación de la alfa-amilasa en la harina, como se indicó en 7.3.3.

La harina de malta se añade a la harina de trigo a través de un alimentador continuo y de un sistema de mezclado durante la etapa final de la molienda, en cantidades que dependen de la fuerza de la harina de malta y el nivel amilásico de la harina. Generalmente se agrega 0.10 a 0.50% de harina de malta a las harinas que se emplearán para la elaboración de productos de fermentación. Las harinas pasteleras y las harinas similares no se complementan con malta de cebada o trigo maltado.

Esta complementación provee una harina que generalmente contiene suficiente alfa y beta-amilasa para la mayoría de los procesos de fermentación. Es preferible que el molinero no realice la complementación de su harina con amilasas, ya que normalmente se adiciona con malta, siendo esta no estable en base al contenido y actividad amilásica y por contener cierta actividad proteolítica, además los sistemas de dosificación con que se cuentan son volumétricos y no gravimétricos, haciendo inexacta la dosificación.

Algunas veces resulta necesaria, o aconsejable la complementación de las masas con enzimas amilásicas en la industria de panificación. Esto ocurre cuando la harina de trigo no lleva la actividad amilolítica requerida, o cuando se desea una movilidad adicional de la masa (mayor flujo en el molde). Para esta última función se emplean amilasas fungales en las masas. Tienen la ventaja, sobre las amilasas de otras fuentes, de presentar una menor temperatura de inactivación. Como las amilasas fungales se destruyen con la temperatura de horneado antes de que gelatinice el almidón, cuando se emplean éstas no existe el problema de un exceso de actividad amilolítica y los consecuentes productos de textura pomosa y pegajosa. En el momento de la toma de decisión por un complemento amilásico, deberán compararse las ventajas del uso de las diferentes enzimas, como por ejemplo la contribución de sabor aportado por el jarabe de malta.

3.6.1.3.2 Proteasas

La acción de las proteasas es más compleja que la de las amilasas. Las proteasas provocan el rompimiento de los enlaces peptídicos en las proteínas y producen un efecto de suavizamiento sobre las masas. Las harinas entregadas por los molineros no contienen proteasas añadidas, tan solo incluyen las que forman parte de los complementos amilásicos, de la malta o por una mala separación del germen y salvado, donde este tipo de enzima están presentes (1,27). Muchos productos de fermentación requieren de un complemento de proteasas para facilitar su procesamiento.

La actividad proteolítica comienza durante el mezclado y continúa durante la fermentación hasta que la enzima es inactivada por el calor del horno.

Es importante recordar que la acción de las proteasas depende (como la de todas las enzimas) del pH, la temperatura y del tiempo de exposición. Por ejemplo, en un sistema de masa directa sin tiempo de fermentación, donde los ingredientes se mezclan en una sola etapa, las proteasas producirán una reducción mínima del tiempo de mezclado, pero se desarrollará la acción de suavizamiento durante la prueba y la etapa temprana del horneado. La misma situación se aplica a los fermentos líquidos en los que se fermenta la levadura, agua y pequeña cantidad de azúcar y sal, y luego se mezclan con los demás ingredientes y se procesa la masa.

En sistemas esponja-masa, la proteasa tendrá tiempo suficiente para la acción proteolítica, y el efecto será la reducción en el tiempo de mezclado de la masa, además de otros beneficios de suavizamiento durante etapas de fermentación posteriores. En estos sistemas puede reducirse el tiempo de mezclado de la masa hasta en un 25%, cuando las proteasas se añaden a las esponjas. Una sobre-dosificación de proteasas, ocasionará serios daños en el control del proceso y de la calidad del pan, debido a que suavizará demasiado el gluten, afectando la capacidad de retención del gas y por lo tanto será la masa muy débil y susceptible de colapsarse (2,23,38).

Recordemos que la malta, que normalmente se adiciona a la harina, tiene un nivel bajo de proteasas que tienen un pH óptimo de 3.0 a 4.0, por lo que su efecto suavizador del gluten es muy poco en el proceso de panificación, a menos que se tengan esponjas sobrefermentadas (26). Las proteasas son fuertemente inhibidas a una concentración del 3.0% de sal.

3.6.1.3.3 Hemicelulasas

Las pentosanas y hemicelulosa, son polisacáridos de alto peso molecular presentes en la harina. Las pentosanas existen en dos formas, las solubles en agua, capaces de retener hasta 20 veces su peso en agua, favoreciendo la consistencia de la masa y la miga del producto horneado; y las no solubles, que afectan la estructura molecular del gluten, resultando en menor retención de gas, y por tanto producen una masa débil, un pan de bajo volumen, con grano abierto y de paredes gruesas y asperas. Las pentosanas son polímeros de pentosas y hexosas usualmente ligadas a una molécula proteica. En la harina panadera las pentosanas se encuentran de un 2 a 4% de las cuales la mitad son solubles. La fracción insoluble es similar a las pentosanas solubles, pero tienen un mayor grado de ramificación.

Las pentosanas son sustancias con alta capacidad de ligar agua, incrementan la cohesión y la viscosidad de la masa por los puentes de hidrógeno. La fracción soluble parece jugar un rol importante en la reología de la masa. La interacción entre las pentosanas y las proteínas mejora la viscosidad y la retención de gas.

El uso de pentosanas en la industria de la panificación es reciente. Su función original era modificar los filamentos de pentosanas para mejorar la elasticidad del pan de centeno y reducir el "grefado" durante el horneado. Cuando se utilizan en pan de caja, atacan a las pentosanas, aumentando la fracción soluble, mejorando la retención de gas, por una mejor funcionalidad del gluten, al no tener ningún impedimento físico, que atee su acomodo molecular, y por tanto su elasticidad y capacidad de retención de gas. La cohesión de la masa se reduce y se vuelve más elástica, permitiendo una mejor maquinabilidad, mayor resistencia a los efectos del manejo de la divisora y un más volumen por el aumento de retención de gas (2,6,7,18,19,38).

3.6.1.3.4 Lipoxigenasa

La Lipoxigenasa es la oxidoreductasa más importante en el proceso de panificación, ya que actúa en las reacciones de oxidación de los carotenos, responsables del pigmento de las harinas, y la oxidación de los ácidos grasos insaturados. El principal beneficio del uso de este tipo de enzimas es el blanqueo de la miga del pan, además se han observado, mejora en una miga más fina, mejor volumen, mejora en las características reológicas de la masa a través de las modificaciones de los grupos sulfhidrilos de las proteínas, mejora de la tolerancia al mezclado, y disminución de los efectos deterioradores de los oxidantes de rápida acción.

El mecanismo de acción de este tipo de enzimas se basa en la oxidación de ciertos tipos de lípidos no saturados convirtiéndolos en peróxidos, los cuales por una reacción enlazada, causa la oxidación de los carotenos (2,38). Esta enzima es altamente específica, catalizando solamente la reacción de los ácidos linoleico, linolénico y araquidónico y sus ésteres a sus correspondientes hidroperóxidos. Todos estos ácidos grasos tienen en común una configuración consistente de un grupo activo metilo entre dos dobles enlaces *cis*.

Esta enzima normalmente se obtiene de la harina de soja enzimáticamente activa, adicionándose a un nivel de 0.5 a 1.0% base harina. Esta enzima no funciona cuando es adicionada a una harina desgrasada, a menos que en la formulación se adicione uno de los ácidos grasos mencionados, lo que nos indica que la lipoxigenasa necesita de lípidos libres para reaccionar.

3.6.1.3.5 Glucosa oxidasa

Esta enzima tiene un uso limitado, ya que es necesario se utilice en conjunto con ácido ascórbico, ya que su mecanismo de acción es: La glucosa oxidasa oxida la glucosa convirtiéndola en ácido gluconico y peróxido de hidrógeno, con la consiguiente oxidación del ácido ascórbico a Dehidro-L-ascórbico, el tiene un efecto oxidante, por lo que esta enzima tiene un efecto mejorador a través del ácido ascórbico, esta mezcla se está empleando en la actualidad como una alternativa de los oxidantes inorgánicos (2,38).

3.6.2 Efectos del nivel de mejoradores en la masa y en la calidad del pan

Resulta evidente de la explicación anterior de las características de los oxidantes, del gluten y enzimas que el nivel de mejoradores es crítico y que podemos tener masas sobre-reforzadas o deficientes en su fuerza. Por consiguiente, deberán ajustarse apropiadamente las cantidades de mejoradores para producir masas con las características deseadas y productos de la más alta calidad. También debe mantenerse el balance apropiado entre los oxidantes de acción rápida y los de acción lenta, el complemento enzimático y el nivel de gluten, en base a la calidad inicial de la harina (30). Los índices de calidad para masas y panes con una sobreoxidación o falta de esta se muestran en la tabla no 24.

Las masas sobreoxidadas se tornan excesivamente tenaces, se resisten a la acción de modelado y se rasgan fácilmente. Las masas pueden rasgarse durante la prueba, debido a la resistencia a la expansión que presenta el gluten, llamándose a este efecto en términos panaderos, "greña loca". El pan elaborado con estas masas es de volumen reducido, esquinas redondeadas, corteza áspera y desagradablemente grenada. La miga presenta celdillas rotas, puede contener agujeros grandes, la textura es pesada y áspera. Las masas faltas de oxidación presentan los defectos del empleo de harinas débiles, las cuales se tornan extensibles, pegajosas, obteniendo un pan de volumen pequeño, con grano abierto y disparejo, y de mala simetría.

Tabla no. 24 Características de Masa y Pan por Dosificación de Mejoradores.

FALTA DE OXIDACIÓN	SOBREOXIDACIÓN
MASA	
Débil	Dura
Extensible	Tenaz
Suave	Firme
Pegajosa	Seca y poca maquinabilidad
PAN	
Grano abierto y disparejo	Grano denso de paredes gruesas
Volumen pequeño y redondo	Volumen pequeño
Corteza débil y delgada	Corteza gruesa y textura áspera
Simetría, mala	"Greña loca"

Nizz, J. J. Baking Science & Technology, Vanland Publishing Company, Third Edition, 1958, Vol. 1, 111

Los ingredientes que contienen grupos sulfhidrilo y los agentes reductores interactúan con los oxidantes y aumentan los requerimientos de oxidación. A continuación se enumeran los factores que afectan la oxidación (2,3,4,20,30).

Sistemas de procesamiento de la masa.

Ingredientes:

Células muertas de levadura, por la liberación de Glutatin

Germen de trigo, por la cantidad de proteasas presentes

Harinas diferentes a las de trigo, por considerarse carga, debido a que no forman una estructura como la del gluten

Agentes reductores

Tipos de harina de trigo, principalmente por el uso de harinas de baja fuerza.

Leche no tratada con calor, grupos sulhidrilo.

Sulfato de hierro, poder reductor

El efecto negativo de la adición de germen se debe en su mayor parte a las proteasas presentes en el germen (2). El glutatin aporta grupos sulhidrilo al gluten, debilitando a la masa, provocando su adherencia y su difícil maquinado. Cuando a una masa se aeraga más del 5% de germen, es recomendable usar una harina con alto contenido proteico y con una buena tolerancia a la fermentación, ya que el germen suavizara a cualquier masa. Las células muertas de levadura liberan glutatin, agente reductor que debilitara excesivamente a las masas. Por tanto, siempre se recomienda usar levadura fresca.

La leche no tratada con calor se manifiesta con volúmenes menores en el pan y una masa de consistencia más floja, similar a la obtenida con la adición de cisteína y glutatin. La acción debilitadora de la leche no tratada con calor sugiere que se debe a los grupos sulhidrilo de la cisteína presente en la leche, que con el tratamiento con calor se oxidan a puentes disulfuro más estable. El sulfato de hierro, sal mineral que se incluye a menudo con la mezcla de adición de nutrientes a la masa, también exhibe un poder reductor.

El empleo de harinas diferentes a las de trigo requiere ajustes en los niveles de oxidación. Al usarse harinas de soya se debe aumentar el nivel de oxidación. Las harinas fuertes requeriran un menor nivel de oxidación que las harinas débiles.

3.6.2.1 Mejora en las características físicas de las masas

Mediante el empleo de agentes oxidantes se fortalecen las masas en varios puntos críticos del proceso, como son en la esponja, por aumentar su capacidad de retención de gas; en la masa, por soportar mayores tiempos de trabajo, en el maquinado, por tener una mejor maquinabilidad, por estar más seca y con un buen comportamiento en su fluidez; en la cámara de vapor y en los transportadores hacia el horno, por soportar el abuso mecánico y dando una buena elasticidad, sin colapsarse; y por último en la primera fase de horneo, permitiendo un buen "jalón" de la masa para obtener el volumen y calidad interna del pan deseada.

Las masas dosificadas adecuadamente de los mejoradores se vuelven más elásticas, más resistentes, con una mejor capacidad de formación y retención de gas, menos pegajosa y se observan con una mejor respuesta durante la fermentación que otras masas no adicionadas de los mejoradores. Así mismo se mejora la retención de gas y la tolerancia contra el colapsamiento debido al abuso

físico que sufren las masas durante el proceso. Las masas presentan en general mejores características de maquinado.

3.6.2.2 Mejora las características del producto final

Como se ha venido describiendo con anterioridad, gracias al uso de mejoradores en la harina, se puede obtener un apreciable beneficio sobre el gluten y el almidón y por lo tanto se observa una mejora en las características físicas de las masas; y las hogazas resultantes poseerán un mayor volumen, un grano más fino y uniforme, una textura más suave, un mejor aroma y sabor, una mejor simetría y una mayor vida de anaquel, en una palabra se obtendrá un pan de la calidad deseada por los consumidores.

3.7 LEGISLACION SOBRE MEJORADORES

En la legislación de Estados Unidos de America, el "Code of Federal Regulation-**CFR-21** (Código de Regulaciones Federales) Título 21 es el que regula los alimentos y medicinas, mencionando en el apartado 137.155 restricciones para harinas con bromato de potasio (33). Fija el límite máximo en 50 partes por cada millón de harina. En el apartado 136.110 inciso 14 i referente a productos de panificación, se fija el límite máximo para el bromato de potasio, bromato de calcio, yodato de calcio, peróxido de calcio o cualquier combinación de alguno de estos en 75 partes por millón de harina, incluyendo la cantidad empleada en la harina. En el inciso 14 ii fija el límite de azodicarbonamida (ADA) en 45 partes por millón de harina. Así mismo no existe límite para la adición de ácido ascórbico o gluten, lo cual se limita por la relación costo-beneficio en el producto. Las enzimas no tienen un límite, debido que son proteínas, y se restringe su dosificación por una posible sobredosis, y afectación de la calidad del pan, o por su precio y respuesta obtenida por su funcionalidad.

La ley que regula a los productos alimenticios en México, es la Ley General de Salud (35). Donde se hace referencia al pan, entendiéndose por "Pan blanco el producto que resulta de hornear una masa obtenida por la mezcla de harina, sal comestible y agua potable, fermentada por la adición de levadura activa. Para mejorar la calidad nutritiva de este pan, podrán agregarse leche, azúcar, manteca vegetal o grasa vegetal y acondicionadores de agua" (artículo 857). La legislación vigente, fue publicada el día 7 de febrero de 1984 en el diario oficial, en el título decimoquinto, capítulo IV habla de productos de harina de cereales.

Además se cuenta con el anteproyecto de norma NOM-000-SSA1-1995, sobre harinas de cereales, sus disposiciones sanitarias, especificaciones sanitarias y nutrimentales, donde en su fracción 3.8, define la harina de trigo, en la fracción 6.1 a 6.3 especifica los límites permisibles de micotoxinas, aflatoxinas, zerealonona, desoxilvalenol, metales pesados, y materia extraña. Y en la fracción 6.4 especifica los límites máximos permisibles de los aditivos como, enzimas, y por último en la fracción 7 da las especificaciones nutrimentales de la harina (36).

En algunos estados como California, se ha determinado que el producto elaborado con bromato de potasio debiera presentar una leyenda en la envoltura, que diga "Producto elaborado con ingredientes carcinogénicos", lo cual constituye una implícita prohibición del bromato de potasio en productos de panificación, así mismo, en la planta panificadora, deberán aparecer letreros, en las zonas de pesado de este ingrediente, que adviertan sobre la naturaleza carcinogénica de este oxidante (37). La FDA (Food and Drug Administration) se está revisando actualmente el CFR para llevar a nivel nacional esta prohibición.

En el proyecto de norma para panificación por parte de la Dirección General de Normas, se contempla la posibilidad de no permitir el uso de bromato de potasio, por las alegaciones de que es una sustancia cancerígena. Por lo que se hace indispensable comenzar a definir un sustituto del bromato de potasio, con el conocimiento que es difícil obtener un solo ingrediente que lo sustituya, en la misma relación costo-beneficio.

CAPÍTULO *CUATRO*

*******DESARROLLO
*****EXPERIMENTAL**

4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Métodos, Fórmulas y Procedimientos

Método

Se empleó como testigo, para el estudio una harina de alta calidad panificable, obtenida de la molinenda de un trigo canadiense de 13.0% de proteínas, con un grado de calidad #2, y una harina de trigo nacional, obtenida de la molinenda de trigo de variedad *Dorotom F86*, de 11.1% de proteínas, siendo esta última harina considerada como el medio de prueba de los diferentes mejoradores, se utilizó como producto del estudio al pan blanco chico, que es de tipo *round top*, es decir, que no lleva tapa en el molde durante el horneado, y no lleva ningún tipo de ingrediente que contribuya a retorarzar la estructura del producto, esto con la finalidad de poder observar claramente el resultado de los diferentes mejoradores del estudio.

Se realizaron pruebas de laboratorio, para ver la influencia de los mejoradores en los análisis normalmente realizados a una harina y se probó posteriormente en la planta piloto, para ver su efecto en la calidad del producto terminado. El sistema de producción que se utilizó para este proyecto es el de esponjas líquidas.

Se emplearon nombres arbitrarios para algunos ingredientes de productos comerciales, por razones de confidencialidad que la empresa reserva su derecho de publicación.

Fórmulas

La fórmula que se empleó para las pruebas, se divide en la de Esponja y de Masa, a continuación se presentan, al igual que el procedimiento de panificación:

Fórmula de Esponja:

INGREDIENTE	% BASE HARINA	PESO [gramos]
Harina	50.0	1500
Agua	53.0 - 2.0	1650
Levadura Seca Instantánea	1.3	39
Sal	0.5	15
Alimento para Levadura (Fosfato Monocálcico, Cloruro de Amónico, y Bromato de Potasio)	0.5	15

Fórmula de Masa:

INGREDIENTE	% BASE HARINA	PESO [gramos]
Harina	50	1500
Espanja	105.3	3219
Azúcar	8.5	255
Agua	6.0	180
Manteca	2.3	69
Sal	2.0	60
Levadura	0.4	12
Propionato de Sodio o de Calcio	0.2	6
Bromato de Potasio	0.004	0.12
Gluten	0.0	0.0

Procedimiento de Panificación:

Espanja:	Temperatura de fermentación	27°C
	Tiempo de fermentación	3.5 horas
Masa:	Tiempo de mezclado en alta	11.0 minutos
	Temperatura de masa	27°C
	Tiempo de reposo intermedio	ninguno
Dividido:	Peso de masa por pieza	525 gramos
	Perdidas por manejo	5%
Fermentación:	Tiempo de fermentación	60 + 13 minutos
	Temperatura de bulbo seco	44°C
	Humedad relativa	85-90%
Horneo:	Tiempo de horneo	16 minutos
	Temperatura de horneo	230°C
Enfriamiento:	Tiempo de enfriamiento	1 hora al ambiente
Almacenamiento:	Temperatura	25°C Gabinete controlado
Evaluación:	a) Peso y volumen de hogazas	una hora después del horneo.
	b) Externa, interna y comestibilidad	a la siguiente mañana.
	c) Suavidad, al primer, tercer, quinto, séptimo y noveno días.	

4.1.1 Sistema de mejoradores en formulaciones existentes

Actualmente las harinas en México son dosificadas de bromato de potasio, ácido ascórbico, malta, azodicarbonamida, y/o peróxido de benzilo, teniendo la problemática de la desuniforme dosificación, por los sistemas volumétricos que existen en los molinos. Por esta razón es más conveniente que el panadero realice dicha dosificación, garantizando con esto el correcto pesado, además por la situación de que muchos de los mejoradores, afectan solamente los análisis de las harinas, sin tener un beneficio real en la funcionalidad de la harina durante el proceso de panificación y por el contrario, pudiendo afectar el control del proceso y/o la calidad del producto.

4.1.2 Características de calidad

Normalmente se evalúan las características de calidad dentro del proceso en cada una de las etapas, principalmente en las críticas, al igual que en las del producto terminado, todo esto es afectado por la calidad de las materias primas, la fórmula empleada y por el control del proceso. Los aspectos de calidad del pan deben cubrir los requerimientos legales, consideraciones sanitarias y las características mercadológicas.

Las características del proceso a evaluar, por el panadero, para definir la calidad y uniformidad de una harina son:

- 1) Tolerancia a la fermentación
- 2) Tolerancia al mezclado
- 3) Respuesta al maquinado
- 4) **Resistencia al manejo mecanizado**
- 5) Picado de la masa, sobrefermentación
- 6) **Respuesta en el horno, "jalón"**
- 7) Colapsamiento

Las características del pan que son evaluadas por un consumidor normal para la compra, consumo y recompra del producto son:

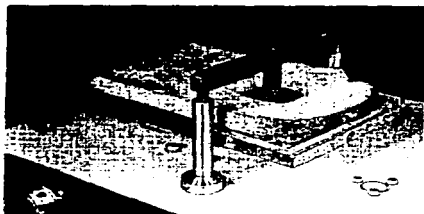
- 1) **Volumen de la hogaza**
- 2) **Apariencia externa, color y forma.**
- 3) **Suavidad de la miga**
- 4) Textura de la miga, procurando evitar el desmoronamiento o facilidad de untado.
- 5) Color de la miga
- 6) **Características de la miga, sin cavernas o túneles**
- 7) Sabor
- 8) **Velocidad de envejecimiento**

Las características de proceso y de calidad del producto marcadas con negritas, serán las que se medirán, durante el presente estudio, ya que son las más representativas del control del proceso, desde el punto de vista panadero, y de calidad del producto, desde el punto de vista de un consumidor. Algunas de estas características no pueden ser medidas a través de un instrumento, por

lo que se hace referencia a mediciones sensoriales del producto, con un panel capacitado de expertos, disminuyendo la subjetividad del estudio por comparación con producto testigo y por el uso de pruebas desarrolladas para tal fin. Por tanto dividiremos estas características en dos tipos fundamentales, las características de calidad objetivas o medibles y las características de calidad subjetivas o sensoriales.

Las características de calidad objetivas o medibles pueden ser realizadas a través de instrumentos o equipos que permiten obtener resultado numéricos concretos, estas características son, fundamentalmente (2,10,13)

- **Volumen específico de la hogaza.** Referida como la medición del volumen final alcanzado por la hogaza después del horneado, en relación con el peso de la pieza, realizada esta medición después de una hora de hornear la hogaza. El peso del producto es el punto de partida de cualquier evaluación, ya que este influye directamente en el resto de las características, donde un peso mayor al especificado contribuirá a tener mayores volúmenes, celdas de miga cerradas y uniformes, simetría uniforme, etc. Es dada en centímetros cúbicos por gramo de producto.
- **Suavidad de la miga.** Definida como la compresibilidad y recuperación de la miga ante la aplicación de un peso conocido, para llevar a cabo esta medición, se cuenta con equipos especiales, tal como el Instron Texture Analyzer, el Chatillon y el Compresímetro de Brabender. Fue usado el Texture Analyzer cuyas unidades están dadas en gramos fuerza, o sus equivalentes en newtons, o libras fuerza.



- **Velocidad de envejecimiento.** Se define como la variación en la suavidad y humedad del producto terminado, con respecto al tiempo. Se representa en forma gráfica de unidades de suavidad en relación a los días de almacenamiento, bajo condiciones controladas.
- **Tolerancia al mezclado.** Se define como la capacidad de una masa a soportar un exceso de mezclado sin llegar a sobremezclarse o "quemarse", o sea a romper la estructura del gluten, y por lo tanto a no tener la capacidad de retención del gas producido por la fermentación. Se mide

mediante el volumen específico (volumen/gramos cc/g) del pan a diferentes tiempos de mezclado, adicionales al tiempo estandar de desarrollo

- **Resistencia al manejo mecánico y jalón en el horno** Se evalúa mediante la medición del volumen específico, de la recuperación del volumen de un producto que fue sometido a un golpe de intensidad constante, sin importar las características internas del producto. Se mide como un porcentaje del volumen del producto sin golpear, bajo las mismas condiciones de operación y formulación. El jalón en el horno se evalúa observando la respuesta de la masa, que fue cargada al horno a 3-4 de pulgada abajo de la parte superior del molde, en una escala subjetiva de cinco niveles, desde muy mala a muy buena.

Las características de calidad sensoriales, fueron evaluadas por un panel de 10 personas expertas en un laboratorio diseñado especialmente para este tipo de pruebas, donde se tiene controlada la temperatura, la intensidad de luz y los aromas externos.

- **Apariencia externa** Establecida a través de la comparación del producto con un estandar que puede ser fotográfico o un modelo en alguna resina plástica, la comparación de color de la corteza y de la miga puede ser realizada en forma objetiva a través del uso de colorímetros, tipo minolta, los que nos proporcionan una lectura en la escala de intensidad, tono y brillantez (L,a,b). Para el presente estudio se realizó contra las especificaciones fotográficas, en una escala de 0 a 10, siendo 10 el producto más cercano al especificado.
- **Características de la miga** Se define como miga la estructura interna del pan, buscándose tener unas características de uniformidad del tamaño de las celdillas, así como evitar tener túneles o cavernas en la miga. En la actualidad se han desarrollado equipos para evitar la subjetividad de esta medición, como es el caso de Crumb Scanner, donde nos indica el tamaño promedio de las celdillas, su uniformidad o distribución, y presencia de áreas densas o túneles. Pero para el nivel de estudio y necesidades del consumidor, este tipo de mediciones no es necesario, por lo que se decidió evaluarla mediante el panel de expertos, definiendo una escala de 0 a 10, siendo 10 el producto con miga más uniforme, tersa, sin cavernas o túneles, ni áreas densas.
- **Colapsamiento** Se define como la pérdida de la simetría de las paredes laterales y superior, por debilitamiento de la estructura que soporta la forma y el volumen del producto. Se mide en una escala de 0 a 10, siendo 10 el producto con la forma y tamaño especificado.

4.1.3 Sistemas de evaluación de calidad y costo

Como se menciona con anterioridad las características de calidad, que son influidas directamente por la adición de los mejoradores, se evaluarán a través de un grupo de diez panaderos expertos, en un proceso controlado en la planta piloto, tomando como base, las características de calidad de las diferentes etapas de proceso, según los manuales de operación del producto y las especificaciones del pan blanco chico. Así como la diferencia porcentual en costo del producto terminado, debido al manejo confidencial de estos valores no se presentan.

4.2 Modelo Experimental

El resultado de la calidad del producto terminado, elaborado solamente con una harina de baja calidad panificable, de menor costo, sin compararla con el uso de mejoradores de la harina o de una mejor calidad de harina, y su afectación de estas alternativas al costo final del producto, a veces puede hacer que el panadero se decida por una harina barata, afectando principalmente el rendimiento, el volumen de la hogaza, sus características internas, la comestibilidad y su vida de anaquel

Para el presente trabajo se establece como constante para las pruebas de los diferentes mejoradores, las siguientes condiciones:

- ✓ El laboratorio, equipo y personal, que realizan los análisis de las harinas
- ✓ El lote de la harina, elaborada de trigo nacional de variedad *Ocoroni F-86*, de 11.1% de proteína, y con un nivel de extracción de 71%, al igual que el lote de harina testigo elaborada con trigo canadiense de grado #2, de 13.0% de proteína y con un 75% de extracción, ambas con un tiempo de reposo después de la molienda de tres semanas, sin adición de ningún tipo de mejoradores, lo cual como ya vimos es un punto fundamental dentro del presente proyecto. Se tomará harina del mismo lote para cada prueba. Se presentarán los resultados analíticos de ambas harinas en la tabla no. 26 en la sección de resultados
- ✓ La planta piloto, equipo y personal, que realizan las pruebas de panificación
- ✓ La fórmula, procedimiento y las condiciones de operación, según el procedimiento de panificación descrito en el apartado 10.1
- ✓ Los sistemas de evaluación de los diferentes parámetros y el personal capacitado en el análisis sensorial del producto
- ✓ La prueba de choque, se realizará con el objetivo de observar la recuperación de la masa fermentada, a la salida de la cámara de vapor y horneada

Se establecen como indicadores del proyecto, el volumen específico de la hogaza, tanto del producto sometido a choque, como el que no fue golpeado, así como con diferentes tiempos de mezclado, la suavidad y velocidad de envejecimiento, el colapsamiento del producto, la simetría, y las características de la miga.

4.2.1 Ingredientes a evaluar

Los mejoradores se manejan como principios activos presentando nombres arbitrarios por cuestiones de confidencialidad de la empresa y no como nombres comerciales, teniendo presente que existen diferencias dependiendo del proveedor, en concentraciones y funcionalidad de los mejoradores, por lo que se realizó una preselección de los mismos, comparando las diferentes marcas de cada mejorador, la cual no es objeto del trabajo y no se presentan los resultados por proveedor.

En la tabla no. 25 se presentan los mejoradores que se emplearon durante las pruebas, de estandarización de la calidad de las hannas y sus niveles de dosificación.

Tabla no. 25 Mejoradores y Niveles de Dosificación.

Nombre Arbitrario	Dosificación
Alfa	50 ppm
	100 ppm
	150 ppm
Beta	20 ppm
	30 ppm
	40 ppm
Gama	20 ppm
	40 ppm
	60 ppm
Delta	50 ppm
	100 ppm
	200 ppm
Bromato de Potasio (Testigo)	0 ppm
Bromato de Potasio (Control)	60 ppm
Harina #2 CWRS	sin mejoradores

4.2.2. Laboratorio

Se realizaron los análisis, reológicos, físico-químicos y funcionales, de las harinas con y sin mejoradores, en el laboratorio central de Organización Altex S C

4.2.2.1 Análisis de muestras

- ✓ Se realizaron tres análisis por duplicado de cada muestra de harina en sus diferentes niveles de mejoradores, así como el control y el testigo, se promediaron los resultados, calculándose su desviación estándar, y los valores máximos y mínimos. Se presentan solamente los valores promedio de los resultados
- ✓ Se emplearon las dosificaciones presentadas en la tabla no. 25, siendo estas el nivel promedio recomendado por el proveedor, y dos niveles adicionales, uno inferior y otro superior al recomendado
- ✓ Los mejoradores utilizados fueron analizados por el proveedor, para emitir un certificado de calidad, avalando la naturaleza, concentración y funcionalidad especificada, por lo que ya no se realizaron análisis iniciales a los mismos

4.2.2.2 Resultados

A continuación se presenta la tabla no. 26 con los resultados iniciales de calidad de las harinas base del estudio

Tabla no. 26 Análisis Iniciales de Harinas para Pruebas.

Parámetro	Harina Nacional	Harina Canadiense
Proteínas (%)	10.2	12.5
Cenizas (%)	0.510	0.560
Almidón Dañado (%)	7.5	8.3
Extracción (%)	71.0	75.1
Absorción (%)	57.2	63.1
Estabilidad (min)	8.5	28.5
Desarrollo Máximo (min)	3.0	9.0
ITM (UB)	50	15
Fuerza	248	396
Tenacidad/Elasticidad	4.6	3.8
Sedimentación (ml)	28	52
Número de caída (seg)	460	354

A continuación se presentan los promedios de los resultados de los análisis de las harinas dosificadas con los diferentes niveles de mejoradores, en la tabla no 27

Tabla no. 27 Análisis de Harinas de Prueba.

Principio Activo	Dosificación	Absorción (%)	Estabilidad (min)	Desarrollo Máximo (min)	ITM (UB)	Sedimentación (ml)	W	P/G
Alfa	50 ppm	57.34	9.21	3.41	48	29.6	265	4.71
	100 ppm	57.84	10.11	5.63	45	31.2	289	4.82
	150 ppm	58.01	10.94	6.76	44	34.5	303	4.95
Beta	20 ppm	57.86	9.87	5.12	45	32.7	259	4.84
	30 ppm	58.07	11.25	6.25	41	34.5	275	4.99
	40 ppm	58.94	12.31	8.06	39	37.0	297	5.26
Gama	20 ppm	59.22	13.54	6.98	39	34.2	286	4.27
	40 ppm	60.78	16.49	5.23	34	38.6	312	3.94
	60 ppm	62.07	19.85	4.52	29	42.1	348	3.76
Delta	50 ppm	58.33	15.45	5.65	32	32.3	264	4.61
	100 ppm	58.98	23.84	5.78	21	33.7	295	4.69
	200 ppm	59.67	33.45	6.54	11	35.9	331	4.92
(Control) Bromato de Potasio	0 ppm	57.27	8.56	3.08	50	28.7	248	4.60
	60 ppm	58.16	10.57	4.55	48	32.8	307	5.29
	90 ppm	58.94	11.87	4.78	45	33.7	354	6.21
Harina #2 CWRS	sin mejorador	63.1	28.5	9.0	15	52	396	3.8

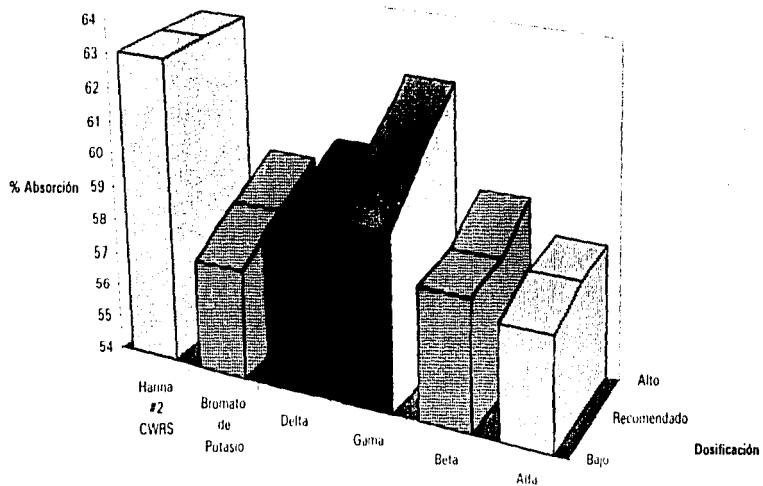
4.2.2.3 Análisis de Resultados

A partir de la tabla no 27 de resultados, podemos analizar lo siguiente

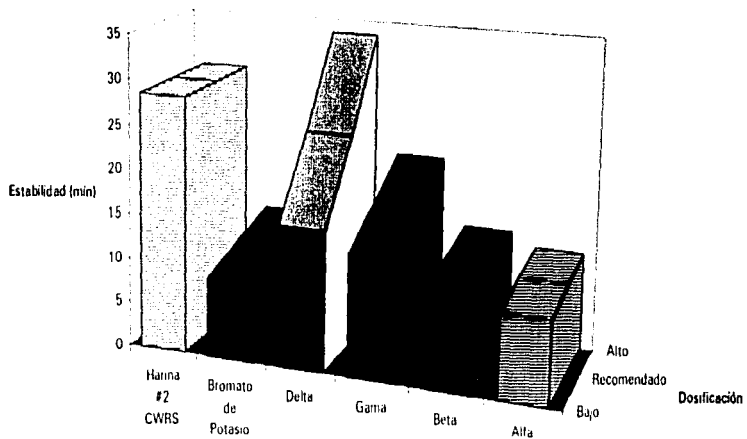
- ▲ La harina que fue dosificada con el ingrediente gama, tiene la mayor capacidad de Absorción, debido al efecto que estas tienen sobre las hemicelulosas, favoreciendo la mayor cantidad de captación de agua en sus moléculas, afectando directamente a la cantidad total de agua absorbida por el harina. Aunque los demás mejoradores también aumentaron su % de Absorción no fue significativo, de donde se puede inferir que no tienen un efecto marcado en este parámetro. También podemos observar que ningún mejorador, en ninguno de sus niveles de dosificación igualaron a la harina de una mejor calidad, y si superaron, aunque en muy pequeña escala, a la harina testigo. Gráfica no 1

- ▲ El ingrediente Delta tiene un fuerte efecto sobre la estabilidad de la harina, superando sustancialmente a la harina de mejor calidad intrínseca, siendo la segunda mejor la dosificada con el ingrediente gama. Además podemos observar una ligera mejora de la estabilidad con los demás mejoradores, sobre la harina testigo. Además, se observa la disminución de los valores del Índice de Tolerancia al Mezclado conforme aumenta la estabilidad. Gráfica no 2
- ▲ Con respecto al tiempo de desarrollo máximo de una masa, el ingrediente Gama, tienen una disminución de este, en comparación con todas las demás opciones que muestran una tendencia a incrementarlo conforme se varía la dosificación de menor a mayor grado, siendo todas superiores a la testigo, pero inferior a la harina de mejor calidad, en el caso de la harina con el ingrediente Gama, se puede deducir que el efecto de este sobre la formación del gluten es favorecida conforme se aumenta la dosis, por permitir una estructura sin interferencias ocasionadas por las hemicelulosas. También podemos observar un marcado efecto en la dosificación del ingrediente Beta y Alfa, sobre el tiempo de desarrollo máximo, implicando una formación estructural más rígida, por un efecto fortalecedor sobre el gluten en una etapa temprana. Gráfico no 3
- ▲ Las harinas dosificadas con los diferentes mejoradores, muestran un beneficio sobre la sedimentación, debido a que se ha formado la estructura tridimensional del gluten en una mejor forma, estando estabilizada por algunos enlaces disulfuro o como en el caso del ingrediente Gama, que se observa una ligera mejora sobre los demás ingredientes, por una mayor facilidad del arreglo por eliminación del impedimento físico de las hemicelulosas. Gráfico no 4
- ▲ En el caso del alveograma, podemos indicar que existen mejoras, por la dosificación de los mejoradores en cuanto a un aumento de la fuerza de las harinas, siendo las mejores opciones el ingrediente Delta, el Alfa, el bromato de potasio y el Gama, pero con un efecto adverso en la relación de Tenacidad. Extensibilidad de parte del bromato de potasio y el ingrediente Beta, que aumenta esta relación arriba de lo especificado para una harina panadera, haciendo más tenaz la harina, por otro lado el ingrediente Gama favorece la extensibilidad de la harina al reducir ligeramente esta relación lo que favorece el desarrollo de una masa. Gráficas no 5 y 6

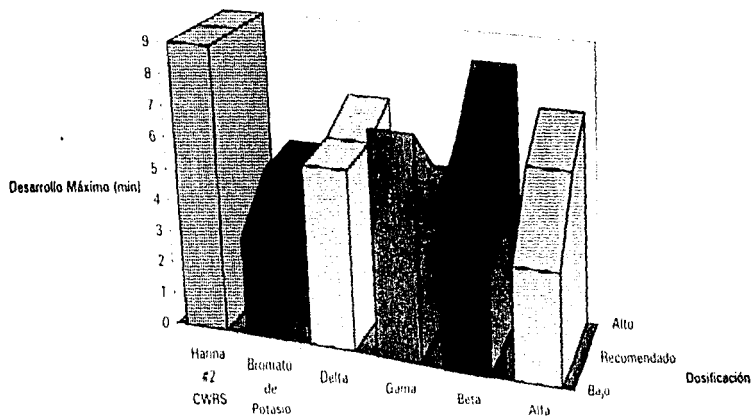
Gráfica no.1 % Absorción de Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS



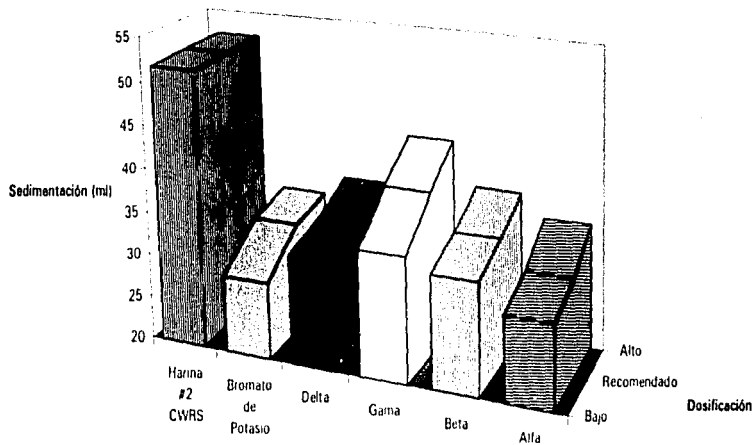
Gráfica no.2 Estabilidad de Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS



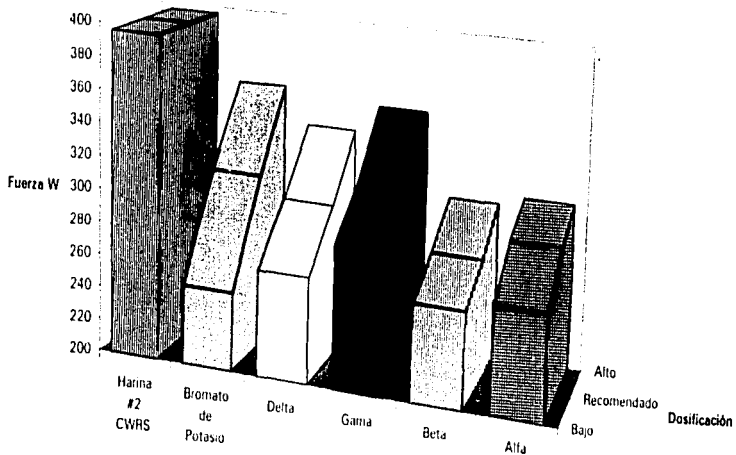
Gráfica no.3 Desarrollo Máximo de Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS



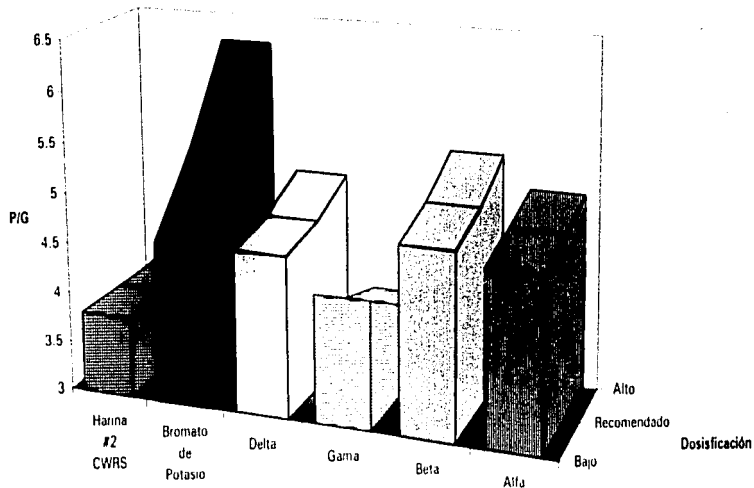
Gráfica no.4 Sedimentación de Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS



Gráfica no.5 Fuerza W de Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS



Gráfica no.6 Tenacidad/Extensibilidad P/G de Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS



4.2.3 Planta Piloto

Se realizaron las pruebas de panificación y la calificación del producto, de las harinas con y sin mejoradores, en el laboratorio central y de análisis sensorial de Organización Altex S.C.

4.2.3.1 Diseño de Pruebas

Desde el punto de vista de mejoradores de harinas se evaluaron solamente el volumen del producto, las características internas de la miga, la apariencia externa, la resistencia al manejo mecánico y respuesta al horneado, y el colapsamiento, con un tiempo de mezcladado de 15 minutos, el cual es superior al óptimo, (establecido en las condiciones de operación de la sección 10.1), para los diferentes niveles de dosificación de cada ingrediente. Con esto se pretende forzar las condiciones de operación, donde una harina de buena calidad panificable obtiene buenos resultados.

Se elaboró una masa de cada prueba, obteniendo nueve panes de cada masa, de donde se eliminaron el mejor y el peor, para poder hacerla representativa, se golpearon tres de cada corrida, para la evaluación, de la resistencia mecánica y respuesta en el horneado. Se presenta el promedio de las diferentes evaluaciones.

El resto de panes se embolsaron para su evaluación sensorial, al siguiente día de elaborados. Como el número total de pruebas implicaba la experimentación por una semana, en cada corrida se evaluaban dos ingredientes, en sus niveles de dosificación, corriendose en paralelo el control, con 0 ppm de bromato con harina nacional y el testigo con harina canadiense. Se presenta a continuación la tabla no 28 donde se presentan las pruebas a realizar.

Tabla no. 28 Tabla de Pruebas Experimentales.

Principio Activo	Bajo	Recomendado	Alto
Alfa	50 ppm	100 ppm	150 ppm
Beta	20 ppm	30 ppm	40 ppm
Gama	20 ppm	40 ppm	60 ppm
Delta	50 ppm	100 ppm	200 ppm
Bromato de Potasio	0 ppm (Control)	60 ppm	90 ppm
Harina #2 CWRS	sin mejorador		

4.2.3.2 Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de panificación de las harinas dosificadas con los diferentes niveles de mejoradores, en la tabla no. 29

Tabla no. 29 Resultados de Pruebas de Panificación para Harinas Dosificadas con Diferentes Mejoradores.

Principio Activo	Dosificación	Volumen Específico o V.E. (cc/g)	Resistencia Mecánica V.E.S.(%)	Jalón en el horno	Calidad Interna	Calidad Externa	Colapso miento
Alfa	50 ppm	3.14	44	M	2.6	5.6	5.7
	100 ppm	3.28	56	M	3.9	6.8	7.1
	150 ppm	3.34	59	R	4.1	5.7	8.0
Beta	20 ppm	3.25	53	R	3.4	5.7	5.5
	30 ppm	3.43	57	R	5.9	7.1	6.8
	40 ppm	3.81	64	B	6.1	7.9	7.6
Gamma	20 ppm	3.76	75	B	3.5	7.1	7.3
	40 ppm	4.26	82	MB	8.1	7.9	7.6
	60 ppm	4.82	89	MB	5.6	8.3	8.1
Delta	50 ppm	3.26	61	R	3.1	3.5	4.7
	100 ppm	3.94	78	R	3.5	5.8	6.6
	200 ppm	4.47	87	B	6.1	6.7	7.2
(Control) Bromato de Potasio	0 ppm	2.23	21	MM	1.2	1.1	0
	60 ppm	3.84	65	R	4.6	5.5	5.4
	90 ppm	3.41	72	B	2.6	4.1	7.6
Harina #2 CWRS	sin mejorador	4.55	100	MB	10	10	10

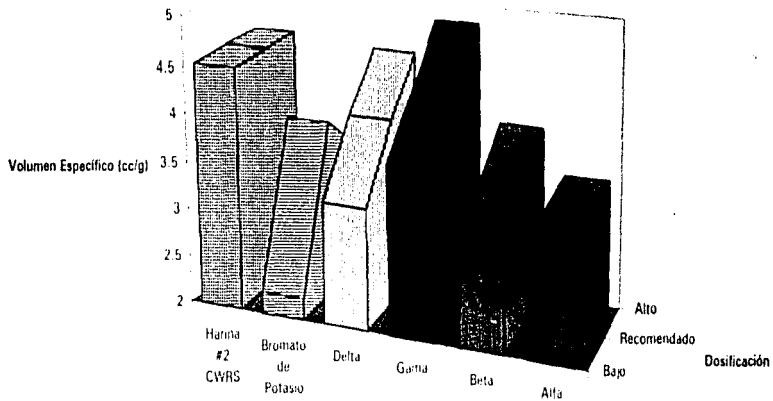
V.E.S. = Es el porcentaje del Volumen específico de un producto sometido a un golpe, comparandola a la harina de referencia (#2 CWRS)

4.2.3.3 Análisis de Resultados

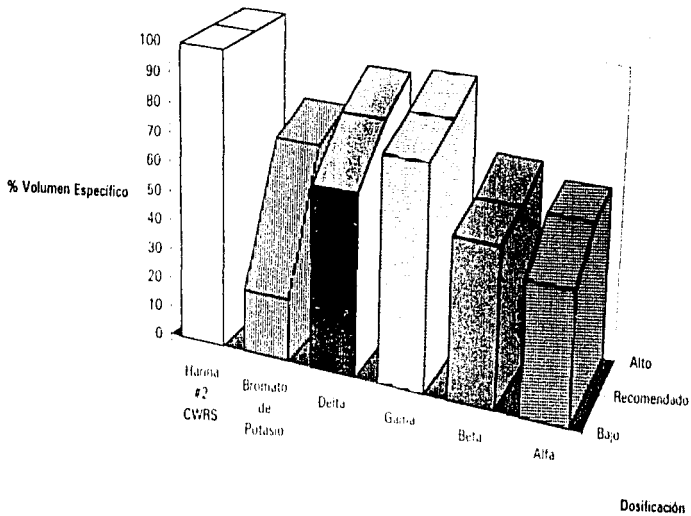
A partir de la tabla no 29 de resultados, podemos analizar lo siguiente

- ▲ El volumen específico del pan elaborado con la harina que fue dosificada con el ingrediente Gama, fue el mayor de todos, debido al efecto que estas tienen en la facilitación de la formación del gluten, permitiendo aumentar la retención del gas producido durante la fermentación. Se puede observar un comportamiento similar por parte del ingrediente Delta, aunque en menor medida, además, tanto el Alfa, como el Beta, tienen un efecto mejorador en la calidad de la harina desde el punto de vista del volumen específico, no siendo suficiente como para poderlos aceptar en forma aislada. Si observamos la respuesta a una sobredosificación del bromato, vemos que disminuye el volumen debido a que es excesivo el oxidamiento, impidiendo el crecimiento del producto y afectando sus demás características. Gráfica no 7.
- ▲ El producto elaborado con el ingrediente Delta y Gama se recupera en mayor medida que las masas elaboradas y reforzadas con productos de origen químico, posiblemente debido a que a la temperatura que se encuentra la masa a la salida de la cámara de vapor (40-42 °C) aún tienen un 9% de actividad de ambos ingredientes, mientras que el Alfa, el Beta y el Bromato de Potasio ya han actuado, debido a la temperatura de solubilización de cada uno. Gráfica no 8.
- ▲ Por otro lado, la respuesta en el horno o "hahón", no es adecuada en el pan dosificado con el ingrediente Beta, ni Alfa, siendo regular para aquel dosificado con el Delta y con Buena respuesta el dosificado con el Gama.
- ▲ Las características internas del producto con mejoradores, se vieron favorecidas en todos los casos, observándose una disminución en la calificación del producto en el nivel superior del ingrediente Gama, debido a que el grano del producto era muy abierto y aspero, mientras que los obtenidos por la dosificación de los niveles superiores de los demás productos fue mejor esafiada, con excepción del Bromato de potasio que se presentó con una grano muy cerrado, y denso, presentando algunas áreas densas y una corteza muy gruesa, debido a la sobreoxidación. Gráfico no 9.
- ▲ Todos los productos elaborados en los niveles recomendados por los proveedores, presentan características externas de los panes mejores a las del testigo, siendo las mejores las del Beta, Gama y Alfa, mientras que en el nivel superior de los Bromatos se observa una corteza gruesa, rugosa y seca. En el nivel superior del pan elaborado con el ingrediente Alfa, se presentaron pequeñas vejigas, con un color pálido de la corteza. Gráfico no 10.
- ▲ En el caso del colapsamiento de los productos, en todos los casos se mejora substancialmente, sin llegar a ser como el producto elaborado con harinas de mejor calidad panificable, siendo las mejores alternativas el Beta y el Gama. Gráfica no 11.

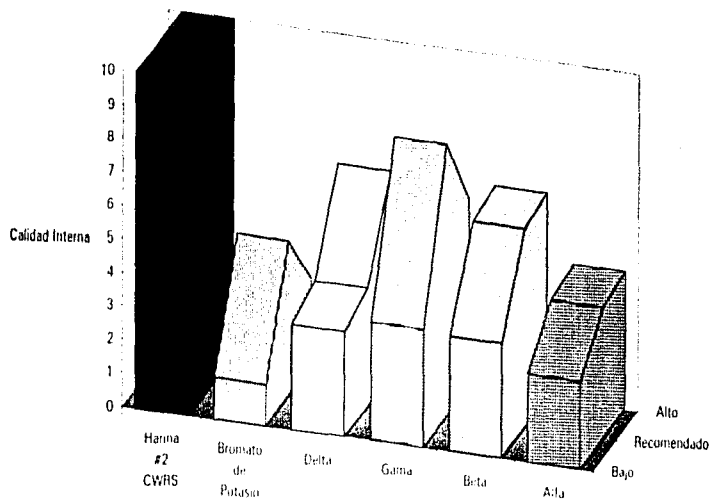
Gráfica no.7 Volumen Especifico de Pan Elaborado con Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS



Gráfica no.8 % Volumen Especifico de Pan Sometido a un Golpe, Elaborado con Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS

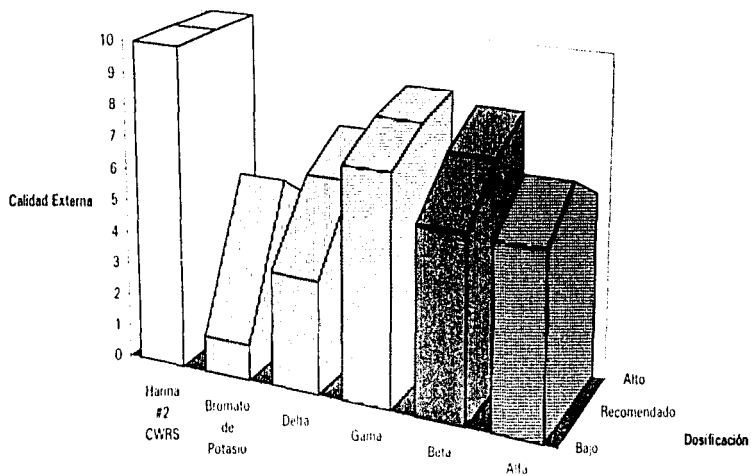


Gráfica no.9 Calidad Interna de Pan Elaborado con Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS

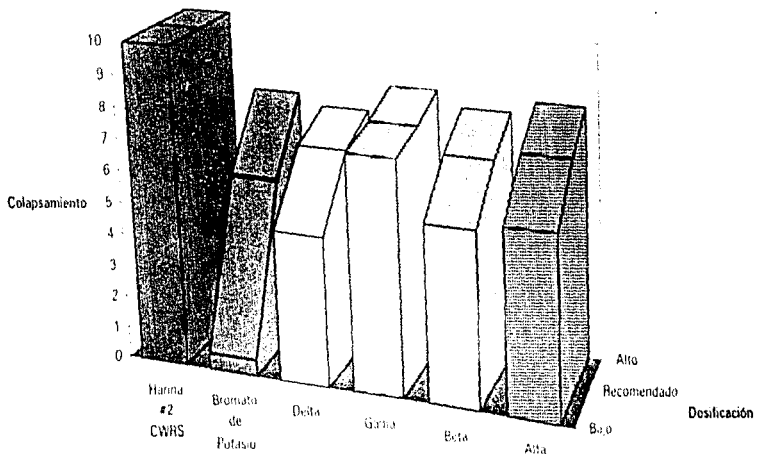


Alto
Recomendado

Gráfica no.10 Calidad Externa de Pan Elaborado con Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS



Gráfica no.11 Colapsamiento de Pan Elaborado con Harinas con Mejoradores comparado con Harina #2 CWRS



CAPÍTULO *CINCO*

***** *CONCLUSIONES*

5 CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, tanto en el laboratorio, como en la planta piloto podemos concluir que

- La estandarización de la alta calidad de una harina, es el principal objetivo de un molinero y el primer punto de control del panadero, ya que de esto depende en gran medida el control del proceso y por tanto el cumplimiento de la calidad especificada, siendo el consumidor, el principal juez de este complejo sistema
- Las Pentosanásas, presentan los mejores resultados, en términos analíticos, como funcionales, atribuibles, a un aumento en la capacidad de absorción de agua por parte de las pentosanásas de la harina, las cuales tienen la capacidad de absorber hasta diez veces su peso en agua, manteniéndola en forma ligada, hasta la etapa de horneado, donde ceden parte de esta para la gelatinización del almidón. Además facilitan la formación del gluten, por rompimiento de las hemicelulosas, las que actúan en la masa como agujas, que impiden el correcto acomodo de las cadenas de gluten, y por lo tanto no permiten la retención del gas producido durante la fermentación
- La adición de Acido Ascórbico a las harinas mejora los resultados analíticos de las harinas, pero no tiene una repercusión en la funcionalidad de la harina, durante el proceso de panificación, esto debido principalmente a que su temperatura de solubilización es relativamente baja, efectuando su proceso de oxidación durante la etapa de mezclado y al principio del modelado, lo cual se observa en la mejora de las características maquinables de estas masas. Una sobredosificación de Acido Ascórbico, tiene el inconveniente de producir masas tenaces, que no obtienen el desarrollo adecuado, demeritando la calidad del pan. Se recomienda probar con el Acido Ascórbico recubierto de un material graso de alto punto de fusión, para impedir que este actúe durante el mezclado, y presente un comportamiento similar al del Bromato de Potasio
- La Azodicarbonamida tiene un efecto moderado, cuando actúa en forma aislada, en los análisis de laboratorio y durante las pruebas de panificación, recomendándose realizar pruebas en forma de mezclas con algunas enzimas de tipo Pentosanásas, Lipoxigenásas, Gluco oxidásas, DAFEM s, y con Acido Ascórbico recubierto, para obtener una completa manera de mejorar la calidad de la harina
- El Bromato de Potasio sigue siendo el ingrediente más barato, cuya funcionalidad en el proceso de panificación hasta el momento es insustituible, por el beneficio en el control del proceso y su impacto en la mejora de la calidad, debido a su temperatura de solubilización, cercana a los 40 °C, lo que favorece la actuación durante la fermentación y en la primera fase de horneado, mejorando el "jalón" de la masa, e influyendo directa y positivamente en la calidad interna del producto. Una sobredosificación afecta negativamente al volumen y características internas del producto. Esto se ve afectado en la actualidad, por la legislación de algunos países europeos, Canadá, y algunos estados de Estados Unidos de América, por sus características carcinogénicas, lo que ha generado desde hace un par de años una carrera en la investigación de las alternativas para sustituirlo

- La Gluco-oxidasa es una enzima que no tiene un uso común en la actualidad, y que se encuentra en fase de experimentación a nivel industrial, observándose un efecto favorable en su funcionalidad, pero teniendo el inconveniente de ser un ingrediente indirecto, para obtener el resultado esperado, ya que actúa oxidando a la glucosa, convirtiéndolo en ácido gluconico, el cual genera la oxidación de los grupos sulfhidrilos de las proteínas, por lo que dependerá de la concentración de glucosa presente en la masa y esta a su vez de la actividad enzimática, y del porcentaje de almidón dañado de la harina
- Se recomienda realizar un estudio combinando los diferentes mejoradores presentados en este trabajo, para poder evaluar el efecto sinérgico y por lo tanto reducir el costo del producto terminado. Al igual que evaluar el efecto de estos mejoradores con algunos tipos de emulsificantes como son los Esteres de Monoglicéridos del Ácido Diacetil Tartarico DATEM, que son comúnmente empleados en la industria mundial de Panificación
- Existen otros mejoradores de la funcionalidad de la harina, como son la malta, las alfa-amilasas, el peróxido de benzoilo, los monoglicéridos destilados, etoxilados, succinatos, etc, pero no existe sustituto mejor que la propia calidad intrínseca del trigo y un buen proceso de molienda, para obtener un pan de alta calidad, con un comportamiento funcional uniforme, de lote a lote y de cosecha a cosecha. Siendo el factor económico el principal parámetro de decisión, para el uso de una harina de pobre calidad panificable, mejorada artificialmente o la compra de una harina de excelente calidad panificable, de un precio por kilo superior, a la primera, que deberá de evaluarse para cada caso el costo final del producto, ya que no siempre es mayor su impacto en el costo del producto terminado
- Con la información presentada en este trabajo se pretende dar un panorama de los factores que afectan la calidad de la harina, tanto desde su origen en el trigo, como durante los procesos de molienda y panificación, así como algunas alternativas de uso de los mejoradores actuales y potenciales, sin pretender ser este el único medio de mejorar y estandarizar una harina
- Se sugiere realizar un estudio variando las harinas, de diferentes proveedores y ajustándolas por medio de los mejoradores, considerando para el estudio a las pentosanases con fuente de mejora, con el objetivo de estandarizarlas
- El uso de enzimas como sustitutos de los oxidantes químicos tiene como beneficios adicionales, al mejoramiento de la viscoelasticidad de la masa y por tanto la facilidad durante el manejo de la misma, al mejoramiento de la estabilidad y tolerancia a los tratamientos mecánicos, el de tener un bajo costo, una imagen verde, en la etiqueta y poseer una facilidad de manejo

CAPÍTULO **SEIS**

***** **BIBLIOGRAFÍA**

6 BIBLIOGRAFÍA

- (1) Canadian International Grains Institute. **Grains & Oilseeds. Handling, Marketing, Processing.** C.I.G.I. Fourth Edition, 1993. Vol. I y II.
- (2) Pyle, E.J. **Baking Science & Technology**, Sosland Publishing Company, Third Edition, 1988. Vol. I y II.
- (3) Pomeranz, Y. **Wheat: Chemistry and Technology**. American Association of Cereal Chemists, Inc. Third Edition, 1988. Vol I y II.
- (4) Badui, S.D. **Química de los Alimentos**. Alhambra Mexicana. Primera Edición, 1981.
- (5) Desrosier, N.W. **Elements of Food Technology**. AVI Publishing Company, Inc. First Edition, 1977.
- (6) R.C. Hosney and J.M. Faubion. **A mechanism for the Oxidative Gelation of Wheat Flour Water-Soluble pentosans**. Cereal Chemistry, Vol. 58, No. 5, 1981. Pag. 421-424
- (7) T Geissmann and H. Neukom. **On the Composition of the Water Soluble Wheat Flour Pentosans and their Oxidative Gelation.** Lebensm-Wiss. u. Technol Vol. 6, No. 2, 1973, Pag. 59-62
- (8) Shuey, W. C y Keith H. T. **The Amylograph Handbook**. American Association of Cereal Chemists, Inc. Second Printing, 1980.
- (9) Brabender, C.W. **Food Quality Testing with Brabender**. Brabender, C.W. Instruments, Inc. Manual de Equipos de Laboratorio de Brabender. 1989.
- (10) A.A.C.C. **Approved Methods of AACC**. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, 1983.
- (11) Preston, K.R. y Dexter, J.E. **Effects of Starch Damage and Water Absorption on the Alveograph Properties of Canadian Hard Red Springs Wheats**. Canadian Institute of Food Science and Technology, Vol. 20, No. 3, 1987. Pag. 75-80.

- (12) Ramírez, B., López, G. **Cambios Químicos, Físicos, Reológicos y de Panificación que sufre la Harina de Trigo Panadero durante Periodos cortos de Almacenamiento.** Revista de Ciencias Alimenticias, Vol. 1, No. 3, 1991. Pag. 7-13.
- (13) Tipples, K.H. **Quality Evaluation Methods for Red Spring Wheat.** Grain Research Laboratory Canadian Grain Commission, Second Edition, 1992.
- (14) Preston, K.R. y Dexter, J.B. **Quality of Western Canadian Wheat 1992.** Grain Research Laboratory Canadian Grain Commission, Crop Bulletin No. 198, ISSN 0829 - 8718, 1992.
- (15) Tipples, K.H. **Quality of Western Canadian Wheat Exports October 1992.** Grain Research Laboratory Canadian Grain Commission, Cargo Bulletin No. 269, October 1992.
- (16) Office of the Chief Grain Inspector. **Official Grain Grading Guide Wheat.** Canadian Grain Commission, Inspection Division.
- (17) U.S. Wheat Associates. **1995 Crop Quality Report.** Sponsored by U.S. Wheat Associates i ncooperation with Foreign Agricultural Service, USDA, November, 1995.
- (18) Rouau, X y Moreau, D. **Modification of some Physicochemical Properties of Wheat Flour Pentosans by an Enzyme Complex Recommended for Baking.** Cereal Chemistry, Vol. 70, No. 6, 1993. Pag. 626-632
- (19) Rouau, X. **Investigations into the Effects of an Enzyme Preparation for Baking on Wheat Flour Dough Pentosans.** Journal of Cereal Science, Vol. 18, 1993. Pag. 145-157
- (20) Elf-Atochem **Current Status On The Use Of Bromate In Flour And Bread.** Technical Bulletin, Atochem Elf-Aquitaine, 1995.
- (21) Dubois, D.K. **Enzymes in Baking. Classification.** Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. II, Issue 10, October, 1980.
- (22) Dubois, D.K. **Enzymes in Baking. Applications.** Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. II, Issue 11, November, 1980.
- (23) Dubois, D.K. **Enzymes in Baking. Products.** Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. II, Issue 12, December, 1980.

- (24) Schiller, G.W. **Bakery Flour Specifications**, Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. III, Issue 2, February, 1981.
- (25) Dubois, D. **Oxidation in Baking Processes**, Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. III, Issue 6, June, 1981.
- (26) Hickenbottom, J.W. **Malts in Bakery Foods**, Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. V, Issue 3, March, 1983.
- (27) Eustace, D. **Wheat Flour Milling**, Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. X, Issue 11, November, 1988.
- (28) Faridi, H. **Farinograph and Alveograph Applications in Flour Testing**, Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. XII, Issue 7, July, 1990.
- (29) Doerry, W. **Replacement of Potassium Bromate in White and Variety Breads**, Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. XIII, Issue 7, July, 1991.
- (30) Ranum, P. **Flour Treatment and Additives**, Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. XIV, Issue 5, May, 1992.
- (31) Maningat, C.C. y Hesser, J.M. **Wheat Gluten in Food and Non-Food Systems**, Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, Vol. XVI, Issue 6, June, 1994.
- (32) Ranum, P y DeStefanis, V.A. **Use of Fungal Alpha-Amylase in Milling and Baking**, Cereal Foods World Vol. 35, No.9, September, 1990, Pag. 931-933.
- (33) Food and Drug Administration **21 Code of Federal Regulations 1992**, FDA patrs 100 to 169, April, 1992. Pag. 262-265.
- (34) Association of Official Analytical Chemist 1990. **Official Methods of Analysis**, 15th Edition, 1990. Pag.369-385.
- (35) Secretaria de Salud. **Ley General de Salud**, Tercera Edición, 1993.
- (36) Secretaria de Salud. **Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana. Harinas de Cereales. Disposiciones Sanitarias, Especificaciones Sanitarias y Nutrimientales** NOM-000-SSA-1995.

(37) **Regulatory Impact Analysis Statement, Regulatory Proposal For Withdrawal Of Permission for Use Of Potassium Bromate In Foods Sold In Canada.** Bcc Official Representatives, May 6, 1993

(38) Scott, D. **Enzymes In Food Processing.** Academic Press Inc. Second Edition , 1975

(39) Ranum, P. **Oxidation up-date.** Elf-Atochem , 1995

(40) **Adios al Bromato.** Editorial, Noticias Techipan, Año III, No 143, Febrero, 1992

CAPÍTULO **SIETE**

INDICE DE TABLAS ,
******* FIGURAS Y GRAFICAS**

7 INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y GRAFICAS

TABLAS

Tabla no 1 Composicion de un Grano de Trigo	12
Tabla no 2 Composicion del Trigo por Grupo de Compuestos	12
Tabla no 3 Composicion Aproximada de las Capas de Salvado	13
Tabla no 4 Composicion Aproximada del Germen	13
Tabla no 5 Distribucion Tipica de las Proteinas en un Grano de Trigo	14
Tabla no 6 Grados y Requerimientos de Grado para Todas las Clases de Trigos E U A	16
Tabla no 7 Grados y Requerimientos de Grado para Todas las Clases de Trigos Mexico	16
Tabla no 8 Grados y Requerimientos de Grado para Todas las Clases de Trigos Canada	16
Tabla no 9 Cosecha Mundial de Trigo por Mes y Pais	17
Tabla no 10 Boletin de Cargo de Calidad de Trigo Canadiense de Octubre de 1992	25
Tabla no 11 Equipos de Limpieza de Trigo en Base a sus Caracteristicas Fisicas	29
Tabla no 12 Caracteristicas de calidad de diferentes corrientes de un molino	33
Tabla no 13 Requerimientos de Enriquecimiento de Harina y Pan en Estados Unidos	37
Tabla no 14 Aditivos Comunmente Empleados en Harinas	39
Tabla no 15 Formulacion Tipica de Pan Blanco	43
Tabla no 16 Fenómenos durante el proceso de Coccion	50
Tabla no 17 Analisis de Gluten Húmedo y Seco	59
Tabla no 18 Mezclas de Harinas para Obtener 0.45% Cenizas	60
Tabla no 19 Calificacion de Calidad de Harinas por Evaluacion de Producto terminado Cargill Milling	70
Tabla no 20 Carta de uso de Gluten de Trigo para Incrementar el Contenido de Proteinas de Harinas Ordinarias	73
Tabla no 21 Porcentajes de uso de Gluten de Trigo Vital en Diferentes Productos	74
Tabla no 22 Niveles Permitidos de Oxidantes y su Velocidad de Reaccion	74
Tabla no 23 Termoestabilidad de Alfa-amilasas de Diferentes Fuentes	79
Tabla no 24 Caracteristicas de Masa y Pan por Dosificacion de Mejoradores	84
Tabla no 25 Mejoradores y Niveles de Dosificacion	95
Tabla no 26 Analisis Iniciales de Harinas para Pruebas	96

Tabla no 27 Análisis de Harinas de Prueba.....	97
Tabla no 28 Tabla de Pruebas Experimentales	105
Tabla no 29 Resultados de Pruebas de Panificación para Harinas Dosificadas con Diferentes Mejoradores	106

FIGURAS

Figura no 1 Clasificación Genérica del Trigo	11
Figura no 2 Componentes Principales del Trigo	12
Figura no 3 Mapa Mundial de Zonas de Producción de Trigo	18
Figura no 4 Mapa de Norteamérica y sus Principales Zonas Productoras de Trigo	18
Figura no 5 Relación de Dureza del Trigo y Funcionalidad de la Harina	20
Figura no 6 Relación de Dureza del Trigo y Funcionalidad de Productos Terminados	21
Figura no 7 Funcionalidad de la Harina en base a Parámetros Farinográficos de Estabilidad e Índice de Tolerancia al Mezclado	22
Figura no 8 Clasificación de Trigos por Origen, Tipo y Características Reológicas de las Masas	23
Figura no 9 Niveles de Proteínas de las Harinas, en Base al Tipo de Producto y Regiones de Cultivo	24
Figura no 10 Diagrama Esquemático del Proceso de Molienda y sus Etapas Principales	27
Figura no 11 Diagrama de Flujo de la Preparación del Trigo	30
Figura no 12 Elaboración de Harinas de Diferentes Calidades por Mezcla de Harinas	34
Figura no 13 Cuadro Esquemático de Rendimientos y Tipos de Harinas	36
Figura no 14 Alveograma de una Harina y el Efecto del Porcentaje de Almudón Dañado	62
Figura no 15 Farinograma de una Harina Débil, una Bien Balanceada y una Muy Fuerte	64
Figura no 16 Viscoamilograma de una Harina con Buena Actividad Enzimática	67
Figura no 17 Correlación del Porcentaje de Proteínas y el Volumen del Pan	69

GRAFICAS

Gráfica no 1 % Absorción de Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	99
Gráfica no 2 Estabilidad de Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	100
Gráfica no 3 Desarrollo Máximo de Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	101
Gráfica no 4 Sedimentación de Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	102
Gráfica no 5 Fuerza "W" de Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	103
Gráfica no 6 Tenacidad/Elasticidad de Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	104
Gráfica no 7 Volumen Especifico de Pan Elaborado con Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	108
Gráfica no 8 ° Volumen Especifico de Pan Sometido a un Golpe, Elaborado con Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	109
Gráfica no 9 Calidad Interna de Pan Elaborado con Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	110
Gráfica no 10 Calidad Externa de Pan Elaborado con Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	111
Gráfica no 11 Colapsamiento de Pan Elaborado con Harinas con Mejoradores vs Harina #2 CWRS	112