



300627
21
203

UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**ESTUDIO DEL EFECTO DE DIFERENTES
COMPUESTOS OXIDANTES Y ENZIMATICOS Y SUS
MEZCLAS, SOBRE HARINA DE TRIGO GRUPO 2**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A :
LAURENCIA ELISA MEYRAN FOUQUE

DIRECTOR DE TESIS: ING. CARLOS AGUIRRE ACOSTA

MEXICO, D. F.

1983

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

INDICE

	Pág.
A). OBJETIVOS.	1
B). INTRODUCCION.	2
I). GENERALIDADES.	6
1) Trigo.	6
a) Características del trigo.	6
b) Estructura.	7
c) Clasificación de trigos.	7
d) Tipos varietales mexicanos; características básicas y composición.	9
2) Molienda.	14
a) Recepción del trigo.	14
b) Almacenamiento del trigo.	15
c) Acondicionamiento del trigo.	16
d) Obtención de harina y purificación.	17
e) Separación de corrientes de diferentes harinas. y de diferentes subproductos.	18
f) Diagrama simplificado de la molienda del trigo.	20
3) Análisis general de las harinas.	21
a) Calidad.	21
b) Composición.	21
4) Comportamiento reológico de la masa.	25
II) ANALISIS Y CONTROL DE LAS HARINAS.	26
2.1) Pruebas bromatológicas.	26
a) Humedad.	26
b) Granulometría.	27
c) Gluten.	28
d) Gluten húmedo.	28
e) Color.	29
f) Cenizas.	30
g) Proteínas.	31

	Pág.
2.2) Pruebas reológicas.	32
Alveogramas.	32
III) ADITIVOS PARA HARINAS.	35
3.1) Oxidantes.	37
Clasificación y características.	37
a) Fosfato ácido de calcio.	38
b) Persulfato de amonio.	38
c) Bromato y yodato de potasio.	39
d) Acido succínico y ácido ascórbico.	41
e) Azodicarbonamida.	42
f) Peróxido de acetona.	42
3.2) Blanqueadores.	46
Clasificación y características.	46
a) Peróxido de benzoilo.	46
b) Peróxido de nitrógeno.	47
c) Tricloruro de nitrógeno.	47
d) Cloro.	47
e) Dióxido de cloro.	47
3.3) Compuestos enzimáticos.	48
a) Harina de malta diástasica.	48
b) Alfa-amilasa fúngica.	48
c) Proteasas fúngicas y bacterianas.	49
d) Actividad diastásica del trigo y sus productos.	49
e) Actividad proteolítica del trigo y sus productos.	50
f) Modo de acción de las amilasas.	51
g) Modo de acción de las proteasas.	51
h) Efecto de las amilasas en las características del pan.	52
i) Efecto de las proteasas en las características del pan.	52
j) Métodos en la adición de amilasas.	52
k) Método en la adición de proteasas.	52
IV) PANIFICACION.	54
4.1) Función de los ingredientes.	54
a) Harina.	54
b) Agua.	55
c) Levadura.	56
d) Sal.	57
e) Azúcar.	56
f) Ingredientes adicionales.	56

	Pág.
4.2) Amasado.	58
a) Hidratación y formación de la masa.	58
b) Función de las proteínas de trigo en panificación. Acción de las enzimas proteolíticas.	59
c) Propiedades funcionales de los lípidos en panificación.	60
4.3) Fermentación.	61
a) Acción de las amilasas.	61
b) Fermentación de los azúcares por la levadura.	62
c) Diferentes fases de la fermentación.	63
d) Producción y retención de gas.	64
4.4) Horneado.	64
a) Evolución de la masa en el horno.	64
b) Formación de la costra.	66
c) Enfriado y envejecimiento del pan.	66
4.5) Procedimientos de panificación	67
a) Tradicional.	67
b) Esponja.	68
c) Amasado continuo.	68
d) Chorleywood.	68
e) Diagrama de bloques de elaboración del pan.	69
V) MATERIAL Y METODOS.	70
5.1) Selección de diferentes variedades de trigos.	70
5.2) Molienda.	70
5.3) Análisis de la harina.	71
a) Humedad.	71
b) Gluten húmedo.	71
c) Gluten seco.	71
d) Color.	71
e) Cenizas.	71
f) Proteína cruda.	72
5.4) Adición de los aditivos en forma independiente y en diferentes concentraciones.	72
5.5) Realización de alveogramas.	73

5.6)	Prueba de panificación con ácido ascórbico.	75
5.7)	Pruebas con mezclas de aditivos.	77
a)	Molienda.	77
b)	Análisis de la harina.	77
c)	Adición de mezclas de aditivos en diferentes concentraciones.	77
d)	Prueba de panificación.	80
VI)	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	81
6.1)	Resultados.	81
a)	Tabla resumen de las pruebas bromatológicas.	81
b)	Tabla resumen de las pruebas reológicas (alveogramas).	81
6.2)	Selección de las mezclas óptimas en base al alveograma y pruebas confirmativas.	106
6.3)	Pruebas físicas valorativas de panificación con A.A. y mezclas.	111
VII)	CONCLUSIONES.	115
VIII)	BIBLIOGRAFIA.	117

A) OBJETIVOS

- 1) Estudiar el efecto de los aditivos (oxidantes, agentes enzimáticos), en el comportamiento de la harina proveniente de trigo tipo 2 mexicano.
- 2) Optimizar las dosis a utilizar en una harina cualquiera a fin de estandarizarla para un uso específico.
- 3) Crear una base de datos que permitan establecer las relaciones existentes entre las características iniciales de la harina, las de los aditivos, su concentración y el efecto sobre el producto final.

B) INTRODUCCION

La harina de trigo es usada ampliamente en la dieta del ser humano. Su uso en la fabricación de pan de fermentación en todos sus tipos, galletas, pasteles y pastas es profuso y extendido en la mayoría de los países.

La calidad en la harina de trigo es un término hasta cierto punto ambiguo ya que una harina puede ser buena para cierto fin y mala para otros; así una harina para pan es generalmente mala para galletas o pastas y viceversa.

En base a una clasificación ya preestablecida, existen varios grupos de trigos en México con sus alveogramas típicos y características singulares. Si los molinos de trigo tienen el cuidado de seleccionar sus trigos por los mencionados grupos, almacenándolos separadamente y usarlos adecuadamente, tienen en gran parte asegurada la calidad de su harina.

Desafortunadamente por las diferencias genéticas de las semillas, las diferencias geográficas entre las regiones en donde se cultivan las distintas variedades y los molinos de trigo, es en ocasiones difícil para cada molino obtener la variedad adecuada para fabricar la harina que satisfaga las demandas del mercado local.

El no contar los molinos con los trigos adecuados hace que éstos dependan de los otros dos factores - el proceso de molienda y los aditivos - para asegurar en su harina la calidad necesaria dependiendo del producto al cual está destinada (18,71).

Un aditivo alimentario se puede definir como: Una sustancia o mezcla de sustancias que están presentes en el alimento, con la finalidad de mejorar sus características, almacenaje o empaque. La decisión para aceptar un aditivo, corresponde a las autoridades sanitarias, y se fundamenta en que la dosis de empleo, esté por debajo de cualquier nivel peligroso para los consumidores (9,60).

Los efectos benéfico y dañino de los aditivos alimentarios son difíciles de cuantificar y con frecuencia han sido exagerados; por un lado, el productor del aditivo alimentario le atribuye a éste muchas cualidades, mientras que los resultados de muchas investigaciones han determinado que si se exceden ciertas cantidades de algún aditivo, representan efecto tóxico. En cierta medida, ambos tienen bases para sus aseveraciones pero no son suficientes para generalizar con todos los aditivos alimentarios.

En la industria panadera es común que el tecnólogo de alimentos utilice productos que mejoren la calidad de un producto, sea por pérdida de sabor en el proceso, obtención de mejor textura, color etc., o simplemente para proporcionarle sabor a un producto que no lo tiene, para hacerlo agradable al paladar. De hecho, la mera existencia y disponibilidad de muchos alimentos nuevos, sólo es posible en función de los productos químicos que preservan, estabilizan, elevan, espesan, emulsifican o contribuyen al color, sabor, o se adicionan como nutrientes.

Si existe un efecto dañino de los aditivos, este es difícil de determinar, pero por regla general éste se exagera. La solución no se encuentra en un cambio total a alimentos "naturales", lo más acorde es una reglamentación inteligente.

Debido a la vecindad de los Estados Unidos de Norteamérica con México, se tiene una gran influencia sobre las regulaciones de los aditivos alimentarios, de hecho, la mayoría de los usados en nuestro país son los que se encuentran en la lista de sustancias reconocidas como seguras en Estados Unidos de Norteamérica, determinado ésto por la F.D.A. (Food and Drug Administration) (46,32).

Al parecer, al hablar de los procesos de panificación no existe relación con todo lo anteriormente expuesto, pero no es así; un análisis profundo de este proceso lleva a concluir que se trata de un trabajo fácil de mecanismo complejo puesto que obtener un pan, hacerlo presentable por medio de ciertas características y darle una vida de anaquel, constituye una serie de conocimientos serios en los cuales es posible que tengan alguna intervención los aditivos alimentarios.

El arte de obtención del pan se ha venido practicando desde tiempos muy remotos, Egipto es, probablemente, el primer pueblo que comenzó a panificar el trigo de una manera muy tosca: en una piedra se ponía un poco de trigo, que se trituraba con otra piedra más pequeña; la tosca y desigual harina que así se formaba, la mezclaban con un poco de agua y un poco de masa de la víspera, la cual servía de levadura. Reducida a pequeñas tortas, esta masa era cubierta con ceniza caliente. Recordando que el combustible fue generalmente estiércol, se comprende rá que el sabor de aquel pan no debía de ser el todo agradable.

El pan ha tenido su mayor auge en países europeos, en donde el trigo es uno de los principales cultivos, extendiéndose posteriormente a países del continente americano. Como alimento es muy bien asimilado por el organismo y constituye un importante aporte calórico. Respecto a su calidad proteínica, presenta la deficiencia del trigo en contenido de lisina (3,4).

Para que el pan sea de buena calidad debe alcanzar suficiente volumen, aspecto atractivo tanto en forma como en color y una miga finamente vesiculada y suficientemente blanda para facilitar la masticación, pero al mismo tiempo suficientemente firme para que se le pueda cortar en rebanadas. La obtención del pan de buena calidad depende de las características inherentes a sus ingredientes, particularmente la harina, y también en parte al proceso de horneado.

Quando el consumidor se interesa y acepta determinada variedad especializada de panes con el concepto discriminativo de calidad que él tiene, los panificadores están pidiendo constantemente que se encuentren ingredientes y tecnologías que proporcionen productos consistentes y deseables. Por ello existen, dentro de las variedades de pan, algunas en las que su período de elaboración se incorporan una serie de sustancias químicas con diferentes propósitos y que son las que en un momento dado marcarán las diferencias básicas entre un tipo de pan y otro (32).

Si el consumidor ha de elegir un pan en base a su calidad, debería también preguntarse el porqué de cierta textura, determinado volumen, suavidad, valor nutritivo, etc. y entonces podría tener un camino para evaluar a los aditivos, que aunque en una área muy específica, no dista de ser el comportamiento real generalizado de los aditivos en todos los otros alimentos. En general se establece que la adición de tales compuestos tenga un objetivo claramente definido y tales objetivos pueden ser los de proteger a los alimentos de la descomposición, resaltar su sabor, mejorar su valor nutritivo o para producir nuevas o mejores propiedades específicas. De cualquier manera, un aditivo no debe ser utilizado para encubrir falta de higiene ni tampoco si no tiene una finalidad de uso específico o para justificar el engaño al consumidor pretendiendo encubrir faltas en el proceso, mala calidad y técnicas de manejo.

Tampoco tiene que causar una reducción considerable del valor nutritivo del alimento y no ser nocivo a la salud en la dosis utilizada (58,46).

Los aditivos alimentarios pueden favorecer a un pan desde varios puntos de vista, pero ello no obliga a usarlos; de hecho existen varios tipos de pan elaborados sin ningún aditivo, ejemplo de ello son los "naturistas", el pan fabricado en pequeñas panaderías y el pan fabricado en el hogar. El usar o no aditivos en panificación, puede ser una consecuencia de la demanda tan grande de pan y que día a día es mayor la necesidad de canales de distribución más efectivos y las exigencias de calidad cada vez mayores; el pan sin aditivos constituye un producto de consumo "inmediato", esto es se fabrica a determinada hora y en el mismo día se consume debido a que pierde cualidades tales como textura y aroma, además de que su velocidad de envejecimiento es mayor.

Sería difícil en estos tiempos encontrar un molino de trigo que no agregue una sustancia química en la harina ya sea en forma de polvo o de gas. El tipo de aditivo es variado ya que la calidad del producto depende en gran parte del uso apropiado de estos aditivos químicos.

En ocasiones, se necesita una harina más blanca que otra (pasteles, pastas) o más extensibles (galletas), en otras ocasiones se necesitan harinas que produzcan masas más tenaces (pastas).

El pan francés, el pan de caja o de molde, o el bolillo, se prefieren de buen volumen, textura uniforme, color blanco brillante en la miga y un color dorado en la costra. Todo esto se puede conseguir mediante el uso del producto químico adecuado (70).

También, el problema de las variedades de trigo es grandemente aliviado mediante el uso de los aditivos químicos: así a una harina para pastas puede dársele una tenacidad y color más apropiado; a una harina para galletas puede dársele una mayor capacidad de fermentación y extensibilidad para mejorar la apariencia de las mismas y a un pan francés o al bolillo puede mejorarse en volumen y color mediante el uso de agentes químicos, importando menos la variedad del trigo usado en la fabricación de la harina.

Hoy por hoy, el uso de los aditivos en la harina va en aumento y los dosificadores de estos productos son ya parte del equipo de todo molino. Hay varios factores que contribuyen al aumento en el consumo de estos aditivos:

La cantidad de productos hechos con harina de trigo es hoy en día más numerosa.

Las posibilidades de conseguir las diferentes variedades adecuadas es cada día más remota.

Los fabricantes de harina necesitan mejores rendimientos para compensar los altos costos de producción y materia prima.

La ruda competencia que obliga al fabricante de harina a producir harinas de mejor calidad para lo cual ayudan grandemente los aditivos.

Es casi seguro el hecho de que mientras no se descubra una variedad de grano que sirva para todos los productos de trigo, o exista una mejora genética de los granos, el uso de aditivos seguirá siendo necesario ya que no existe en la actualidad ningún tipo de harina que no pueda mejorarse mediante la adición de algún aditivo (54,63).

I). GENERALIDADES

1) Trigo

a) Características del trigo.

El trigo es el más importante de los cereales y como crece en la mayoría de tipos de suelos y en climas moderadamente templados, es uno de los cultivos más ampliamente distribuidos por el mundo.

Clasificación del trigo:

Reino.....	Vegetal
Sub-reino.....	Fanerógamas
Tipo.....	Angiospermas
Clase.....	Monocotiledóneas
Sub-clase.....	Apetalas
Orden.....	Gramíneas
Familia.....	Graminácea
Género.....	Triticum
Especie.....	Dicocum

La familia de las gramíneas destaca sobre todas las otras plantas utilizadas como fuente de alimentos. A los granos comestibles obtenidos de especies de esta familia se les llama cereales, de los cuales el trigo, el maíz y el arroz son los más importantes (37,61).

Todos los trigos silvestres y cultivados pertenecen al género -- Triticum. Existen 14 especies comúnmente reconocidas de Triticum, las cuales están divididas en tres subgrupos (diploides, tetraploides y -- hexaploides) basados en el número de cromosomas presentes en sus células reproductivas. Casi todo el trigo en el mundo es hexaploide conocido botánicamente como Triticum aestivum, su grano puede tener una textura dura o suave y su color puede ser café rojizo o blanco. Los duros son utilizados en la elaboración de panes y los suaves para galletas, panes de dulce, etc. Un tipo tetraploide de trigo duro (Triticum durum) es adecuado para pastas y es de color ambar o café rojizo (13).

Condiciones de cultivo.

El trigo se cultiva prácticamente en todo el mundo, desde las -- proximidades de las tierras árticas hasta cerca del Ecuador. El trigo crece mejor en los suelos pesados de arcilla, aunque produce un rendimiento satisfactorio en los ligeros. La planta necesita un fuerte -- aporte nitrogenado y florece tanto en los climas subtropicales como en los templados y en los fríos. Una lluvia anual de 230 a 760 mm cayendo más en primavera que en verano, parece ser la más apropiada. La -- temperatura media del verano debe ser de 13°C o más (16).

b) Estructura

El grano de trigo es una cariopside desnuda; Consiste de una cubierta (pericarpio) y la semilla, la cual está cubierta por una envoltura, el germen y el endospermo. Estas partes se distribuyen de la siguiente manera: pericarpio (5-8%), capa de aleurona (6-7%), endospermo (81-83%), germen (1-1.5%) y escutelo (1-2%).

Pericarpio.

Alrededor del grano está el pericarpio, dividido en epidermis, epicarpio y endocarpio; es una pared de células rectangulares, delgadas y largas; sus capas externas frecuentemente se desprenden durante la limpieza, acondicionamiento o molienda.

Testa y capa hialina.

La testa o cubierta de la semilla es una capa fina, sencilla o doble con estructura celular. La capa interior de la testa está pigmentada y da al grano su color característico. La capa hialina es incolora y no posee estructura celular. La capa impermeable es la testa.

Aleurona.

Es una capa sencilla formada por células cúbicas de paredes gruesas, cuyo contenido está libre de almidón pero es rico en proteína y grasa, morfológicamente es la parte más externa del endospermo. Durante la molienda, las capas externas se remueven junto con la aleurona para dar la fracción llamada salvado.

Endospermo.

Consiste de células empacadas en gránulos de almidón incrustados en una matriz protéica; las células cercanas a la aleurona son pequeñas y cúbicas y las del centro largas y poligonales. La parte externa tiene un contenido de proteína aproximadamente del 50% y la central del 8% (36,41).

Germen

Constituido por dos partes: el eje embrionario que se desarrolla hasta dar lugar a la planta y que está formado por la plúmula y la radícula; y el escutelo, órgano en forma de escudo situado entre el eje y el endospermo que tiene como función movilizar las reservas alimenticias almacenadas en el endospermo y enviarlas al embrión cuando el grano germina. El eje y el escutelo son ricos en proteínas y grasas (26).

c) Clasificación de trigos (18,41).

Trigo de invierno.

El grano germina en otoño y crece despacio hasta la primavera, al crecer en climas de temperatura y pluviosidad más constante, madura más despacio, produciendo mayores rendimientos y un producto de menor contenido de proteína con gluten relativamente débil, más apto para la elaboración de galletas y pasteles.

Trigo de primavera.

Las condiciones climáticas de los países donde se cultiva este trigo - máxima pluviosidad en primavera y comienzo del verano con máxima temperatura a mitad y final del verano - favorecen la producción de granos de maduración rápida con endospermo de textura vítrea y elevado contenido protéico, muy adecuados para panadería.

Trigos vítreos y harinosos.

La textura del endospermo puede ser vítrea o harinosa, siendo este carácter influenciado por las condiciones ambientales además de que es hereditario. El *Triticum durum* es una especie de estructura vítrea, mas los utilizados en la elaboración de pan y galletas la tienen harinosa. El carácter harinoso se favorece cuando hay pluviosidad elevada y suelos ligeros y arenosos; el vítreo se puede inducir con abonos nitrogenados y está relacionado con un elevado contenido de proteína. Los granos vítreos son translúcidos y aparecen brillantes, mientras los harinosos son opacos y oscuros.

Trigos duros y blandos.

Los trigos duros proporcionan una harina de tamaño grande, arenosa y fácil de cernir, formada por partículas de forma regular que son en su mayoría células enteras del endospermo y partículas planas que se adhieren unas a otras y tienden a obturar las aberturas de los cedazos. La dureza afecta la facilidad con que el endospermo se separa del salvado. En los trigos duros, las células del endospermo se separan con mayor limpieza y permanecen más intactas, mientras que en los trigos blandos las células periféricas del endospermo tienden a fragmentarse, unas se separan y otras quedan unidas al salvado.

Trigos fuertes y flojos.

La fuerza del trigo está relacionada con sus propiedades panaderas o sea la capacidad de una harina para producir pan en piezas de gran volumen con miga de buena textura. Los trigos que poseen estas características generalmente tienen un elevado contenido de proteína y se les llama trigos fuertes, mientras aquellos de los que sólo se pueden tener pequeñas piezas panaderas con miga de estructura abierta (con bajo contenido de proteína) se les denomina trigos flojos y su harina es ideal para la fabricación de galletas, pasteles, etc., pero no para pan. La harina de los trigos fuertes se puede mezclar con cierta proporción con harina de trigos flojos. Los granos vítreos tienden a ser duros y fuertes, los harinosos blandos y débiles pero la asociación no es invariable.

d) Tipos varietales mexicanos: sus características básicas y su composición (20).

La calidad de la harina depende en su mayor parte del tipo de trigo usado para la fabricación de la misma. Así una harina será suave, fuerte o dura dependiendo si se usaron trigos suaves, fuertes o duros para su fabricación. En México los trigos se clasifican en 5 grupos de acuerdo a sus propiedades físico-químicas:

Los trigos del grupo 1 llamados generalmente trigos fuertes o duros, son los mas altos en proteínas y en peso específico; poseen buena fuerza general, elasticidad normal del gluten, excelente volumen de pan y buen rendimiento de harina. Los trigos de este grupo son ideales para pan de caja.

Los trigos del segundo grupo llamados medio fuertes son generalmente más bajos en proteínas y en fuerza general, por lo que rinden un pan de menor volumen que los trigos del grupo 1. Este segundo grupo de trigos se usa generalmente para pan francés o pan dulce de fermentación, también son adecuados para galleta salada.

Los trigos del grupo 3 ó trigos suaves son de gluten elástico y extensible, baja fuerza general, bajo volumen del pan, pero ideales para la industria galletera. Actualmente existe escasez en la producción de estos trigos, pero el uso de proteasas ha aliviado en gran parte esta situación ya que éstas pueden producir masas suaves y extensibles para galletas aún a partir de trigos fuertes o duros.

Los trigos del grupo 4 ó tenaces son semejantes químicamente a los del grupo anterior, pero la masa hecha con los trigos de esta serie es notablemente más tenaz que la masa proveniente de los trigos del grupo 3. Estos trigos son útiles en la fabricación de pasteles y las llamadas galletas cortadas con alambre.

Los trigos del grupo 5 son los llamados trigos duros o cristalinos y deben usarse principalmente para la fabricación de harina o semolina para pastas.

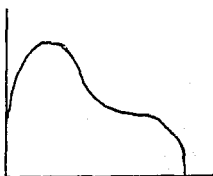
TABLA No.1

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS. SARH.
 LABORATORIO DE FARINOLOGIA, CIAMEC
 CLASIFICACION DE LAS VARIEDADES DE TRIGO CON BASE EN
 LA CALIDAD DEL GLUTEN SEGUN LOS REQUERIMIENTOS DE LA
 INDUSTRIA HARINERA Y DE LA PANIFICACION -1979-

Grupo No. 1
 FUERTES F

Inia	F66	Roque	F73
Noroeste	F66	Mochis	F73
Tobari	F66	Jupateco	F73
Jaral	F66	Torim	F73
Ciano	F67	Narro	VF74
Azteca	F67	Chapingo	VF74
Nuri	F70	Anahuac	F75
Yecora	F70	Cocoraque	F75
Saric	F70	Pavon	F76
Cajeme	F71	Jahuara	F77
Tanori	F71	Yecorato	F77
Toluca	F73	Hermosillo	F77
		Tesia	F79

Forma del Alveograma



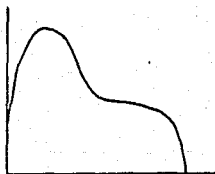
Características.

Gluten Fuerte, elástico. Apto para la industria mecanizada de la panificación, mejoradores de trigos débiles en los molinos.

Grupo No. 2
 MEDIO FUERTES M

Norteño	M67
Bajío	M67
Nacozari	M76

Forma del Alveograma



Características

Gluten Medio Fuerte. Apto para la industria del pan hecho a mano. Mejorador de trigos débiles.

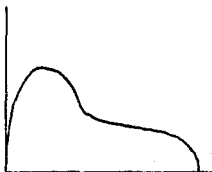
Grupo No. 3
SUAVES S

Pitic	S62
Lerma Rojo	S64
Ahome	S70
Potam	S70
Vicam	S71
Delicias	S73
Cleopatra	VS74
Salamanca	S75
Zaragoza	S75
Tezopaco	S76
Pima	S77

Características.

Gluten Débil, suave, extensible. Apto para la industria galletera. Mejoradores de trigos tenaces.

Forma del Alveograma



Grupo No. 4
TENACES T

Penjamo	T62
Siete Cerros	T66
Zacatecas	VT74
Ciano	T79
Imuris	T79

Características.

Gluten Corto, Tenaz. Apto para la industria pastelería y galletera.

Forma del Alveograma



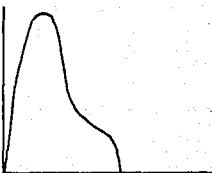
Grupo No. 5
CRISTALINOS C

Oviachic	C65
Jori	C69
Cocorit	C71
Mexicali	C75
Yavaros	C79

Características.

Gluten Corto. Tenaz. Apto para la industria de las pastas y macarrones.

Forma del Alveograma



NOTA: DE LA TABLA No. 1

V: Variedades de temporal.

Mexicali C75: En pruebas se confirmó su uso en mezclas, para todos los productos de panificación (20).

Composición química del trigo.

En el siguiente cuadro se da la composición aproximada de los diferentes tipos de granos de trigo:

TABLA No. 2

COMPOSICION APROXIMADA DE LOS GRANOS DE TRIGO (13).

	<u>Trigo rojo duro primavera</u>	<u>Trigo rojo duro invierno</u>	<u>Trigo suave invierno</u>
Humedad (%)	13.0	12.5	14.0
Proteína (%)	14.0	12.3	10.2
Grasa (%)	2.2	1.8	2.0
Carb. totales (%)	69.1	71.7	72.1
Fibra (%)	2.3	2.3	2.3
Ceniza (%)	1.7	1.7	1.7

1) Hidratos de carbono.

a) Almidón.

El almidón es el más importante carbohidrato en todos los cereales, constituyendo aproximadamente el 60% del grano de trigo y el 70-71 % de su endospermo. Cerca de un 23% del almidón es amilosa. El almidón es insoluble en agua fría; cuando se calienta con agua la absorbe y se hincha: este proceso se conoce con el nombre de gelatinización. El almidón se encuentra en gránulos que a veces se rompen durante la molienda y que juegan un papel importante en la panificación.

b) Celulosa.

Es el principal constituyente de las paredes celulares de los granos de cereales y forma en conjunto lo que se llama fibra. El grano entero de trigo contiene un 2% de fibra, el endospermo un 0.1% y el salvado 12-14%.

c) Azúcares.

Entre los presentes en el trigo se encuentran: glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa.

2) Proteínas.

Estas se localizan en el endospermo en un 72%, en el salvado 20% y en el germen 8%. Dentro de las proteínas, las albúminas son las responsables de las diferencias que se observan en la fabricación del pan entre distintas harinas. La gliadina y la glutenina forman con el agua y las sales la llamada sustancia gluten cuando se amasa la harina con agua. El gluten es elástico y se hincha, propiedades de gran valor en la preparación del pan y otros productos. En cuanto a su composición en aminoácidos, es notable el elevado contenido en ácido glutámico (probablemente en forma de glutamina en las proteínas intactas) y prolina, en comparación con la notable deficiencia en lisina.

3) Grasa.

El grano de trigo está compuesto de diferentes lípidos tales como: triglicéridos, fosfo y glicolípidos, ácidos grasos, esteroides, mono y diglicéridos, fosfolípidos, los que se distribuyen en un 50% en el endospermo, 30% en el salvado y 20% en el germen. El germen se separa del endospermo en la obtención de la harina con objeto de mejorar las posibilidades de conservación de esta.

4) Vitaminas.

El trigo tiene un relativo alto contenido de tiamina y niacina comparado con otros cereales, bajo contenido de riboflavina y desprovisto de vitamina A, siendo que los tocoferoles abundan en el germen. La tiamina se distribuye en un 3% en el endospermo, 33% en el salvado y 64% en el germen; la riboflavina, 32% en el endospermo, 42% en el salvado y 26% en el germen; la niacina, 12% en el endospermo, 86% en el salvado y 2% en el germen.

5) Minerales.

Un 95% de la materia mineral esta formada por fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. El fosfato potásico es probable que se encuentre presente en forma de $PO_4 H_2 K$ y $PO_4 H_2 K$. Parte del fósforo se encuentra como ácido fitico (62,40).

2) Molienda.

a) Recepción del trigo.

Los granos maduros son la materia prima de la molienda que separa a éstos en fracciones de diferentes tejidos; la composición de estas fracciones depende de: la variedad, condiciones agronómicas de cultivo, tratamiento del grano después del cultivo, secado, almacenamiento y transporte, así como las operaciones de molienda. Antes de ser almacenado, el grano (al igual que todos los cereales) es seleccionado de acuerdo a su calidad; en México hay una norma de calidad que rige la distribución y comercialización del grano:
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-FF-36-1984 (39).

Limpieza del grano.

En términos generales, los daños producidos en el grano, comienzan desde la recolección al obtener granos quebrados producidos por el efecto mecánico de la cosechadora, los cuales son más susceptibles a ser atacados por hongos, bacterias e insectos. Además de la contaminación por organismos, los granos presentan impurezas en el campo, transporte y almacenamiento, de las cuales las más frecuentes son: lodo y polvo, otros granos diferentes al trigo, paja, palos, piedras, restos y esporas de hongos, cornezuelo, insectos muertos, larvas, pelos y excrementos de roedores, cuerdas y fragmentos metálicos, etc.

Es indispensable eliminar las impurezas que lleva el grano ya que en general reducen el valor nutritivo de la harina, el cornezuelo mancha a esta última y además es peligroso por su veneno, la ergotamina; las piedras y fragmentos metálicos estropean los molinos.

Para su limpieza, el trigo pasa primero por unos separadores magnéticos que atraen fierros y piezas de acero; un aspirador saca las impurezas ligeras (paja, insectos, polvo), el aire las elimina mientras que la corriente de trigo pasa a través de una reja a un separador de discos que atrapa a los granos individuales pero regresa a los muy largos o pequeños; luego, los limpiadores lanzan violentamente a los granos a un tambor que los pule y rompe las barbas para finalmente ser sumergidos en un baño de agua y secados por centrifugación (29,75).

b) Almacenamiento del trigo.

Las cuatro principales causas del deterioro y merma del grano durante el almacenamiento son:

- La alta humedad en el grano, que acelera los cambios bioquímicos en carbohidratos, proteínas y lípidos.
- Los microorganismos.
- Los insectos.
- Los roedores.

A veces puede pasar más de un año desde que se recibe el grano hasta el momento en que entra a proceso. Si el grano no se almacenó debidamente, esto puede resultar en menoscabo de la capacidad y rendimiento del molino, así como en la calidad del producto terminado. Propiedades tan importantes como son el color, actividad diastásica y otras características de la harina pueden afectarse notablemente si no se tuvo el suficiente cuidado con el grano; pero como organismo viviente te que es, necesita respirar continuamente.

Esta respiración es lenta a 14% de humedad y 20°C, pero aumenta conforme se eleva la humedad y la temperatura. El proceso de la respiración genera calor que no se disipa con facilidad ya que el trigo es mal conductor; cuando el trigo se almacena con elevado grado de humedad respira más rápido, calentándose gradualmente, con lo que a su vez acelera su respiración, siendo un proceso acumulativo. En este último se desprende gas carbónico y vapor de agua (con lo que pierde peso) y si no se facilita la evaporación de agua, el trigo se apelmazará en grandes "tortas".

La respiración se acelera por un aumento en temperatura hasta que se ve limitada por factores tales como: inactivación termal de las enzimas que favorecen tales cambios, terminación del sustrato, limitación del suministro de oxígeno y acumulación de concentraciones inhibitorias de dióxido de carbono. Además, el efecto de la temperatura en el ritmo respiratorio depende del contenido de humedad de los granos (22,41).

El trigo húmedo (15.6-30% de humedad) representa un sustrato ideal para los hongos; si sobrepasa el 30% crecen las bacterias que producen mucho calor pudiendo generarse el recalentamiento; las bacterias mueren cuando la temperatura sobrepasa los 60°C. También los insectos vivos (gorgojos) aumentan su actividad cuando se eleva la temperatura y debido a su respiración, también contribuyen a calentar el trigo. Si la humedad del trigo que entra en el almacén supera la que ya ofrece seguridad de conservación (nivel crítico de humedad de un 14%), el grano se debe secar inmediatamente.

Estas siguientes pruebas están basadas en el tipo de cambios que ocurren en el grano almacenado:

- Observación visual.
- Aumento en la población fungal.
- Pérdida de peso.
- Disminución en la germinabilidad.
- Calentamiento del grano.
- Producción de toxinas.
- Varios cambios bioquímicos, incluyendo aquellos que resultan en enmohecimiento, agriamiento, alta acidez, grasa y sabor amargo (53).

c) Acondicionamiento del trigo.

El acondicionamiento del trigo tiene como objetivo más importante mejorar el estado físico del grano para la molienda, y algunas veces incrementar la calidad panadera de la harina.

Los procesos de acondicionamiento llevan consigo la adición de humedad a los trigos demasiado secos o su disminución cuando están demasiado húmedos, y, frecuentemente, el calentamiento o enfriamiento del grano durante períodos definidos de tiempo, con objeto de que la humedad deseada esté, no sólo uniformemente repartida por toda la masa de grano, sino en cada uno de los granos individuales.

Los objetivos particulares del acondicionamiento con respecto a la molienda, son hacer más correoso y menos quebradizo el salvado, aumentar la separabilidad del endospermo del salvado, mejorar la disgregación del endospermo para que la harina sea más fácil de cernir. Si el salvado es lo suficiente correoso, la harina se contamina menos con escamas de salvado y por lo tanto es más blanca y con menor contenido de cenizas.

Existen varios métodos:

- Mezclado de trigos húmedos con secos.
- Acondicionamiento frío, en que se agrega agua fría al trigo, se deja en movimiento hasta que la absorba y después se reposa tres días para que la humedad se difunda.

-Acondicionamiento templado, en el cual el trigo humedecido se acondiciona durante 1-1.5 hr a temperatura de 46°C.

La molienda se efectúa con una humedad en el grano del 15% aproximadamente y su rendimiento harinero varía del 70 al 75%; una vez acondicionado el grano, el siguiente paso es el proceso de molienda (41,16).

d) Obtención de harina y purificación.

En la molienda, los objetivos que se persiguen para la obtención de harina son los siguientes:

- Separar lo más completamente posible el endospermo del salvado y el germen mediante el rompimiento del grano, de manera que la harina quede libre de escamas de salvado y de buen color, con lo que mejora la palatabilidad y digestibilidad del producto, así como su tiempo de almacenamiento.

- Reducir a harina fina la máxima cantidad posible de endospermo a la vez de asegurar que el deterioro causado a los granos de almidón no exceda del óptimo (39).

El proceso de molienda consta principalmente de tres pasos básicos: trituración, tamización y purificación.

Trituración.

Es la fragmentación del grano de forma que se consiga una disociación de cada una de sus partes anatómicas, esto se realiza en un molino equipado con varios juegos de rodillos estriados con diferentes aberturas y separaciones entre ellos. Los primeros pares de rodillos, llamados "quebradores" son corrugados y quiebran al trigo desprendiendo se el salvado; a los rodillos sigue un cernidor y un purificador. Los cernidores son una serie de mallas con movimientos rotatorios, en donde el grano roto se cierne a través de mallas sucesivas de mayor finura. El material grueso del cernidor se vuelve a pasar por el siguiente rodillo de la quebradora; algo del material fino de cada cernidor se envía por un purificador donde corrientes de aire y mallas separan el salvado y clasifican las partículas de endospermo. Durante el proceso de trituración se produce algo de harina (12).

Tamización.

Es la separación de las partículas en diferentes tamaños, este proceso se realiza después de cada una de las etapas de triturado. Un tamizado por grados permite clasificar la harina en semola, productos intermedarios, etc., según el tamaño peculiar de sus partículas en cada fracción.

Para esta finalidad, se utilizan cinco rodillos con superficies corrugadas cada vez más finas que reducen al trigo hasta harina granular o "mediana". En la segunda parte, la harina mediana se muele toda vía más en "rodillos de reducción" (lisos) que producen la harina final.

Purificación.

Es la separación de las partículas procedentes de las cubiertas corticales del endospermo según su velocidad límite de caída mediante corrientes de aire.

Si el endospermo va libre de impurezas, la harina resultante será más brillante y blanca. La granulación, es decir el tamaño de la partícula es el principal componente de la calidad de la harina y depende directamente del proceso de molienda. En cuanto a la pureza de la harina, esta depende de la eficiencia en la separación del germen y salvado con el endospermo (81).

e) Separación de corrientes de diferentes harinas y de diferentes subproductos.

Normalmente, las corrientes del molino se combinan para obtener productos tales como:

- Salvado (12% de fibra).
- "Molienda media", que son partículas finas de salvado mezcladas con "cortos", germen y harina (9.5% de fibra).
- Mezcla de trigo molido y salvado de buena calidad (9.5% de fibra).
- Cortos, formados por partículas de salvado, germen, harina y desperdicios del final de la molienda (7% de fibra).
- Residuos, una combinación de desperdicios, algo de salvado, germen y harina (4% de fibra).

Los subproductos de la molienda (28% del trigo procesado) se venden como alimento para ganado, mientras que el germen de alta pureza puede utilizarse para el consumo humano.

Al mezclar todas las corrientes de harina de un molino en un solo producto, se obtiene la "harina directa" abarcando 72% del grano de trigo. Los rendimientos de los diversos grados de harina que se obtienen de la molienda de 100 lb de trigo, son los siguientes:

Tomando como referencia que el 72% de trigo equivale a un rendimiento del 100% de harina directa (suma de todas las corrientes):

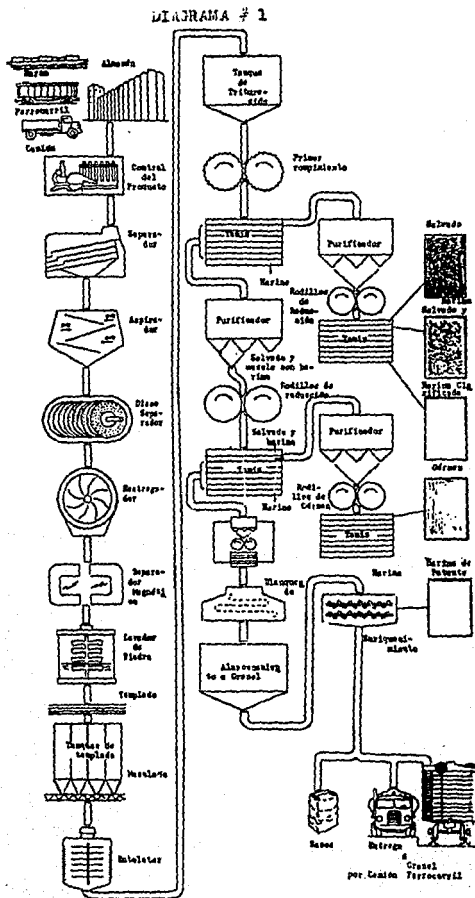
- Harina de patente extra corta o preferente: 40-50%
- Harina de patente corta o de primera: 70%
- Harina de patente corta: 80%
- Harina de patente media: 90%
- Harina de patente larga: 95%
- Harina directa: 100%.

El 28% de trigo restante proporciona los subproductos, cuyo rendimiento se divide en 14% para salvado y 14% para "cortos", después de la obtención de harina de patente extra corta o preferente; para una harina directa, el rendimiento de subproductos resulta de 16% en salvado y 12% en cortos.

Los diferentes grados de harina encuentran usos en muy distintas aplicaciones, las harinas de grado superior, generalmente se emplean en la fabricación de pan mientras que las de grado inferior son destinadas a pasteles y galletas. La harina de segunda es la materia prima de la cual se obtiene el gluten y almidón de trigo.

Una harina integral es aquella con coeficiente de extracción superior al 80-85% y una harina blanca aquella que tiene un límite de extracción entre 75-80%. La harina integral se prepara por adición total o parcial de los productos secundarios a la harina blanca. Las partículas mayores del salvado generalmente se trituran antes de mezclarlas con la harina y los subproductos finos (16,56,40).

f) Diagrama simplificado de la molienda del trigo (55).



3) Análisis general de las harinas.

a) Calidad.

El trigo posee la calidad única entre todos los cereales de que sus proteínas en contacto con el agua durante la formación de la masa son capaces de hidratarse formando una red tridimensional capaz de retener los gases producidos durante la fermentación. Este cuerpo chico so llamado gluten es ciertamente el principal responsable del aspecto único que presenta el pan de trigo y que lo hace tan preciado a la mayoría de los paladares. El volumen del pan es directamente proporcional al porcentaje de proteínas. Los grados de calidad de la harina de trigo dependen de tres factores básicos que son: la variedad del trigo, el tipo de proceso antes y después de la molienda y por último, el tipo de aditivos agregados. También la granulación o tamaño de las partículas de la harina y su actividad diastásica influyen notablemente en la calidad harinera.

En México, existe un bajo porcentaje de harinas extrafinas o altas patentes, generalmente bajas en proteínas. Esto se debe probablemente a la demanda del mercado, y la deficiencia en proteínas a la insuficiente fertilización de la tierra. La repercusión es directa en la calidad panadera de la harina que depende esencialmente tanto en la calidad como en la cantidad de sus proteínas (18,50).

b) Composición.

Carbohidratos (65-72%), proteínas (6-18%) y grasa (0.8-1.6%) son los mayores componentes que forman la harina. La humedad (10-15%), celulosa (trazas al 0.35%) y material mineral (0.3-0.8%) constituyen los demás ingredientes minoritarios.

Papel de las proteínas en la calidad de la harina.

De la cantidad total de proteínas que constituyen la harina, sólo el 85% es capaz de hidratarse y comprende dos tipos de proteínas: la de bajo peso molecular (25000 a 100000) que es la gliadina, y la de alto peso molecular (> 100000) que es la glutenina. La gliadina es extensible mientras que la glutenina lo es poco, y esto es lo que regula la consistencia del gluten. El 15% de la proteína incapaz de hidratarse comprende albuminas, globulinas y enzimas.

Ya se dijo antes que las proteínas del trigo poseen la singular característica de hidratarse y formar un cuerpo elástico de consistencia chiclosa: el gluten. Es este componente el que forma en la masa una red tridimensional y retiene los gases formados durante la fermentación. La relación entre el porcentaje de proteínas y el volumen del pan es directamente lineal, es decir que a mayor proteína, mayor volumen. Pero el gluten no está presente como tal en la harina, se forma por hidratación y trabajo mecánico en la masa.

Las proteínas del gluten pueden separarse en gliadina, soluble en solución alcohólica al 70%, y en glutenina, soluble en ácidos o alcalis (19).

Composición de la fracción protéica de la harina de trigo según Holme (1966) (78).

No-gluten: 15%, no contribuye a la formación de la masa y constituido por:

- Albuminas (60%).
- Globulinas (40%).
- Péptidos.
- Amino ácidos.
- Enzimas de la harina.
- Proteínas solubles y espumantes.
- Proteínas coagulables.

Gluten: 85%, contribuye a la formación de la masa y constituido por:

- Gliadina (bajo peso molecular, 25,000-100,000).
Es extensible; de baja elasticidad; soluble en ácidos, alcalis y solventes con puentes de hidrógeno.
- Glutenina (alto peso molecular, >100,000).
Posee poca extensibilidad; es elástico; se suspende en ácidos, alcalis y solventes con puentes de hidrógeno; forma complejos con los lípidos.

Papel de los carbohidratos en la calidad de la harina.

Esta fracción, la más abundante en la harina, está compuesta de tres grupos principales: almidón (66.7%), pentosanas (1.6%) y azúcares totales (1.2%).

El almidón a su vez, se presenta en dos formas:

- La amilosa (31%), constituida de largas cadenas lineares de glucosa, unidades ligadas entre si por enlaces alfa-1,4.
- La amilopectina (61%), formada por cadenas ramificadas de glucosa (enlaces alfa-1,6).

El azúcar más abundante en la harina es la sacarosa (0.1-0.38%), le sigue la maltosa (0.07%) y la glucosa (0.01-0.04%). A parte del almidón y de los azúcares preexistentes, se encuentran también pentosanas y celulosa capaces de formar geles, y por lo tanto tienen incidencia sobre las características de la masa.

La principal fuente de maltosa es la que suministra la beta amilasa en el almidón dañado durante la molienda. La segunda fuente proviene de la acción de la alfa-amilasa en el almidón dañado. Si hay otras amilasas presentes, constituirán una tercera fuente de maltosa.

El almidón desempeña las siguientes funciones durante la panificación: proporciona azúcares fermentables; proporciona soporte al gluten y su flexibilidad durante la gelatinización permite expandir las burbujas de gas; absorbe agua del gluten dando rigidez en el conjunto (49,19).

Papel de los lípidos en la calidad de la harina.

De la cantidad de lípidos (1.4%) en la harina, una parte (0.8%) se encuentra en forma libre y otra parte ligada a otros componentes (0.6%). La fracción libre está a su vez compuesta de lípidos no polares (0.6%) y lípidos polares (0.2%). Los lípidos no polares incluyen principalmente triglicéridos, diglicéridos, mono glicéridos, ácidos grasos y esteroides. Los lípidos polares incluyen glicolípidos y fosfolípidos. El germen de trigo es particularmente rico en tocoferoles y en vitamina E, siendo éstos liposolubles e insaponificables.

La función de los lípidos en el proceso de panificación es múltiple: modifican la estructura del gluten durante el mezclado; ayudan a la oxidación de grupos sulfhidrilos y a la polimerización de proteínas; actúan como lubricantes y retienen el gas sellando las burbujas; dan apoyo estructural al gluten y retardan el envejecimiento del pan (19,64,36).

TABLA No. 3
CARACTERISTICAS BASICAS DE UNA HARINA
COMERCIAL PANADERA (19).

Análisis:

Variedades de trigo	Trigo fuerte de primavera o invierno.
Absorción (%) (Farinógrafo)	60-64
Alveograma (W) (P/G)	150-250 x 10 ³ ergs 3-5
Panificación	Directo o esponje
Cenizas (%)	0.39-0.46
Grasa (%)	0.9-1.6
Humedad (%)	13-14.5
Color	Blanco cremoso 2-3.5 Unids. Kent-Jones
Carbohidratos (%)	65-70
Fibra (%)	0.1-0.4
Actividad:	
Diastásica. Amilógrafo (BU)	475-625
Maltosa (mg) Presurómetro (mm)	290-350 500-550
Proteína (% N x 5.7)	9.5-12.5
Tiempo de pico (min)	6-8
Viscosidad:	
Amilógrafo (BU)	435-625

4) Comportamiento reológico de la masa.

La formación de la masa es posible únicamente combinando hidratación y amasado de la harina con agua. La reología se ha definido como la ciencia de la deformación de la materia. Los estudios reológicos se basan en la deformación en relación a la fuerza y el tiempo.

Las pruebas físicas que se realizan en la masa son un paso intermedio entre el material crudo y el producto final, dichas pruebas son muy importantes ya que sirven como un método para saber si el material crudo es apropiado y tiene la calidad necesaria. La masa de harina de trigo, especialmente para panificación, ha recibido probablemente más atención por todos los reologistas de alimentos que ningún otro material alimenticio (15,19).

Papel del agua.

Una parte del agua de hidratación en la masa se liga progresivamente a los diferentes componentes de la harina, notablemente al almidón y al gluten. El resto del agua relativamente libre ocupa los espacios libres entre las diferentes partículas de harina, expulsando así el aire. Esta agua libre constituye el solvente de los componentes de la harina y de los aditivos hidrosolubles. Por otra parte, el agua sirve también de lubricante y proporciona cierta movilidad a la masa.

Formación de la red protéica.

En un principio, las proteínas del gluten se hidratan para formar una masa suave y durante el mezclado se estiran formando una red homogénea de mallas delgadas. Al finalizar el amasado, cada gránulo de almidón se encuentra encerrado en un alveolo cuyas paredes están constituidas de gluten.

Dicha red protéica está formada por moléculas de glutenina ligadas entre ellas mediante puentes disulfuro; la asociación de moléculas de glutenina da lugar a películas protéicas, separadas entre ellas por moléculas de gliadina siendo que éstas últimas no forman películas protéicas. Al mismo tiempo, capas de lipoproteínas se combinan con las películas protéicas; por lo tanto, la estabilidad del conjunto de la red protéica se ve asegurada por la interrelación entre las moléculas de glutenina, gliadina, lipoproteínas y las pentosanas.

La aptitud de la harina para formar tal red depende tanto de la cantidad como de la calidad del gluten. De esta aptitud depende el comportamiento reológico de la masa que se define como la velocidad de deformación de un cuerpo ante una fuerza dada (78,69).

Los estudios reológicos se han enfocado principalmente al comportamiento de la masa durante el proceso de mezclado y en las propiedades reológicas esenciales para desarrollar una masa con óptima retención de gas. Como consecuencia, se desarrollaron un sin número de aparatos que en cierta forma miden en unidades arbitrarias y en forma gráfica ciertos parámetros que cuantifican las propiedades de extensibilidad y energía necesaria para producir deformación en la masa.

II. ANALISIS Y CONTROL DE LAS HARINAS.

2.1) Pruebas bromatológicas.

La American Association of Cereal Chemists (AACC) (2) ha adoptado los métodos oficiales para las numerosas pruebas que se llevan a cabo en la harina de trigo, en la masa y en el horneado. El desarrollo y establecimiento de métodos físicos de prueba para la masa, así como el equipo necesario, han sido revisados y estudiados por Brabender (1965) y por Kent-Jones y Amos (1967). La Wheat Commission (1939) describe algunos métodos estándar.

Los análisis de laboratorio que se realizan en forma rutinaria en las harinas, incluyen: humedad, cenizas, gluten, proteína, granulometría y color para las pruebas bromatológicas (físicoquímicas) (14,71).

a) Humedad.

Los métodos de determinación de humedad en la harina se clasifican en directos e indirectos. En los métodos directos, la humedad se separa de la muestra por evaporación, destilación o reacción química. En los métodos indirectos se aprovechan algunas propiedades fisicoquímicas que muestren buena correlación con el contenido de humedad. Su determinación es básica puesto que un exceso del 13% en la harina propicia el ataque fungal, por microorganismos e insectos.

Los métodos oficiales para harina de trigo son: el de la estufa eléctrica (AACC 44-15 A y 16), porcentaje de humedad (AACC 44-01) y estufa de vacío (AACC 44-40). Para trigo entero se puede usar el método de estufa de vacío (AACC 44-40), el método de Brown Duvel (AACC 44-53), el método de conductividad (AACC 44-10), el método de capacitancia (AACC 44-11) o finalmente el método de Karl Fisher (21,13,1,2).

Descripción del método en estufa eléctrica y semiautomática Brabender (AACC 44-16) (2).

La humedad se reporta por lectura directa en % al someter una muestra de 10 g. a una temperatura de 140°C durante 15 mn, liberándose el contenido de agua de la misma.

Material:

- Estufa Brabender con temperatura regulable.
- Platinillos de aluminio para contener la muestra.
- Balanza de platinillos.

Técnica:

Se pesan 10 g. de harina uniformizada directamente en el platillo de aluminio y se introduce en la estufa a 140°C durante 15 min, al término de los cuales se lee directamente el % de humedad.

Descripción del método por porcentaje de humedad (44-01) (2).

La humedad se obtiene por diferencia de peso al someter la muestra a una temperatura mínima de 110°C, liberándose el contenido de agua de la misma.

Material:

- Estufa con temperatura regulable.
- Cápsulas de porcelana o pesafiltros.
- Balanza analítica.
- Desecador.

Técnica:

Se ponen a secar las cápsulas (o pesafiltros) a una temperatura de 110°C en una estufa hasta peso constante y se pesan aproximadamente 5g. de muestra. Se llevan a la estufa durante cinco horas, al término de las cuales se colocan las cápsulas en un desecador; se dejan enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se pesan tan rápido como sea posible.

Cálculos:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(A - B)}{C} \times 100$$

A = Peso de la cápsula más la muestra húmeda.

B = Peso de la cápsula más muestra seca.

C = Peso de la muestra húmeda.

b) Granulometría.

El grado de granulación de la harina (AACC 50-10) tiene efectos sobre otras de sus propiedades y es por esta razón que las distribuciones del tamaño de partícula resultan de mucho interés. Un examen microscópico es un medio que resulta tedioso para obtener tal información. Otro procedimiento a veces usado es el del tamizado a través de una serie de tamices de medida estándar; sin embargo, la mayoría de los datos de distribución de tamaño de partícula se obtienen por métodos de sedimentación basados en el principio de que, si las partículas poseen una densidad diferente, su velocidad de sedimentación variará con respecto a sus diámetros. Cuando el método se aplica a harinas, la suspensión es no acuosa. Los diferentes métodos varían de acuerdo al medio de suspensión usado, al procedimiento usado para calcular la velocidad de sedimentación y al tipo de sedimentación (gravitacional o centrífuga) (14).

En una prueba de sedimentación (AACC 56-61) una cantidad relativamente pequeña de harina se suspende en una solución de ácido láctico diluido e isopropanol, la solución se deja en reposo en una probeta graduada. El volumen del sedimento leído después de cinco minutos es un índice de la capacidad de hidratación. Otra medida indirecta la proporcionan los cambios de viscosidad en una suspensión harina-agua al irse adicionando ácido láctico (AACC 56-80). Un método un poco más directo y que no requiere de viscosímetro, es el de la centrifugación de la suspensión acidulada y la obtención posterior del peso de los sólidos (Finney y Yamazaki) (6). El incremento en peso expresado como un porciento del peso original de la harina, representa la capacidad de la harina para retener agua (14,6).

El grado de granulación tiene una influencia sobre varias de las propiedades de la harina: la harina aparece más brillante entre más fino sea el tamaño de sus partículas, debido a un incremento de la reflexión de la luz por parte de la harina. También, entre más fina sea la harina, se eleva y se acelera la absorción de agua así como la formación de la masa (74).

c) **Gluten.**

Las propiedades físicas del gluten junto con la cantidad de éste en la harina, determinan la retención gaseosa de la masa durante la fermentación. Estas propiedades se determinan por un lavado manual o mecánico del gluten o por análisis reológicos de la masa. La determinación del gluten puede ser una estimación del contenido protéico de la harina.

Cuando una pequeña masa de harina se somete a un lavado, el almidón se elimina con el agua para formar una masa cohesiva de gluten. Una vez secado, este último contiene alrededor de 80% de proteína (en base seca); en otros términos, el gluten deshidratado representa un tercio aproximadamente del gluten húmedo. Albumina, globulinas, gliadina y proteasas forman la composición final del gluten así obtenido (65,74).

d) **Gluten húmedo.**

Descripción del método de obtención de gluten húmedo por lavado-mecánico. (Método AACC 38-11) (1,2).

El gluten húmedo es una sustancia plástico-elástica obtenida por lavado de masas de harina de trigo, liberándose el almidón; consiste esencialmente de gliadina y glutenina.

Material:

- Lavador automático de gluten "Theby".
- Solución buffer al 2% de cloruro de sodio, 0.74% de fosfato de potasio y 0.24% de fosfato de sodio.

Técnica:

10 g de harina se mezclan manualmente con 6 ml. de solución buffer hasta formación de una masa firme; se lava durante 12 min en el lavador "Theby" con solución buffer a razón de 2-3 gotas por segundo. Se retira la masa de gluten y se lava manualmente con solución buffer durante dos minutos, después de lo cual se pesa. Los resultados se reportan como % de gluten húmedo, en base 14% de humedad.

Secando la masa de gluten húmedo en una estufa eléctrica (100°C) durante 24 hr y a peso constante, se obtiene el gluten seco que se reporta directamente en peso.:

$$\text{Gluten seco} = \frac{\text{Gluten húmedo}}{3 \text{ (Muestra de harina)}}$$

e) Color.

Se puede determinar por ejemplo con el Kent-Jones and Martin Colour Grader o con el Agtron, y se utiliza esta prueba para conocer el grado de contaminación de la harina con partículas de salvado. Los resultados obtenidos no parecen estar afectados por la variación en el contenido de la harina en pigmento amarillo (xantofila) y traducen la reflectancia relativa (con un filtro No.63) en una pasta de agua-harina. Se reporta el color de la harina en una escala arbitraria: entre menor sea el número de unidades, mayor será la blancura de la harina (41,65).

Descripción del método Agtron.

El color es una medida de la blancura de una harina proveniente de otras fuentes aparte de los pigmentos carotenoides.

Material:

- Colorímetro Agtron M-31-A y M-40-A usando filtro verde para hacer mediciones de 546 nm. de longitud de onda.
- Copas Agtron para muestras.
- Discos para estandarización de color Agtron No. 63 y 85.
- Probeta de 100 ml.
- Agua destilada.

Técnica:

Encender la fuente de poder del colorímetro Agtron y pesar 20g. de harina (base 14% de humedad). Anadir 25 ml. de agua destilada con la probeta. Mezclar el agua y el harina utilizando un agitador de varilla de vidrio durante dos minutos (cuidar que no queden terrones de harina sin mezclar y harina seca en las paredes). Reposar la mezcla formada durante 5 minutos y estandarizar el colorímetro utilizando el disco estandar No. 63. Ajustar si es necesario con la perilla hasta obtener un valor de cero en la lectura. Utilizar ahora el disco No. 85 y ajustar el medidor a 100. Volver a checar colocando el disco No. 63 y después el No. 85. Finalmente colocar la muestra que ha reposado durante 5 minutos y tomar la lectura (65).

f) Cenizas.

El término cenizas comprende el total de la materia mineral contenida en la harina que ha sido quemada y calcinada bajo ciertas condiciones. En prácticas anteriores, cuando era imposible la medición directa del color de una harina, el contenido de cenizas sustituía la prueba de color. Como las células de la aleurona (salvado) carecen de color pero poseen un alto contenido de cenizas (de 8 a 11 %, o sea 20 veces más que el endospermo), sería erróneo comparar el contenido de cenizas con el color de una harina; por lo tanto, la prueba de cenizas indica fundamentalmente la pureza de una harina, que se traduce como la eficiencia en la separación del salvado y germen con el resto del grano de trigo (65,74).

De la habilidad del molinero dependen tanto el porcentaje de harina que es capaz de separar del salvado como el porcentaje de cenizas o minerales que contiene la harina; así, el primero puede variar del 70 al 80% y el segundo de 0.4 a 0.7%. Se puede ver que la diferencia del 10% en rendimiento puede representar una pérdida o ganancia para el molino. En México, las harinas se clasifican generalmente de acuerdo con su contenido de cenizas en varios grupos que en orden ascendente de cenizas son: extrafina o alta patente, fina o patente, semifina y estandar (18).

Descripción del método rápido de cenizas (AACC 08-03).

El fundamento de la prueba es obtener el peso de la muestra inclnerada destruyendo toda la materia orgánica. Si se requiere, se pueden analizar en las cenizas obtenidas las sustancias inorgánicas presentes en el alimento.

Material:

- Balanza analítica.
- Mechero Bunsen.
- Tripie.
- Crisoles de porcelana.
- Desecador.
- Mufia.

Técnica:

En un crisol de porcelana cuyo peso haya sido obtenido previamente, se pesan aproximadamente 3 a 5 g. de muestra. El crisol con la muestra se ponen en un tripie con triángulo de porcelana calentando poco a poco con un mechero para lograr la carbonización completa de la muestra; luego se lleva a la mufia a una temperatura de 550°C por dos horas o más, hasta que se obtengan cenizas blancas o grises homogéneas.

Se deja enfriar el crisol colocándolo en un desecador y se pesa inmediatamente. La diferencia de peso entre el crisol vacío y el que contiene las cenizas nos indica el contenido de éstas. Se calcula el peso de las cenizas como porcentaje en relación a la muestra (1,2).

Cálculos:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P - R)}{M} 100$$

P = Peso del crisol más muestra calcinada.

R = Peso del crisol vacío.

M = Peso de la muestra.

g) Proteína.

Las proteínas del trigo, a diferencia de los demás cereales, son las únicas en formar el gluten cuando se combinan con el agua. El contenido de proteína no se puede determinar directamente como en el caso del gluten y para ello se obtiene primero la cantidad de nitrógeno total (N) para después ser multiplicado por un factor (5.7) fijado para el trigo. En otras palabras, N multiplicado por 5.7 equivale al % de proteína y se requiere de un mínimo de 7 a 8% de proteína para producir una masa normal. Por ello la determinación de proteína es un buen indicador tanto de las propiedades reológicas de una masa hecha con una harina específica como de su calidad panadera: el volumen del pan es directamente proporcional al % de proteína en la harina (65,74,51).

Descripción del método Kjeldahl para determinación de proteína cruda (AACC 46-10) (2).

Las proteínas son un grupo de compuestos orgánicos nitrogenados constituidos por amino ácidos residuales; el contenido de nitrógeno sirve como base en el método de Kjeldahl para determinar la proteína cruda total en donde una muestra es digerida con ácido sulfúrico concentrado y óxido de mercurio.

Material y reactivos:

- Balanza analítica.
- Matraces de digestión.
- Bureta graduada de 25 ml.
- Matraz para titular.
- Ácido sulfúrico concentrado.
- Óxido de mercurio.
- Sulfato de potasio.
- Sulfato de sodio anhidro.
- Solución al 33% de hidróxido de sodio.
- Solución de tiosulfato de potasio al 4%.
- Indicador rojo de metilo.
- Ácido clorhídrico o sulfúrico (0.1 N).
- Solución alcalí (0.1 N).
- Gránulos de zinc.

Técnica:

Se colocan 0.7-2.2 g. de harina en un matraz de digestión. Se agregan 0.7 g. de óxido de mercurio, 10 g. de sulfato de potasio o sulfato de sodio anhidro y 25 ml. de ácido sulfúrico. Se coloca el matraz de digestión en posición inclinada y se calienta ligeramente al principio. Después se mantiene en ebullición durante 30 mn. Una vez enfriado, se agregan 200 ml. de agua y 25 ml. de solución de tiosulfato de sodio, se mezcla el todo para precipitar el mercurio. Se añaden algunos granulos de zinc y se diluye el residuo con suficiente NaOH al 33%. Inmediatamente se coloca el matraz en el condensador y se calienta hasta que la totalidad del amoníaco se haya destilado. El destilado (150 ml.) se recibe en un matraz de titulación que contiene ácido sulfúrico 0.1N para finalmente titular el exceso de ácido con solución alcalí, usando rojo de metilo como indicador.

Cálculos:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{(B - S) (N) (F) (0.01401)}{E} 100$$

E

B = ml. de ácido sulfúrico (0.1 N).

S = ml. de NaOH (0.1 N) empleados en la titulación.

F = Factor de conversión a proteínas (5.7 para trigo y sus productos y 6.25 para demás alimentos sólidos).

N = Normalidad del alcalí (0.1 N).

1 ml. de ácido sulfúrico 0.1 N equivale a 1.401 mg. de nitrógeno.

E = Peso muestra (0.7 - 2.2 g. de harina)

2.2) Pruebas reológicas.

Alveogramas.

Para evaluar la calidad de una harina se usan generalmente tres tipos de pruebas mediante las cuales se trata de predecir si una harina es buena para pan, galletas, pasteles o pastas. El factor determinante en la calidad de la harina, es generalmente el tipo de trigo usado en la fabricación de la misma.

El primer tipo de pruebas es el de las pruebas físicas y químicas siendo las principales: humedad, proteínas, cenizas, color, actividad diastásica y granulación.

El segundo grupo de pruebas son las pruebas funcionales y consisten en elaborar a nivel de laboratorio, el producto de trigo para el cual la harina esta determinada. Así, con una harina panadera se hará pan; con una harina para galletas se harán galletas y así sucesivamente.

El tercer grupo de pruebas mide las propiedades plásticas de la masa y para esto se utilizan diferentes dispositivos llamados de reología y algunos de los principales son: el farinógrafo, el extensógrafo, el expansógrafo, el alveógrafo, etc. El alveógrafo es uno de los aparatos que mide las propiedades plásticas de la masa y es ampliamente usado en los molinos de trigo de nuestro país.

Funcionamiento del alveógrafo.

El equipo completo del alveógrafo se compone de tres aparatos. La amasadora extractora, que amasa la harina (250g.) en condiciones absolutamente normalizadas y que debido al sentido de rotación invertido, extrae por extrusión una tira de masa en la cual las muestras son cortadas. El alveógrafo propiamente dicho que permite laminar la muestra con un espaciador preciso, y a su vez contiene una platina con una perforación central, sobre la cual se ajusta una lámina de masa, preparada como se mencionó anteriormente en condiciones definidas estrictamente. Por el orificio de la platina se insufla aire a presión, el cual hincha la lámina de masa y forma una burbuja que finalmente se rompe. El manómetro hidráulico de tambor rotativo que permite el registro gráfico de deformación, es decir, la presión en el interior de la burbuja de masa, que depende de las características plásticas de la masa, se registra de forma automática sobre el tambor que gira a velocidad constante, obteniéndose gráficas.

En el alveograma, la extensibilidad o capacidad de la burbuja de masa para ser estirada antes de romperse se estima por la longitud (L) de la base de la curva. En las ordenadas se mide la presión que existe, en cada instante en el interior de la burbuja, la cual depende de la resistencia-tenacidad que opone la masa a su extensión; el valor máximo (P) proporciona una medida de la estabilidad de la masa.

La fuerza de la harina (W) se determina a partir de los parámetros P, L y de la superficie o área encerrada por la curva, y expresa el trabajo (en ergios) puesto en juego en el proceso; W es una expresión global de las características plásticas de la masa. Si el valor de W es importante, hay que tener en cuenta también el índice P/L, que expresa el equilibrio existente entre la estabilidad y la extensibilidad de la masa. Generalmente, se toman tres lecturas de cada una de las muestras sometidas a estudio con el fin de obtener un promedio. A este promedio (pico intermedio) se le determina la altura que es igual a la tenacidad y la base es equivalente a la extensibilidad de la masa. Posteriormente, con un planímetro se obtiene la superficie del pico. Con estos datos se obtiene el valor de W y así clasificar la muestra (23,38).

Determinaciones físicas en masas y mezclas pastosas.

El farinógrafo de Brabender mide la plasticidad y movilidad de la masa cuando se somete a un amasado continuo a temperatura constante.

El extensógrafo de Brabender y el Research Extensometer, registran la resistencia de la masa al estirado y la distancia de masa estirada antes de romperse.

El alveógrafo de Chopin, utiliza aire a presión para inflar una burbuja de masa y romperla; el instrumento registra continuamente la presión del aire y el tiempo que transcurre hasta que se rompe la masa.

El zimotaquígrafo de Chopin, el fermentógrafo de Brabender y el presómetro de Sandstedt & Kneen miden la producción de gas y la capacidad de la masa para retenerlo.

El amilógrafo de Brabender mide de forma continua la resistencia que a la agitación presenta una suspensión al 10% de harina en agua cuando su temperatura va aumentando constantemente 1.5 °C por minuto desde la temperatura de laboratorio hasta 95 °C. Este aparato se usa en los ensayos de harinas con destino a la fabricación de sopas, etc., en donde viscosidad del producto después de la gelatinización es una característica importante, y también para ajustar la adición de malta a las harinas empleadas en la elaboración de pan.

El Research Water Absorption Meter, mide la velocidad de salida de la masa a través de un pequeño orificio en condiciones controladas. Ensayando masa con distintos contenidos acuosos y registrando gráficamente los resultados, se puede determinar la cantidad de agua necesaria para producir masas de distintas características de flujo (41).

III) ADITIVOS PARA HARINAS.

Los molinos de trigo que realmente cuidan las calidades de sus productos, no descuidan nunca el aspecto de los aditivos químicos, ya que resulta económico el uso de los mismos: un caso frecuente es el de la escasez de los trigos suaves; en ocasiones el uso de proteasas en una harina hecha con trigos fuertes o duros, permite reemplazar al menos en parte el porcentaje de trigos suaves en la mezcla, con lo que se obtiene una economía ya que en lo general los trigos fuertes son actualmente mas baratos y fáciles de conseguir que los trigos suaves. La diferencia en el precio de los trigos compensa con ganancia el precio pagado por las proteasas.

Mediante el uso de aditivos el volumen de las galletas y otros productos de harina pueden aumentarse considerablemente necesitándose menos masa para producir un volumen dado, lo cual resulta en economía.

Frecuentemente los aditivos químicos para harinas se presentan en forma de combinaciones de varios de los agentes activos. Estas formulaciones vienen diluidas en almidón de trigo o de maíz o con otros excipientes inertes con el objeto de que el aditivo sea fácilmente dosificado en la harina. El vehículo ayuda también a una mejor distribución y homogenización de los agentes químicos en el seno de la harina (11,33).

La harina de trigo que se utiliza para pan y bisquets, al acabar la de moler tiene un tono amarillento debido a los pigmentos naturales del trigo, así como cualidades funcionales de horneado subóptimas. Tal harina antes de ser utilizada en la mayoría de los casos es "blanqueada". La decoloración de los pigmentos naturales contenidos en el endospermo del trigo tiene lugar rápidamente por oxidación cuando la harina se expone directamente a la atmósfera y más lentamente cuando se almacena en grandes cantidades. El proceso de blanqueo para la obtención de harina blanca es acelerada por el uso de agentes químicos tales como dióxido de cloro, peróxido de benzilo, peróxido de acetona, etc...

Durante el almacenamiento de la harina, aumentan sus propiedades y hay una consecuente mejora en las cualidades panaderas: este cambio conocido con el nombre de maduración o añejamiento puede acelerarse (al igual que el blanqueo) con la ayuda de sustancias químicas o mejoradores, los cuales producen algunos cambios similares en el gluten y más generalmente en la masa (modifican las propiedades físicas del gluten durante la fermentación en pocas horas de tiempo dando mejores propiedades manuales, la masa presenta mayor tolerancia a las distintas condiciones de fermentación) obteniéndose finalmente pan de mejor calidad con mayor volumen y miga de mejor textura. Algunos ejemplos de maduradores del gluten (oxidantes) son persulfato de amonio o potasio, azodicarbonamida, etc.

Contando ya con los ingredientes para la preparación del pan se procede a hacer la mezcla o masa que es precisamente donde se lleva a cabo la interacción, a nivel molecular, de los constituyentes del pan, así como de los ingredientes opcionales adicionados. Algunos efectos que han sido atribuidos como justificantes del uso de los oxidantes son: aumento del volumen, mayor finura en el grano de la miga, mejor textura y superficie oscura; los oxidantes tienen poco efecto sobre la producción de gas, ellos afectan principalmente la retención del gas mencionado y regulan la extensibilidad de la masa (11,60).

Naturaleza del proceso de maduración.

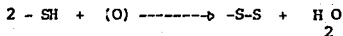
El gluten puede presentar características fisicoquímicas muy variadas dependiendo de la naturaleza de las proteínas y de los tipos de enlaces existentes en ellas. Se atribuye a la presencia de uniones del tipo disulfuro (-S-S-) la propiedad de buena elasticidad y cohesión que presenta la masa, responsabilizando por otra parte a grupos sulfhidrilos (-SH) de las características de alta extensibilidad y poca resistencia.

Durante las operaciones que comprende la conversión de la harina en pan, se produce la ruptura de una serie de enlaces disulfuro a grupos sulfhidrilos. Este rompimiento puede ser efectuado por la energía mecánica impartida durante la mezcla y desarrollo de la masa, por modificaciones enzimáticas que ocurren en presencia de humedad durante la fermentación, o bien a través de modificaciones de compuestos que contienen grupos sulfhidrilos activos, como por ejemplo el aminoácido cisteína.

Estas modificaciones conducen a la formación de una masa de poca resistencia, y que puede experimentar con cierta facilidad la extensión y ruptura de su estructura (fluidez). Esta situación, que lógicamente no es favorable desde el punto de vista de la panificación, puede ser controlada cuando la estructura de la masa se ha desarrollado hasta su punto óptimo; se puede lograr la estabilización de esta última removiendo los grupos sulfhidrilos gracias al empleo de agentes oxidantes (47).

Mecanismo de acción de los agentes oxidantes.

Jackel (30) indicó que la forma oxidada de los diversos agentes oxidantes, es el compuesto activo que realiza el proceso oxidativo en las harinas. En la mayoría de los casos, se desprende oxígeno que reacciona con los grupos sulfhidrilo de las proteínas del gluten y provoca su oxidación. Esto da origen a nuevos y numerosos enlaces disulfuro intermoleculares, los cuales fortifican la estructura y mejoran las propiedades de resistencia y elasticidad de la masa según la reacción:



La sensibilidad de la malla de proteína a la oxidación es un factor importante en la calidad del pan; la conversión del aminoácido cisteína en cistina, con la formación de enlaces disulfuro adicionales entre las cadenas proteicas en la malla, es una explicación lógica para la rigidez de la masa inducida por los agentes oxidantes de la harina. Finalmente, la presencia de cierta proporción de grupos SH- es indispensable para un levantamiento satisfactorio de la masa durante el tiempo de recuperación de la misma y en las fases iniciales del horneado (30,59).

La adición de suplementos diastásicos o de enzimas proteolíticas ayuda muchas veces a la mejora de esos procesos. Tanto la alfa y beta-amilasa existen en estado nativo en el trigo y sus productos, aunque la cantidad de alfa-amilasa es limitada comparada con la de beta-amilasa. Las proteasas aumentan la extensibilidad y la viscosidad de la masa, pero una excesiva proteolisis es perjudicial sobre todo en el volumen del pan.

Ya que no existe trigo 100% perfecto, tampoco hay harina perfecta, los aditivos químicos pueden mejorar al grado de casi duplicar el volumen del pan, suavizar las masas para galletas o mejorar el color de una pasta. Las diastasas, proteasas, bromatos, persulfatos, azodicarbonamida, peróxido de benzoilo, surfactantes, son solamente algunas de las sustancias que contribuyen a hacer los productos de trigo más apetecibles y en un futuro no muy lejano ayudarán a contrarrestar los efectos de la adición de productos ricos en proteínas como la harina de soya (59).

El uso de aditivos en panificación es relativamente amplio y se pueden clasificar de acuerdo a su papel en: (73,60).

- 1) Mejoradores del pan, que incluyen:
 - Oxidantes (o maduradores del gluten).
 - Blanqueadores.
 - Enzimas
 - Agentes emulsificantes.
- 2) Agentes conservadores.
- 3) Agentes de enriquecimiento.

3.1) Oxidantes. Clasificación y características.

a) Fosfato ácido de calcio.

Este mejorante ha sido el primer aditivo usado en la harina. El aumento en acidez proporciona un excelente medio para el gluten de los trigos débiles y también actúa como alimento de la levadura favoreciendo con esto la fermentación y la consecuente formación de gas.

Este aditivo se usa juntamente con bicarbonato de sodio en la fabricación de harinas preparadas y productos de soda. También se usa para prevenir el enmohecimiento del pan (7,34).

b) **Persulfato de amonio.**

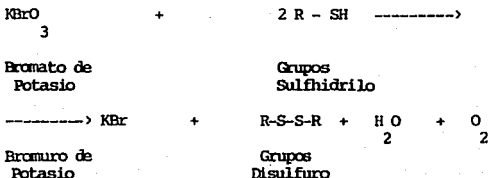
Este mejorador tiene un efecto reforzador de la masa a medida que avanza la fermentación y algunos investigadores alegan que también acelera la fermentación y el levantamiento durante el horneado. Esto es probablemente debido a que siendo una sal de amonio actúa como alimento de la levadura. La textura de la miga es más uniforme cuando se usa este aditivo. Las regulaciones de pan y harina establecen como límite máximo 200 mg/kg. de harina (aunque lo común es de 100 mg/kg. de harina); también es efectivo como persulfato de potasio (8,34).

c) **Bromato y yodato de potasio.**

El bromato de potasio es uno de los oxidantes más fuertes y su efecto madurador es muy marcado. Actúa fundamentalmente en las últimas etapas del proceso de panificación, una vez que las levaduras han realizado su acción fermentativa y que el pH ha alcanzado un valor cercano a 5.5, favoreciendo su activación (El Dash, 1976).

Reacciona lentamente en condiciones ambientales normales, pero en presencia de humedad y temperatura tan alta como la del horneado, se activa intensamente formando bromuro de potasio y liberando oxígeno, el cual provoca la oxidación de los grupos sulfhidrilo del gluten (30).

Química de la oxidación del bromato de potasio:



En relación con los niveles de aplicación, en nuestro país el Reglamento Sanitario de los Alimentos (1982) permite sólo el empleo del bromato de potasio, y a este respecto establece un máximo de 50ppm (1-5 g./100 Kg. de harina). Para facilitar los cálculos, se convierten ppm (partes por millón) directamente a %, de tal forma (11):

$$(X) \text{ ppm} = (10^{-4} X) \%$$

$$50 \text{ ppm} = 0.005 \%$$

Contribuye al reforzamiento del gluten de las harinas débiles. Reduce o elimina el período de almacenamiento de la harina no mejorada: se puede utilizar una mezcla de harina recientemente molida y A.A en lugar del período de maduración de harina por un tiempo (sin adición de mejorador). Finalmente, puede reducir el espacio de almacenamiento como consecuencia de no usar harina recientemente molida (68,78).

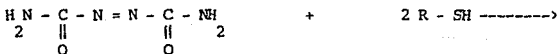
La utilización del A.A como aditivo en productos de la panificación está aceptada por la legislación vigente, pero no se han establecido niveles máximos de su aplicación. A este respecto, se puede destacar que la FDA de los Estados Unidos acepta hasta un máximo de 200 ppm siendo la dosis óptima de 60 ppm (2 a 6 gramos/100 Kg de harina) (30,68).

e) Azodicarbonamida. (ADA).

Es un agente oxidante de acción rápida muy similar a los yodatos. Normalmente se aplica en el molino, pero no reacciona sino hasta que la harina posee un cierto nivel de humedad, lo cual sucede en la etapa de mezcla y amasijo (Pomeranz, 1966) (62).

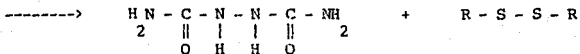
Tsen (76), citado por Pylar (65), señala que esta acción se lleva a cabo dentro de los tres primeros minutos del mezclado de la masa, y como resultado de la reacción se produce además, biurea (30).

Química de la oxidación de la Azodicarbonamida (30).



Azodicarbonamida

Grupos Sulfhidrilo



Biurea

Grupos Disulfuro

La azodicarbonamida constituye uno de los aditivos oxidantes más ampliamente utilizados en la actualidad, puesto que la rapidez de su acción une la característica de alta estabilidad, y de ser compatible con la mayoría de los otros agentes oxidantes con los cuales puede actuar en sinergismo.

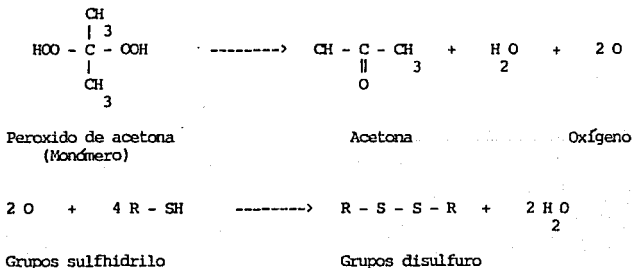
El producto tratado con ADA produce una masa más seca, de mayor cohesión y con mejores propiedades de amasado, tolerando mayores cantidades de agua. El agente no produce blanqueamiento, pero el pan producido con harinas tratadas con él, parece ser más blanco debido a la estructura más fina de sus celdillas (7).

De acuerdo con la Legislación Sanitaria (1982), Artículo 219, la ADA puede ser utilizada hasta un máximo de 45 ppm, siendo la dosis usual de 10 ppm (60,30).

f) **Peróxido de acetona.**

Este mejorador de harinas se obtiene por oxidación de la acetona en presencia de peróxido de hidrógeno, produciendo dos formas moleculares: monómero y dímero. La reacción oxidativa del monómero sobre las proteínas de gluten se lleva a cabo en dos etapas; la primera consiste en una hidrólisis con formación de oxígeno, y la segunda etapa conforma el proceso mejorador propiamente tal (30).

Química de la oxidación del monómero de peróxido de acetona.



El dímero del peróxido de acetona actúa en forma similar al monómero, puesto que también debe realizar previamente un proceso de hidrólisis, aunque en este caso su actividad oxidativa en el gluten es mucho más intensa.

Resumen comparativo sobre el uso y reacción de los diversos agentes oxidantes.

Los agentes mejoradores presentan velocidades e intensidad de reacción diferentes. Esto se resume en la tabla I, donde se puede observar a modo de ejemplo que el bromato en cualquiera de sus formas, potasio o calcio, es el más lento, comenzando su actividad recién en la etapa de horneado. Otros, como el A.A., poseen una acción inicialmente débil, pero su efectividad es alta una vez que el proceso ha alcanzado la etapa de fermentación de la masa, donde las condiciones de humedad y temperatura existentes aceleran su reacción (11).

TABLA I (30).

VELOCIDAD DE REACCION DE DIVERSOS AGENTES OXIDANTES.

<u>AGENTE</u>	<u>VELOCIDAD</u>	<u>ACTUACION</u>	<u>DOSIS MAX (ppm)</u>
Bromato de Potasio	lenta	horneo	50
Bromato de Calcio	lenta	horneo	75
Yodato de Potasio	rápida	amasijo y fermentación	75
Yodato de calcio	rápida	amasijo y fermentación	75
Peróxido de calcio	rápida	amasijo y fermentación	75
Azodicarbonamida	rápida	amasijo y fermentación	45
Acido Ascórbico	intermedia	amasijo y fermentación	200
Peróxido de Acetona	rápida	amasijo y fermentación	45

Por otra parte, no todas las harinas responden en igual forma a los agentes oxidantes, requiriendo muchas de ellas dosis estrictamente apropiadas a sus características.

Es así como se ha observado que el tratamiento de las harinas con cantidades excesivas de agentes oxidantes produce un efecto negativo en sus cualidades panaderas. Esto se traduce en la formación de una miga irregular, color inadecuado, menor volumen, corteza dura, etc. (Matz, 1972) (52).

Además de lo anterior, se debe considerar también el adecuado nivel de aplicación de los oxidantes, puesto que existen destacadas diferencias en el accionar de unos y otros según su propia química de oxidación (tabla II) (30).

TABLA II (30).

TABLA QUIMICA DE OXIDACION DE DIVERSOS AGENTES OXIDANTES.

<u>FORMA OXIDADA</u> <u>ACTIVA</u>	<u>FORMULA</u>	<u>FORMA</u> <u>REDUCIDA</u> <u>NO ACTIVA</u>	<u>PRINCIPIO</u> <u>OXIDATIVO</u>
Bromato de potasio	$KBrO_3$	KBr	+ 3 O
Yodato de potasio	KIO_3	KI	+ 3 O
Yodato de calcio	$Ca(IO_3)_2$	CaI	+ 6 O
Peróxido de calcio	CaO_2	Ca	+ 2 O
Acido dehidroascórbico	$C_6H_6O_6$	$C_6H_8O_6$	- 2 H
Azodicarbonamida	$C_2N_2H_4O_2$	$C_2N_2H_6O_2$	- 2 H

El uso de bromatos en pequeñas dosis trae problemas de baja oxidación, mientras que los yodatos en dosis ligeramente excesivas producen de inmediato problemas de sobre oxidación.

Peróxido de calcio y azodicarbonamida no son tan estrictos como los yodatos, pero también pueden causar una alta oxidación cuando su dosificación es excesiva. El ácido ascórbico que constituye uno de los mejoradores mayormente utilizados, no escapa a esta problemática, puesto que también experimenta situaciones de sobre oxidación cuando es usado en niveles demasiado elevados.

Las alteraciones producidas en la masa y en el pan como consecuencia de un tratamiento que genera una baja o alta oxidación, se describen en la tabla III (11,30).

TABLA III (30).

PROBLEMAS RELACIONADOS CON OXIDACION.

	Baja Oxidación	Alta Oxidación
MASA	Débil Extensible Blanda Pegajosa Difícil mecanización	Dura No extensible Firme Seca Difícil mecanización
PAN	Volumen reducido Corteza débil Textura no uniforme Miga no uniforme	Volumen reducido Corteza aspera Textura gruesa Miga compacta

Por último, es importante destacar que los agentes químicos empleados como oxidantes pueden actuar no sólo como maduradores, sino que varios de ellos cumplen además, con la función de activos blanqueadores al oxidar los pigmentos carotenoides de las harinas (30).

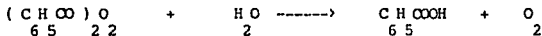
3.2) Blanqueadores. Clasificación y características.

Los blanqueadores son agentes que actúan mayormente sobre los pigmentos naturales del trigo. Los agentes aprobados y de mayor uso en México son el Peróxido de benzoilo y Peróxido de nitrógeno.

a) Peróxido de benzoilo

Esta sustancia es la más popular de todos los agentes blanqueadores. En la práctica este producto, debido a su actividad química, se encuentra siempre mezclado con un vehículo inerte. El trabajo de Sharrat y colaboradores ha demostrado que el peróxido de benzoilo es apto para el consumo humano.

Este compuesto debe sus propiedades blanqueadoras al hecho de que en contacto con la humedad de la harina desprende oxígeno naciente el cual actúa sobre los pigmentos (principalmente caroteno). Estos últimos se transforman en compuestos oxidantes incoloros, según la reacción química siguiente (7):



Peróxido de benzoilo

Acido benzóico

El efecto de este aditivo en las propiedades de la masa es imperceptible, sin embargo algunos investigadores han observado una pequeña mejora en la textura del pan y en particular este compuesto es apreciado por impartir un color blanco brillante en la miga del pan, principalmente cuando se usa en harinas de alta extracción. El peróxido de benzoilo es un agente blanqueante sólido que se suministra mezclado con almidón.

La acción blanqueadora tiene lugar dentro de las 48 hrs. siguientes. Este producto tiene una ventaja sobre los agentes gaseosos de que sólo se necesita una adición y que el almacenamiento y conservación del producto no presenta peligros. Las harinas tratadas contienen trazas de ácido benzoico pero no existen objeciones a este respecto.

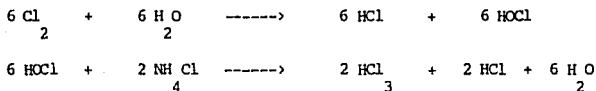
Normalmente se usa en la dosis de 10 a 20 ppm, siendo el máximo permitido de 50 ppm (25).

b) Peróxido de nitrógeno.

Este compuesto es uno de los primeros blanqueadores usados en la industria harinera ya que se conoce desde 1901. La acción de este agente es debida a la combinación del peróxido de nitrógeno con la humedad de la harina para producir ácido nitroso con liberación de oxígeno naciente, el cual reacciona con el caroteno oxidándolo en un compuesto incoloro. La cantidad usada comúnmente es de 6 ppm (8).

c) Tricloruro de nitrógeno.

Este producto es obtenido mediante la reacción de gas cloro con una solución acuosa de cloruro de amonio:



La mezcla de sustancias así formadas se deja fluir a través de una torre de vidrio con una contracorriente de aire para liberar el tricloruro de nitrógeno formado.

En Estados Unidos, Canadá e Inglaterra, así como en otros países, incluyendo a México, el uso de este aditivo está prohibido desde hace varios años, debido a síntomas histéricos producidos en varios tipos de animales de laboratorio, a los que se alimentó con harina blanqueada con exceso de este gas. Reacciona con la metionina formando un derivado tóxico, la metionina sulfoximina (11,25).

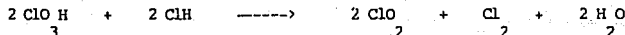
d) Cloro.

Este gas se usa generalmente en conjunto con cloruro de nitrosilo al 0.5% y esta combinación se conoce con el nombre de gas beta. Este compuesto afecta notablemente el pH de la harina. Se usa generalmente en los tipos de harina para pastel en los que se necesita una destrucción parcial del gluten. La dosis usual es de 3-6 onzas por saco de 280 lb, pero no se permite su uso en harinas de panadería (36).

e) Dióxido de cloro.

Según algunos investigadores, este mejorador es aun más efectivo como blanqueador que el tricloruro de nitrógeno y su efecto no se nota tanto en la harina misma, sino en el color de la miga del pan. Su uso es delicado ya que una sobredosis afecta profundamente las propiedades físicas de la masa.

Este gas se obtiene haciendo reaccionar cloro con un clorito soluble en agua, o por reacción de un ácido adecuado con un clorato. Se supone que, en este último método, el ácido clorhídrico liberado por el ácido, al actuar sobre el clorato en disolución, es reducido por el ácido clorhídrico, dando dióxido de cloro, según la ecuación:



El dióxido de cloro, en presencia de humedad, no solamente quita el color amarillo de la harina por decoloración de los carotenos, sino que también decolora el salvado, a diferencia de otros blanqueadores clorados.

El dióxido de cloro permitido no debe tener más del 20% de cloro en volumen y la cantidad aplicada varía de 15 a 30 ppm hasta un máximo de 35 ppm (41,25).

3.3) Complementos enzimáticos.

a) Harina de malta diastásica.

Las harinas de trigo que son bajas en contenido de alfa-amilasa natural producen cantidades insuficientes de azúcares fermentables que no permiten que la levadura se active a su máximo, por lo que hay deficiencias en la gasificación al momento del horneado. La suplementación apropiada con alfa-amilasa en el molino es necesaria para poder tener un buen control sobre la calidad del pan.

La harina y los extractos de malta han sido usados tradicionalmente para suplementar con alfa-amilasa a la harina de trigo. Esta suplementación con alfa-amilasa ha presentado múltiples desventajas. La harina y los extractos de malta contienen proteasa además de alfa-amilasa lo cual da como resultado la modificación indeseable del gluten. La alfa-amilasa de los cereales es termolabile y permanece activa a temperaturas superiores a la de la gelatinización del almidón (70 C), situación que no es conveniente. Como esa temperatura es considerablemente mayor a la que corresponde a la inactivación de la levadura, la suplementación excesiva puede dar como resultado que la miga sea chiclosa o pegajosa; en cambio, una dosis adecuada sobre harinas de trigo fuertes y tenaces, aumenta la extensibilidad de la masa y posteriormente incrementa el volumen del pan realizando el color de su corteza. Las unidades SKB por gramo de harina de malta diastásica abarcan de 40 a 80, siendo las dosis usuales de 8,000-15,000 SKB/100 kg. de harina (2 a 3 g./100 Kg. de harina (69,5).

b) Alfa-amilasa fúngica.

La alfa-amilasa fúngica se obtiene por la fermentación controlada de *Aspergillus oryzae* y es estandarizada a una actividad de 5,000 SKBU/g. La alfa-amilasa fúngica no posee las mismas desventajas que la harina de malta diastásica. Tiene muy poca actividad proteolítica y puede incrementar y balancear el valor de alfa-amilasa de la harina sin afectar adversamente la calidad del gluten. La enzima se inactiva a la misma temperatura que la levadura (50-60°C). Esta temperatura tan baja de inactivación elimina la producción excesiva de dextrinas que causan que la miga sea chiclosa o pegajosa. El control preciso de la producción de gas carbónico asegura la obtención de panes con volumen apropiado, miga ligera y suave, y muy buen color de corteza.

La cantidad exacta que debe usarse varía según el tipo de harina, formulación de la masa, equipo, proceso y tipo de pan a fabricarse. Por lo general casi todos los panes de levadura llevan 2.4-4.8 g./100 Kg. de harina de esta enzima, ó 15,000-20,000 SKBU/100 Kg. (66,10).

c) **Proteasas.**

Las proteasas son un grupo de enzimas presentes en el trigo y la harina; su función es la de catalizar la hidrólisis de proteínas. En la suplementación de las harinas, generalmente se practica la adición de agentes oxidantes o agentes que transfieren oxígeno, como el bromato de potasio, azodicarbonamida o ácido ascórbico, los cuales inhiben las proteasas naturales de la harina reforzando así el gluten. Ocasionalmente, algunas harinas con alto contenido de proteínas inelásticas y poco extensibles, especialmente cuando se destina a la panificación industrial, requieren entonces proteasas adicionales. Su efecto es, contrariamente a los oxidantes, debilitante de la red protéica en el gluten porque fija los grupos sulfhidrilo libres (particularmente los de la glutenina).

La cantidad adecuada de proteasas para producir un gluten suficientemente elástico y que permita controlar la hidrólisis de las proteínas, varía de 5 a 10 g./100 Kg. de harina (5,10).

d) **Actividad diastásica del trigo y sus productos.**

Tanto la alfa y la beta amilasa existen en estado nativo en el trigo y sus productos aunque la cantidad de alfa-amilasa es limitada si se compara con la cantidad de beta-amilasa. Durante la germinación, la alfa-amilasa aumenta aproximadamente mil veces en el trigo malteado.

En muchas partes del mundo se produce una germinación incipiente cuando le llueve al trigo o cuando la atmosfera es muy húmeda. Las cosechas rápidas que ahora se producen con la introducción de trilladoras mecánicas, junto con el clima seco, previene la germinación incipiente en el campo. Como consecuencia, las masas son deficientes en producción de gas y la introducción de suplementos diastásicos se ha popularizado grandemente; a pesar del gasto extra que la suplementación representa, ésta es de gran utilidad ya que la germinación incipiente produce además del aumento en maltosa, una pérdida de carbohidratos, mohos en el grano, oscurecimiento del endospermo y desarrollo de rancidez y mal olor, todo lo cual influye en la calidad harinera y panadera (66).

e) **Actividad proteolítica del trigo y sus productos.**

El trigo sano aún sin germinar tiene cierta actividad proteolítica. La cantidad de proteasa encontrada en las diferentes fracciones del grano decrece en el siguiente orden: salvado < salvadillo < germen < harina de segunda < harina de primera.

Las enzimas proteolíticas existen en estado nativo en el trigo y sus productos. La harina patente contiene 1.04 HU por gramo (unidad proteolítica); el germen de trigo contiene 23.2 HU/g. y la harina de trigo malteado 49.7 HU/g. (Mounfield encontró que la actividad proteolítica del trigo aumenta 10 veces durante la germinación) (66).

Es de importancia durante la molienda del trigo eliminar el germen de la harina ya que su presencia puede acarrear una excesiva proteólisis en la misma lo cual es perjudicial en algunos tipos de productos, sobre todo reduce considerablemente el volumen del pan (27).

f) **Modo de acción de las amilasas.**

De las dos amilasas principales presentes en el trigo, una de ellas la beta-amilasa se considera una amilasa sacarificante; de su acción en el almidón gelatinizado resulta la producción de maltosa por la liberación progresiva de azúcares terminales de la molécula de almidón. La otra amilasa, la alfa-amilasa, actúa en cambio sobre ligaduras internas, produciendo dextrinas de bajo peso molecular. Estos cambios tienen como consecuencia una mayor formación de gas durante la fermentación con levadura (65).

Los productos resultantes de la acción de las amilasas en el almidón dependen de la naturaleza de la enzima y del sustrato. La harina de trigo (sustrato) varía grandemente en su porcentaje de gránulos de almidón dañado dependiendo de las variedades de trigo y condiciones en que se lleva a cabo la molienda. Los trigos suaves rinden una harina que contiene de 1 a 2% de gránulos de almidón dañado, mientras que los trigos fuertes rinden de 3 a 4% y los trigos cristalinos de 6 a 8%. Estos datos son importantes en la dosificación de alfa-amilasa en la harina, debido a que las enzimas actúan más fácilmente en los granos más dañados (24).

Las alfa-amilasas afectan la viscosidad de las masas a temperatura de fermentación. En ensayos con el amilógrafo, Amos encontró que las enzimas fungales después de cierta temperatura poco tienen que ver con el cambio de viscosidad de una mezcla de harina y agua ya que fueron las enzimas cereales y bacterianas las que produjeron el cambio en viscosidad a ciertas temperaturas específicas para cada una de ellas. Esto hace a las enzimas fungales menos críticas en lo que se refiere a una sobre dosificación (24).

g) **Modo de acción de las proteasas.**

Estas enzimas aumentan la extensibilidad y viscosidad de la masa; la intensidad de este cambio en las características plásticas de la misma dependen de la concentración y del tipo de enzima, así como condiciones de temperatura y pH. Las enzimas bacterianas son las más potentes (lo cual limita su uso en panadería y galletería) siguiéndole en intensidad las enzimas fungales, la tripsina y finalmente el trigo malteado (10).

El efecto de las enzimas proteolíticas en la masa es similar al de los agentes reductores (cisteína, glutatión o sulfitos) excepto que el efecto de estas enzimas es irreversible mientras que el de los agentes reductores se puede invertir mediante el uso de oxidantes (bromatos, persulfato de amonio, ácido ascórbico, peróxido de acetona, etc.) (66).

Las enzimas proteolíticas por otro lado producen un ensuavamiento que va progresando según el tiempo de fermentación y que no puede ser invertido mediante el uso de agentes reductores. Es generalmente admitido hoy en día que los agentes oxidantes y reductores producen su efecto en la masa mediante cambios producidos en los grupos S-H y S-S. Las enzimas proteolíticas en cambio ejercen su acción en los polipéptidos reduciéndolos a menor tamaño mediante el ataque de los enlaces peptídicos que constan de un grupo carboxílico y un grupo amino (24).

h) **Efecto de las amilasas en las características del pan.**

La formación de azúcares fermentables durante la panificación (aumentando con esto el volumen del pan) no es el único papel de las amilasas en panificación, sino que también se producen profundos cambios en el almidón dando como resultado la formación de dextrinas que tienen marcado efecto en otras características también importantes en la calidad del pan: grano, textura y sabor.

Hablando de calidad, cuando se trata de una harina de panificación, es altamente deseable un buen volumen del pan, pero también son importantes el grano y textura de la miga del mismo. El grano de la miga debe ser fino y uniforme mientras que la textura debe ser suave y sedosa, lo cual se logra con las amilasas. El sabor y palatabilidad del pan son también mejorados con el uso de estas enzimas.

Sin embargo, grano, textura y volumen pueden ser deteriorados cuando se agregan cantidades excesivas de las enzimas, principalmente con malta diastásica (5,66).

1) Efecto de las proteasas en las características del pan.

Tanto proteasas como amilasas producen un mejoramiento en el volumen del pan, pero la acción de las amilasas agregadas aisladamente es más pronunciado que la acción de las proteasas solas. Las proteasas reducen el tiempo de mezclado lo cual es importante en panaderías que usan mezcladoras automáticas. Además de mejorar el volumen, simetría, grano y textura, las proteasas aumentan el tiempo de vida del pan (antes de quedar duro). Se usan no solamente en el pan convencional hecho por el método de esponje o el método de prefermento, sino principalmente en la elaboración de aquellos productos de panadería que requieren masas dóciles y extensibles como por ejemplo en el pan para hamburguesas, pan dulce y galletas saladas (previniendo el ondulado de la masa laminada ya que éstas ondulaciones se queman en el horno).

Una actividad proteolítica alta, puede producir un pan bajo en volumen y textura indeseables. Si la proteólisis es excesiva, se puede producir licuefacción de la masa (24).

j) Métodos en la adición de amilasas.

La adición de enzimas se puede hacer en el molino o en la panadería aunque en ocasiones se efectúa en ambos lugares. Existen variadas formas de agregar alfa-amilasa a la harina; originalmente la malta era el medio más común usado para estos fines, aunque ahora la tendencia general está en usar concentrados más puros e higiénicos. La adición de 0.25 a 0.4% de malta de cebada a la harina contribuye alrededor de 10 a 20 unidades SKB por 100 gramos de la misma. Las preparaciones enzimáticas a base de microorganismos son demasiado concentradas para poder agregarse en el porcentaje anterior por lo que es necesario diluirlas con un vehículo inerte, generalmente almidón, de tal manera que proporcione unas 10 a 20 unidades SKB/100 g. de harina. Una manera más cómoda de agregar enzimas fungales en las panaderías es el uso de tabletas solubles en agua las cuales tienen una potencia tal que 1 a 2 g. de las tabletas proporcionan las mencionadas unidades a 100 Kg. de harina.

Mayor concentración, pureza, higiene, acción más específica sobre el almidón, son algunas ventajas que se les atribuyen a las amilasas fungales sobre la malta de trigo o cebada. El uso final de la harina es de suma importancia en la determinación de la cantidad de alfa-amilasa que se debe agregar, aunque generalmente varía de 10 hasta 30 SKBU/100 g. de harina (66,10).

k) Método en la adición de proteasas.

Las proteasas usadas en escala comercial en panadería y galletería tienen generalmente origen fungal.

Los concentrados proteolíticos se diluyen con almidón hasta rendir un producto de tal potencia que al agregarse a la harina al nivel de 0.25% proporciona 75 a 110 HU por cada 100 gramos de harina.

La cantidad a agregar de estas enzimas depende al igual que las amilasas del tipo de producto que se quiera elaborar. El tipo de harina usada y las fórmulas empleadas así como los tiempos de fermentación o reposo también son importantes en la dosificación de las enzimas proteolíticas. El uso combinado de agentes oxidantes y enzimas proteolíticas han demostrado en la práctica ser muy útiles para mejorar la calidad del pan. Las proteasas son usadas hoy en día en el método convencional de fabricación de pan pero su uso es limitado en el proceso continuo de panificación (24).

IV). PANIFICACION

El proceso de panificación es el arte de obtención de un alimento preparado por el horneado de una masa, amasada y fermentada, elaborada de harina humedecida con agua o con uno o más líquidos opcionales.

Para que el pan sea de buena calidad debe alcanzar suficiente volumen, aspecto atractivo, tanto en forma como en color y una miga finamente vesiculada y suficientemente blanda (para facilitar la masticación del producto), pero al mismo tiempo lo bastante firme para que tenga la capacidad de ser fácilmente dividido en rebanadas (65).

La obtención de un pan de buena calidad depende en parte de las características inherentes a sus ingredientes, particularmente de la harina. El primer punto importante requerido en la elaboración del pan es el amasado, seguido del esponjamiento de la masa por incorporación de un gas (fermentación) y finalmente su coagulación por medio del calor de un horno de forma que el gas quede retenido y la estructura del material se estabilice (78).

Los principales ingredientes participantes son: harina de trigo, levadura, agua y sal; pero se añaden otros de acuerdo a la calidad y variedad del pan que se requiera. Tales ingredientes son: harina maltada, alimentos para levadura, leche y productos lácteos, grasa y agentes oxidantes y/o enzimáticos. Cuando se mezclan estos ingredientes en proporciones adecuadas para formar una masa, comienzan dos procesos: 1) la proteína de la harina empieza a hidratarse, combinándose con parte del agua y formando una materia elástica llamada gluten; 2) formación de gas carbónico por acción de la levadura sobre los azúcares (78,35).

4.1) Función de los ingredientes.

a) Harina.

La harina es el ingrediente que diferencia los productos panificados (pan, galletas, pasteles, hasta los horneados confeccionados, como macarrones). La harina de trigo es la única, entre otros cereales, que puede formar una masa elástica cohesiva cuando ésta es mezclada con agua bajo condiciones apropiadas. Las harinas y productos preparados a partir de cebada, sorgo y otros cereales como triticale dan masas mucho menos elásticas y extensibles, las cuales no retienen el gas y por lo tanto los productos resultantes son ásperos y densos (35).

Por otra parte, ya que el almidón es el mayor componente de la harina, es indispensable conocer su efecto en la panificación. Es creencia general que las amilasas de la harina sólo son capaces de atacar el almidón dañado durante la trituración del trigo; por ello es importante que la harina contenga una proporción adecuada de tal almidón que proporcionará azúcares (maltosa) fermentables.

El almidón proporciona también una superficie adecuada para lograr una fuerte unión con el gluten y da flexibilidad para la expansión de la hogaza mediante la gelatinización parcial. Durante el horneado se establece la estructura de la hogaza al formar una malla rígida que previene el colapso de la misma (47).

b) Agua.

Es el ingrediente mediante el cual tanto el gluten como el almidón dan a la masa de harina una resistencia, elasticidad y viscosidad que en presencia de calor forman una estructura celular semirígida la cual retiene el gas producido durante la fermentación. Las demás funciones del agua en panificación son las siguientes (65):

- Hace posible la formación del gluten.
- Controla la consistencia de la masa.
- Controla la temperatura de la masa (por variación de la temperatura del agua).
- Disuelve las sales, suspende y distribuye los ingredientes no harinosos en la masa.
- Hidrata e hincha el almidón durante el amasado para permitir la acción de las enzimas.
- Hace posible la actividad enzimática, realizable únicamente en sistemas más acuosos.
- Aumenta la palatabilidad de los productos panificados.

Es menester que la calidad del agua pueda tener grandes efectos en los productos horneados: la cantidad o tipos de minerales disueltos y las sustancias orgánicas presentes en la misma pueden afectar el sabor, color y los atributos físicos de los productos horneados finales así como el mecanismo de amasado.

Dentro del aspecto de contaminación, general y microbiológica, no existe discusión alguna, ya que son imprescindibles en todo tipo de alimento las condiciones óptimas de pureza del agua (39).

En la fabricación del pan es necesaria una mayor cantidad de agua cuando se emplean harinas procedentes de trigos fuertes que de trigos flojos; se realiza previamente una determinación de la capacidad de absorción de la harina empleada mediante el mixógrafo o el farinógrafo.

Las partes de agua por cada 100 partes de harina van desde 20 cuando se trata de masa para galletas, hasta 57 ó más cuando se trabaja en masas para pan, es decir la cantidad de agua depende del producto a elaborar.

Efecto de las impurezas del agua en la calidad del producto panificado:

La presencia excesiva de minerales produce un efecto negativo significativo sobre la mecánica del amasado, así como en la apariencia y la textura de los productos finales, los que se pueden observar más en galletas de soda o en pan. Los carbonatos de calcio, sulfato de calcio, cloruro de magnesio, óxido de magnesio, etc., influyen en la fermentación la cual llega a ser ineficiente. El fenómeno que también ha sido observado y es atribuido a la reacción de las proteínas del gluten con los cationes mencionados en especial sobre las ligaduras cruzadas que interaccionan en la molécula (15,65).

c) Levadura.

El propósito de añadir agentes leudantes durante el proceso de panificación, es obtener un producto suave, poroso y atractivo para el consumidor, resultante del englobamiento del gas por la masa elástica obtenida del gluten de la harina con agua, al mezclarse en condiciones apropiadas. Aunque originalmente el término "leudar" se aplica solamente a la acción de añadir levadura a la masa para elaborar pan, actualmente se ha generalizado para todas aquellas sustancias que provocan un efecto similar al antes mencionado.

Existen una gran cantidad de agentes que proporcionan el efecto leudante o de "levantamiento" en alimentos panificados: el dióxido de carbono resultante de la adición de sustancias químicas o de levadura de fermentación es el gas principal que origina el levantamiento. De tal manera, los agentes leudantes se pueden clasificar como sigue:

- Leudantes químicos: leudantes ácidos y polvos de hornear.
- Leudantes biológicos (57,42).

El uso de la levadura (leudante biológico) se practica desde hace miles de años; la ventaja que tiene sobre los otros leudantes es que puede contribuir a las características de sabor y aroma y que la evolución del gas continúa durante un período mucho mayor de tiempo pero más difícil de controlar.

El gas es generado por la fermentación, que es parte de la actividad metabólica de la levadura sobre los azúcares simples. En la industria panadera se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, celulas de forma esférica u ovoide cuyo diámetro es de 6 a 8 micras; sin embargo son diferentes, en cepa, a las empleadas en cervecería.

La cantidad usada es inversamente proporcional al tiempo de fermentación y a la temperatura de la masa, generalmente se añade 2% de levadura fresca en base a la cantidad de harina para la producción de pan blanco de caja.

Estas levaduras y por acción de sus propias enzimas (complejo zimasa), utilizan como sustrato a los azúcares simples para producir gas carbónico, además de alcohol etílico y otras sustancias secundarias que imparten sabor y aroma al pan.

Formas comerciales de la levadura:

- a) Pasta.
 - Forma que contiene alrededor del 70% de humedad; se conserva a baja temperatura.
- b) Seca.
 - La que contiene alrededor del 92% de sólidos; presenta excelente estabilidad.
- c) Levadura natural (madre o masa agria) (78,72).

d) Sal.

La sal se adiciona con objeto de dar cierto sabor al pan, aunque también hace más correoso al gluten y menos pegajosa la masa. Además, la sal rebaja la velocidad de fermentación y por ello se utiliza en mayor cantidad en los sistemas que emplean una fermentación prolongada que en los de fermentación corta.

La cantidad añadida oscila entre 2.15 y 3.12 kg. por cada 135 kg. de harina, o sea 1.5 - 2% en base a la harina (3g).

e) Azúcar.

A parte de ser sustrato en el proceso de fermentación y de otorgar su poder edulcorante al pan, funciona como ablandador en los productos horneados. El azúcar en forma de sacarosa proporciona más sustrato fermentable en los productos leudados por levadura. Esta última no fermenta la sacarosa, primero la hidroliza gracias a la enzima invertasa en glucosa y fructosa.

El azúcar tiene también la propiedad de retener humedad en los productos horneados (glucosa y fructosa principalmente) y estos reaccionan con las proteínas dando lugar a un empareamiento no enzimático en la corteza del pan (color café debido a la reacción de Maillard). El lustre o barniz en la corteza del pan se debe en parte a una gelatinización del almidón cuando la humedad es excesiva (caso del pan francés) (65).

f) **Ingredientes adicionales.**

Grasa vegetal.

A diferencia de la harina y los huevos que forman la estructura y la endurecen, la grasa vegetal (shortening), la ablanda. En algunas recetas de productos de panificación se especifica batir la grasa para incorporar más aire, antes de agregarle el resto de los ingredientes. Cuando la masa se cuece en el horno, la grasa se derrite y libera las burbujas de aire que contiene, contribuyendo así a la acción esponjadora de la levadura o polvo de hornear. Luego, la grasa derretida se deposita alrededor de las paredes celulares de la estructura en proceso de coagulación, ablandando y lubricando la textura. Si además se utiliza grasa vegetal proveniente de una leguminosa como la soya, se incrementa el valor nutritivo del producto elaborado.

Aparte de las grasas vegetales, se pueden también agregar opcionalmente algunos de los siguientes ingredientes, sobre todo tratándose de panificación industrial:

Emulsificantes, lecitina, antioxidantes, productos de la leche, huevo, sabores, colores, alimentos de levadura, agentes oxidantes y enzimáticos, y finalmente otros edulcorantes como miel, jarabe de maple o lactosa (39,74).

4.2) **Amasado.**

a) **Hidratación y formación de la masa.**

Cuatro materiales están principalmente involucrados en el mezclado: agua, proteínas, carbohidratos y lípidos. Cuando se inicia el mezclado, el agua interactúa con la proteína y el almidón a nivel molecular para desarrollar una masa coherente y de apariencia homogénea.

El agua agregada a la harina hace que la porción superficial de la proteína se hidrate, volviéndose suave y algo pegajosa. La acción del mezclado desplaza por fricción la capa suave exponiendo más proteína para ser hidratada, este proceso se repite hasta que toda la proteína se ha hidratado. La acción de mezclado altera la estructura de la proteína por desdoblamiento de las moléculas propiciando los enlaces cruzados vía formación de enlaces disulfuro. Esto resulta en la formación de una red o malla de macromoléculas lineales constituyendo la fase continua de la masa. Dispersos en esta fase, están los gránulos de almidón, las células de levadura y las burbujas de aire (47,76).

Durante el proceso de desarrollo de la masa, también se obtienen propiedades reológicas deseables: movilidad, fluidez y resistencia a la extensión. Cuando la masa se encuentra bien trabajada (tiempo óptimo de mezclado) se caracteriza por una apariencia suave, lisa y no pegajosa, que se alcanza en el momento donde existe la mínima movilidad o máxima plasticidad.

Un aspecto importante en el mezclado de la masa, es la incorporación de aire.

Al volverse cohesiva la masa comienza a incorporar aire y decrece en densidad. En el punto óptimo de mezclado aproximadamente la mitad de la cantidad total de aire se ha incorporado. El aire, particularmente el nitrógeno, es importante en los productos de panificación ya que produce las celdas de gas en las cuales el dióxido de carbono se difunde. Debido a que la levadura no puede producir nuevas celdas, el grano de la miga será muy grueso, si no existen las suficientes (80).

Como se ha visto anteriormente, los estudios reológicos se han enfocado principalmente al comportamiento de la masa durante el proceso de mezclado y en las propiedades reológicas esenciales para desarrollar una masa con óptima retención de gas. Los resultados de las medidas reológicas son usualmente dados en términos y unidades empíricas, su interpretación se basa en correlaciones establecidas entre esas unidades y el desarrollo en el horneado del material utilizado. Los dos instrumentos comúnmente usados para probar las harinas durante el mezclado son: el farinógrafo y el mixógrafo (17).

b) Función de las proteínas de trigo en panificación.

La característica que posee la harina de trigo al ser mezclada con agua para formar una masa viscoelástica que en el horno es transformada en pan, depende principalmente de las propiedades fisicoquímicas de sus proteínas. Durante el mezclado con agua, las proteínas se hidratan y se asocian con ellas mismas y con otros componentes de la harina como carbohidratos y lípidos para formar la matriz del gluten. Las características importantes en el pan como son la textura y el grano de la miga dependen de la habilidad del gluten para formar la estructura de las celdas de gas, que son fijadas en la forma rígida de la hogaza mediante el calor del horneado.

Cabe recordar que el potencial panadero de una harina de trigo depende tanto del contenido como de la calidad de las proteínas, dicho contenido es referido como la "fuerza" de una harina y es una medida de la capacidad de la misma para producir un pan bien definido y de buen volumen. Este último es directamente proporcional al contenido protéico de una harina partiendo de una misma variedad de trigo (47).

Grupos sulfhidrilo y disulfuro.

Dentro de los grupos reactivos de las proteínas que forman el gluten, los más importantes son los grupos S-S y SH-. Su presencia puede ser alterada en cuanto a cantidades mayores o menores de uno de los dos grupos, lo cual ofrece un medio para controlar el desarrollo de la masa durante el mezclado y la subsecuente realización del máximo potencial de volumen en el pan.

Los grupos SH- se encuentran principalmente en las albúminas; los grupos S-S se encuentran esencialmente en las gliadinas y gluteninas. Las gliadinas contienen grupos S-S intrapolipeptídicos solamente, mientras que las gluteninas contienen esos mismos grupos intra e inter polipeptídicos. Estos dos grupos presentan una reactividad variable o accesibilidad a los agentes químicos debido a la variedad de impedimentos estructurales, lo que ocasiona que su contribución a las propiedades reológicas de la masa sean en algunos casos mayormente activos que en otros.

La calidad del gluten parece estar basada en su estructura molecular: los enlaces cruzados y el enroscamiento de las largas cadenas de moléculas de proteína o sus agregados proveen la elasticidad necesaria, mientras que la fluidez viscosa se debe al agua, a los lípidos y a la proporción del intercambio reversible de uniones en la estructura conectada. Durante el mezclado, los grupos SH- facilitan el desarrollo de la masa por contribución a la fluidez mediante la iniciación de reacciones de intercambio por medio de la reducción de grupos S-S de la glutenina (36,17).

Acción de las enzimas proteolíticas en el amasado.

El efecto destructivo de agentes reductores y proteasas se explica por el rompimiento de las cadenas que resultan de su despolimerización como un resultado del corte de las uniones S-S por el agente reductor. A medida que disminuye la polimerización por acción del agente reductor se produce una masa débil.

En síntesis, cuando el gluten se moja y se amasa por medio de acción mecánica, forma una masa elástica que al estirarse en varias direcciones forma películas que se debilitan y se rompen si el amasado es excesivo. El gluten se combina con el almidón; este último cuando se humedece y calienta forma una pasta que se gelatiniza. Así se forman las mezclas o masas que de acuerdo con la cantidad de agua añadida y la fermentación adecuada, tanto el gluten como el almidón, contribuirán a la estructura semirígida que resulta del calentamiento (17,76).

c) Propiedades funcionales de los lípidos en panificación.

Los lípidos de la harina de trigo constituyen aproximadamente un 2% del total y se dividen en polares y no polares en cantidades relativamente iguales. Los lípidos polares presentan propiedades surfactantes y promueven la formación de espumas mediante un efecto estabilizador de éstas mientras que los lípidos no polares son inhibidores de las espumas.

Una de las teorías que describen la función de los lípidos en la elaboración del pan, es el modelo de Grosskreutz.

En este modelo las cadenas de proteína se encuentran unidas mediante sus grupos básicos con los grupos ácidos de los fosfolípidos. Los lípidos polares ayudan a integrar a los lípidos no polares en la red del gluten, proporcionando de esta manera una especie de lubricación en esta estructura, haciéndola más extensible y por lo tanto mayormente capaz de mantener la estructura de la masa en las operaciones de moldeo, recuperación y horneado (43).

El complejo de gluten bien desarrollado, es de naturaleza membranosa y contiene lípidos como parte integral de su estructura. El simple humedecimiento de la harina aumenta la unión de los lípidos principalmente a las proteínas y el subsecuente mezclado para desarrollar la masa y fortalecer esa unión. Durante el mezclado, el tamaño de los agregados protéicos disminuye, al mismo tiempo que los lípidos que normalmente pueden ser extraídos de la harina con solventes no polares se encuentran ligados. La cantidad de lípidos libres disminuye como consecuencia inmediata de agregar agua a la harina aun sin trabajo mecánico. La unión de los lípidos aumenta al irse mezclando la masa hasta su óptimo desarrollo (44).

Está ampliamente aceptada la importancia de la interacción almidón-lípido-proteína, sin embargo la complejidad del sistema ha limitado su conocimiento. Durante el desarrollo de la masa los lípidos interactúan principalmente con el gluten, promoviendo de esta manera la retención de gas en la masa. Durante el horneado, los lípidos interactúan principalmente con el almidón, lo cual gobierna en amplio grado la retención de la frescura en el pan horneado.

Las interacciones parecen ser el secreto de la efectividad en las propiedades funcionales de los lípidos polares en panificación. Para que existan esas interacciones, los lípidos deben tener la ayuda de una proteína de buena calidad (27,43).

4.3) Fermentación.

a) Acción de las amilasas.

En el proceso de fermentación del pan intervienen varias enzimas las cuales actúan sobre los carbohidratos presentes: alfa-amilasa y beta-amilasa (llamadas también diastasas), maltasa, invertasa y el complejo enzimático zimasa de la levadura constituido por 14 enzimas. La producción de gas durante la fermentación es influenciada por la disponibilidad de nutrimentos para la levadura, y las enzimas son necesarias para proporcionar algunos de ellos. La fuente principal de las enzimas son la harina y la levadura. La harina de trigo contiene a la alfa y beta-amilasas, la acción primaria de la alfa-amilasa es "romper" las moléculas de almidón (sobre las uniones alfa 1-4 glucosídicas de la amilosa y la amilopectina) en múltiples unidades poliméricas de glucosa llamadas dextrinas.

El gránulo de almidón entero puede ser atacado, pero la degradación es más rápida y severa si los gránulos se encuentran rotos, dañados o gelatinizados. Es deseable que exista degradación del almidón por parte de la alfa-amilasa durante las fases iniciales del horneado para crear una óptima fluidez y permitir una correcta expansión de la masa. Esta actividad continúa durante el horneado hasta el punto en el que desnaturaliza la enzima por calor. Una actividad inadecuada de la alfa-amilasa puede disminuir el volumen del pan, mientras que un exceso de enzima puede producir un aumento indeseable en su volumen, con tendencia a formar cavidades en las paredes de la hogaza (9,45).

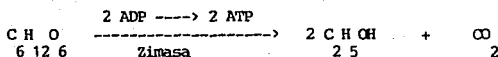
b) Fermentación de los azúcares por la levadura.

Las dextrinas formadas por la acción de la alfa-amilasa, son degradadas a maltosa (glucosa-glucosa) por la beta-amilasa; la maltosa es la forma en la que el almidón proporciona el requerimiento de carbohidratos para la levadura. La enzima maltasa se encuentra presente en la levadura y es la responsable de la conversión de la maltosa en unidades de glucosa, mientras que la enzima invertasa (proveniente también de la levadura) convierte la sacarosa en glucosa y fructosa. Finalmente la actividad enzimática se ve completada por la acción de una mezcla compleja de enzimas presentes en la levadura, la zimasa, que convierte a la glucosa y fructosa en dióxido de carbono, alcohol y compuestos aromáticos. A partir del momento en que las enzimas se desnaturalizan (inactivan) por el calor del horno, la fermentación cesa y la estructura semirígida se forma mediante la gelatinización del almidón.

En resumen:

- Alfa-amilasa: desdobra el almidón en dextrinas.
- Beta-amilasa: degrada las dextrinas en maltosa.
- Maltasa: desdobra a la maltosa en dos unidades de glucosa.
- Invertasa: desdobra a la sacarosa en fructosa y glucosa.
- Zimasa: fermenta a la glucosa o fructosa para producir gas carbónico alcohol y compuestos aromáticos (78,35).

Como ya se dijo anteriormente, la acción de las enzimas sobre los carbohidratos termina en la producción de dióxido de carbono y alcohol etílico, además de algunos compuestos secundarios formados por las reacciones que acompañan a la fermentación alcohólica y tales sustancias pueden afectar al gluten pero además, pueden comunicar cierto aroma y sabor al pan; ejemplo de estas sustancias son ácido acético, carbonilos, acetona, isopropanol y ésteres. La ecuación simplificada que describe la suma total de las reacciones en la fermentación es la siguiente (78):



El aspecto y velocidad general de la fermentación se pueden medir gracias al zimotaguígrafo, que permite evaluar el volumen de gas carbónico desprendido en función del tiempo. La fermentación de los azúcares contenidos en la harina se desarrolla en dos etapas:

- 1) Fermentación de los azúcares preexistentes en la harina.
- 2) Fermentación de la maltosa liberada por las amilasas (o diastasas).

Cuando están presentes los azúcares simples como glucosa y fructosa, éstas son asimiladas y fermentadas inmediatamente por la levadura preferentemente sobre la maltosa debido a su tamaño. Cuando estas hexosas son completamente agotadas, se presenta un período de retraso en la producción de gas antes de que las células de la levadura lleguen a adaptarse a la fermentación de la maltosa (amilolisis).

Durante la fermentación de 135 kgs. de harina se producen aproximadamente 2.2 litros de alcohol estandar, pero gran parte de él se pierde durante la cocción del pan, volatilizándose en su casi totalidad a 79°C. El pan recién elaborado contiene alrededor de 0.3% de alcohol etílico (17,45).

c) Diferentes fases de la fermentación.

Se puede dividir la fermentación panadera en tres fases:

- 1) Primera fermentación o fermentación en masa.
- 2) Fermentación intermedia o relajamiento.
- 3) Fermentación final: recuperación y moldeo.

La primera fermentación comienza a partir del momento en que se introduce la levadura en la etapa de amasado y su objetivo es proporcionar el tiempo necesario para que la levadura se adapte al medio. Posteriormente se deja en reposo la masa previamente dividida en pequeñas bolas las cuales se colocan en un cuarto de fermentación a 28°C. La duración de esta etapa es variable y es inversamente proporcional a la intensidad del amasado. El dióxido de carbono formado a partir de los azúcares preexistentes en la harina se disuelve parcialmente y por lo tanto el volumen es muy reducido. Paralelamente, se observa mayor tenacidad en la malla protéica del gluten, pero ninguna uniformidad en la repartición de las burbujas de gas (36).

Después de la primera fermentación, la masa se somete a un primer "punch" para expulsar el gas retenido y proporcionar una mejor estructura de la miga y reforzar la malla protéica. Esto permite que la masa se relaje y controle la distribución del gas (burbujas): a esta fase se le denomina fermentación intermedia o de relajamiento.

La fermentación final se inicia con un segundo "punch" que condiciona el volumen del futuro pan. Una vez colocada en el molde, la hogaza triplica en volumen bajo la presión del gas carbónico formado (recuperación).

Pero el estiramiento y la mayor porosidad de la red protéica, traen como consecuencia un descenso en el aumento del volumen de la hogaza. El azúcar fermentado en el transcurso de esta fase es la maltosa proveniente de la hidrólisis del almidón. Tanto la fermentación intermedia como la final se efectúan también en un cuarto de fermentación a una temperatura (28°C) y una humedad relativa constantes (67,45,17).

d) Producción y retención de gas.

La retención de gas es una propiedad característica de las proteínas de la harina; el gluten, a la vez que es lo suficientemente extensible como para permitir la subida del pan, debe ser también lo suficientemente fuerte como para evitar que el gas se escape con demasiada facilidad. La baja producción de gas (algunos autores lo atribuyen a valores bajos de maltosa), se puede corregir añadiendo trigo germinado o malta diastásica a la harina. La cantidad de gas debe ser adecuada pero no excesiva; tal producción dependerá de la cantidad de azúcares solubles presentes en la harina, del poder diastásico de ésta y de su granulación (36).

La levadura produce el dióxido de carbono, el cual es seguramente disuelto en la fase acuosa de la masa y claramente se ha demostrado (Baker y Mize, 1941), que no puede formarse de nuevo gas en la masa. El gas carbónico disuelto debe difundirse a una celda de gas existente y entrar a la célula para lograr el levantamiento de la masa. Si el gluten sujeta el gas, entonces este último entra a la celda que obviamente no tiene membrana de retención.

Una observación profunda del sistema, reveló que el gas es retenido en la celda porque el medio acuoso alrededor de la celda está saturado de gas carbónico, entonces el gas no puede difundir fuera de la celda. La masa retiene el gas porque la velocidad de difusión es lenta; si fuese rápida, el gas se escaparía a la atmósfera como en el caso de una masa elaborada con puro almidón. En resumen, la estabilidad de la hogaza en fermentación, tanto en estructura como en volumen, depende directamente de la actividad fermentativa y del estado del gluten en un momento dado (35,67).

4.4) Horneado.

a) Evolución de la masa en el horno.

El término hornear es la operación final del proceso de panificación; los productos de masa se cuecen en un horno en donde ocurren varias reacciones y cambios muy significativos. Las velocidades de estas reacciones y el orden en que ocurren dependen en gran parte de la velocidad de transmisión del calor a través de la masa:

- 1) Producción y expansión de gases.
- 2) Coagulación del gluten y gelatinización del almidón, retención de gas.
- 3) Deshidratación parcial debido a la evaporación de agua.
- 4) Desarrollo de sabores.
- 5) Cambios de color debido a reacciones de Maillard.
- 6) Formación de la corteza debido a la deshidratación superficial.
- 7) Obscurecimiento de la corteza debido a reacciones de Maillard y caramelización de azúcares.

Si la corteza se forma antes de que el centro de la masa esté cocido, resulta húmedo; si el gas escapa tardíamente, agrieta la corteza. Influye también el tipo de molde utilizado y la altura al nivel del mar. La calidad del producto final se manifiesta por dos funciones específicas en panificación:

- 1) La capacidad de una masa para retener el gas, la estabilización de la estructura por la coagulación del gluten y la gelatinización del almidón; ésto es función de la calidad y cantidad del gluten y del almidón presente en la masa (actividad de alfa-amilasa).
- 2) La capacidad de la masa para producir gas, relacionada con la cantidad de azúcares fermentables (39).

Cambios físico-químicos en la miga:

La temperatura de la masa se eleva progresivamente del exterior hacia el interior para alcanzar en su centro un valor máximo ligeramente inferior a 100°C. El aumento en la temperatura activa en primer lugar la levadura, asegurándose así una fuerte producción de gas carbónico durante algunos minutos a un tiempo necesario para alcanzar la temperatura de destrucción de la levadura (50°C). A partir de este momento cesa la fermentación.

Del mismo modo, prosigue la amilolisis y se acelera para finalmente también cesar. Esto ocurre un poco después de inactivada la levadura, aproximadamente a 70°C y una vez desnaturalizadas las alfa-amilasas. Por lo tanto, continúa la producción de azúcares después de muertas las células de levadura.

En el transcurso de la amilolisis, se inicia la gelatinización del almidón (a 55°C); el final de este fenómeno se sitúa alrededor de los 83°C. A partir de 70°C, empieza a coagularse el gluten hasta lograr la rigidez final de la red proteica, hecho que ocurre a los 100°C. Finalmente, en el transcurso de la fermentación hasta la cocción de la masa, existe una expansión constante de gas carbónico (35,45).

b) Formación de la costra.

Cambios físico-químicos en la costra:

Hasta los 100°C, el agua que se evapora de la miga impide que la costra se forme realmente; sólo aparece una delgada película. En efecto, el vapor de agua que se desprende, frena un poco la penetración de calorías al interior de la hogaza, siendo que la temperatura superficial de esta última es sensiblemente inferior a la que encierra el horno.

Arriba de los 100°C, la costra se deshidrata paulatinamente solidificándose (150-200°C). Por último y simultáneamente, los azúcares residuales no fermentados en este paso se dextrinizan, se caramelizan y se combinan con ciertas proteínas (reacción de Maillard): son esenciales para el oscurecimiento de la corteza y el apetitoso color del pan tostado (35).

Cuatro factores esenciales favorecen la intensidad de la reacción de Maillard:

- La cantidad de aldehídos o de cetonas y de aminoácidos: son los sustratos de la reacción.
- La humedad: la reacción de Maillard comprende algunas deshidrataciones y es inhibida por una falta de humedad en el horno disminuyendo la movilidad de los reactivos.
- El pH: una acidificación de la masa, debido a la producción de ácidos orgánicos o a su adición intencionada, frena la reacción de Maillard.
- El aumento en la temperatura (mínimo 200°C) favorece esta reacción (78).

c) Enfriado y envejecimiento del pan.

A menudo los microorganismos causan problemas con la harina; ciertas bacterias y hongos tienden a desarrollarse en el pan. El Bacillus subtilis puede sobrevivir al proceso de horneado, particularmente si el pan es enfriado lentamente o envuelto antes de enfriar. Aparecen entonces manchas amarillas oscuras y viscosas en la miga junto con un olor a fruta descompuesta. El pan sangrado es el nombre que se le ha dado a alteraciones debidas a Bacillus marcescens el cual produce manchas rojas brillantes. Para la prevención de contaminación con microorganismos y sus consecuencias, se emplean algunos conservadores químicos entre los cuales están el ácido propiónico, el ácido acético y sus sales (36).

El endurecimiento de la miga no es un proceso de desecación, ya que no está relacionado directamente con la pérdida de humedad. Según los trabajos de Katz⁽⁴⁴⁾ la causa fundamental del endurecimiento reside en la transformación de una forma química del almidón en otra. El mencionado autor sostiene que el almidón se transforma lentamente a temperaturas inferiores a 55°C pasando de una forma alfa a una forma beta y que esta última se une con cantidades mucho más bajas de agua que la primera. Esta transformación lleva consigo un rápido endurecimiento y una contracción de los gránulos de almidón que se separan del esqueleto del gluten con quienes se encontraban asociados produciendo una alteración de la estructura de la miga. Esto se puede evitar conservando el pan a - 20°C.

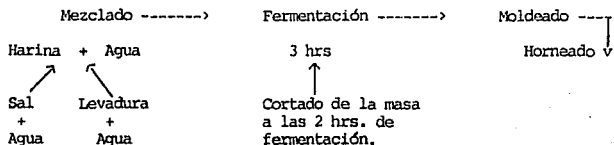
Schoch y French (46) sostienen que el endurecimiento del pan se debe a un apelmamiento interno, por ejemplo, a una agregación reversible por el calor, de la porción de amilopectina (cadena ramificada) del almidón y que no está relacionada con cualquier transformación de la amilosa (cadena recta) de éste, ya que la amilosa es insolubiliza por retrogradación irreversible durante la cocción y por lo tanto no puede influir en el añejamiento que tiene lugar después.

Así entonces, parece ser que el almidón juega el mayor papel en la firmeza del pan y tales son los cambios que ocurren en la miga y en la corteza: pérdida de sabor, decrecimiento en la capacidad de absorción de agua, cantidad de almidón soluble y susceptibilidad enzimática del almidón. El mecanismo básico de envejecimiento no es afectado por el contenido de proteína (28,46).

4.5) Procedimientos de panificación.

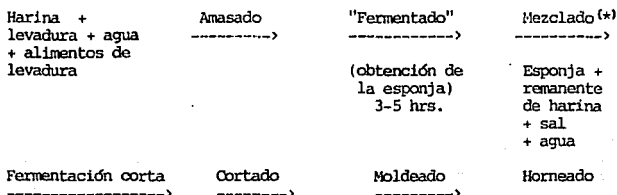
a) Tradicional.

Los ingredientes, 134 kg. de harina, 1,7 kg. de levadura, 2,4 kg de sal, 70 l. de agua, se mezclan empleando el agua a una temperatura tal que la masa quede a 27°C. La levadura se dispersa en una parte de agua y la sal se disuelve en otra, ambas porciones se mezclan con otra formada por la harina y el resto del agua dejando que comience la fermentación. Dos horas después la masa se "bolea" para obtener así una masa más completa. Se deja otra hora más, se divide y se moldea. Los panes así formados permanecen de 10 a 15 minutos en reposo antes de moldearlos de nuevo, después de lo cual se dejan de 40 a 45 minutos para ser llevados finalmente al horno a 230-260°C durante 45 minutos como se muestra en el siguiente diagrama (52):



b) **España-masa.**

La mitad de la harina se mezcla al principio con toda la levadura, el alimento de la levadura y con la cantidad suficiente de agua para formar una masa que se deja fermentar durante algunas horas. La "esponja" o masa así obtenida se trabaja y se mezcla con el resto de la harina, la sal y el agua necesaria para formar una masa de consistencia adecuada y de óptimo desarrollo. Posteriormente se pasa a un gabinete de fermentación por un corto tiempo antes de dividir, moldear y hornear los panes **como se ilustra a continuación (39,52) :**



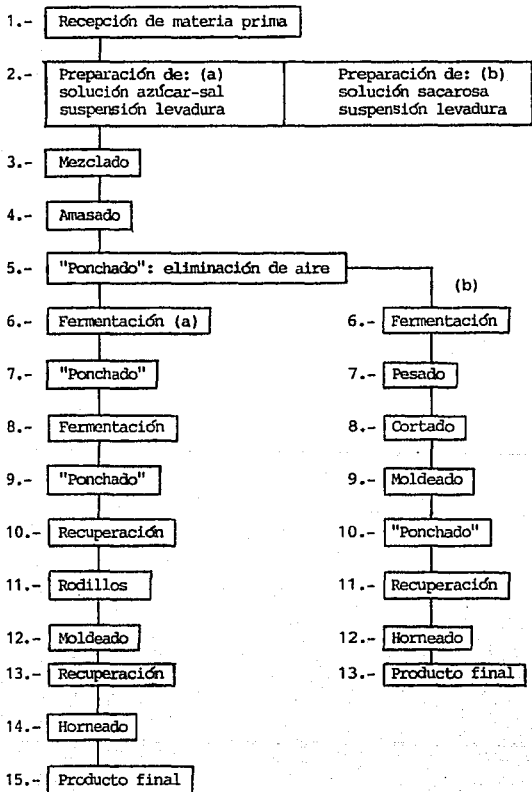
c) **Amasado continuo.**

Consiste en un **remezclado**: en la segunda mezcla (*) únicamente se adicionan pequeñas cantidades de agua partiendo de la totalidad de los ingredientes, para seguir con las últimas etapas del método esponja-masa.

d) **Chorleywood.**

Es un método específico que se caracteriza por un intenso trabajo de amasado mecánico en 5 minutos además de una sobre-hidratación de la masa en un 2-3%. También se modifica la formulación de la masa añadiendo grasa y agentes de oxidación en cantidades de 0.7 g./100 kg de harina y 7.5 g./100 kg. de harina respectivamente; la ausencia de prefermentador y el aumento al doble de la levadura son característicos en el método de Chorleywood (35).

e) Diagrama de bloques de elaboración de pan.



V) MATERIAL Y METODOS.

5.1) Selección de diferentes variedades de trigos.

El trigo del grupo No. 2 fué la materia prima utilizada en la parte experimental. Por ser relativamente bajo en proteína y en fuerza general rinde un pan de menor volumen que el trigo del grupo No.1, sin embargo, al tener un gluten medio fuerte, es apto para la industria del pan hecho a mano e ideal para el propósito de este trabajo.

Se obtuvo una harina extra fina proveniente de una mezcla de trigos de calidad grupo 2 y grupo 1, este último brindando una harina con gluten mediofuerte y también elástico:

- 95% de trigo grupo 2, variedad "Norteflo".
- 5 % de trigo grupo 1, variedad "Noroeste".
- Procejenacia de ambos grupos: Sonora y Baja California.

5.2) Molienda. .

a) Limpieza del grano.

Las impurezas del grano deben ser eliminadas mediante la utilización de un tamiz o zaranda con forma y tamaño específico de sus orificios, para dejar caer cualquier material que no sea trigo (principalmente piedras, granos dañados o quemados, cascarillas). (Ver capítulo I, inciso 2d).

b) Acondicionamiento en frío.

Se agregaron 70 ml. de agua por cada Kg. de trigo y se dejó en reposo durante 24 hrs. El propósito del acondicionamiento radica en aumentar la separabilidad del endospermo con el salvado; de este modo se obtiene una harina más fácil de cernir, más blanca y con menor contenido de cenizas.

La humedad inicial del trigo antes del acondicionamiento fué del 12% obtenida por el método oficial de capacitancia (método AACCI 44 11).

c) Molienda.

Una vez acondicionado el trigo, se trituró, tamizó y purificó en un molino neumático experimental "Buhler" que proporciona de un 60 a 65% de extracción.

5.3) Análisis de la harina.

a) Humedad (2).

La harina recién molida se almacenó en cubetes herméticos para evitar alteraciones en el contenido de humedad. Su determinación se hizo por el método oficial AAC 44-16 empleando una estufa eléctrica y semiautomática Brabender.

Se pesaron 10 g. de harina previamente uniformizada, se colocó en un platillo de aluminio y se introdujo en la estufa a 140°C durante 15 min.

b) Gluten húmedo (1,2).

Determinación por lavado mecánico, método oficial AAC 38-11. 10 g. de harina se mezclan con 6 ml. de solución buffer (2% de NaCl) hasta formación de una masa firme. Esta se lava durante 12 min. con solución buffer en el lavador automático "Theby" para finalmente lavarla manualmente con la misma solución. Por último se pesa la masa.

c) Gluten seco.

Secando la masa de gluten húmedo en una estufa eléctrica a 100°C durante 24 hrs., se obtiene el gluten seco. Se pesó la masa para finalmente obtener el resultado (se recuerda que el gluten seco = 1/3 del gluten húmedo). (Ver capítulo II, inciso 2d).

d) Color (65).

Se mezclan 20 g. de harina con 25 ml. de agua destilada; se deja reposar la mezcla homogénea durante 5 min. y se coloca en el colorímetro Agtron estandarizado con el disco 63. Se lee finalmente con el disco 85 para obtener un valor arbitrario que corresponde a la muestra; el valor de 100 indica el máximo colorido de una harina.

e) Cenizas (1,2).

En base al método oficial AAC 08-03, se determinó el % de cenizas en la muestra.

En un crisol previamente pesado, se colocan 3-5 g. de harina que se somete a carbonización completa con un mechero. Se introduce el crisol en la mufla a 550°C durante 2 hrs o más hasta la obtención de cenizas blancas o grises homogéneas. Se enfrían en un desecador y se pesan para obtener los resultados de la siguiente forma:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P - R) \cdot 100}{M}$$

P = peso del crisol más muestra calcinada.
 R = peso del crisol vacío.
 M = peso de la muestra.

f) **Proteína cruda.**

Se realizó la prueba en la muestra siguiendo el método oficial Kjeldahl AACC 46-10. Los cálculos son los siguientes como se explicó en el capítulo II:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{(B - S) (N) 5.7 (0.01401) 100}{E}$$

B = ml. de ácido sulfúrico 0.1 N.
 S = ml. de NaOH 0.1 empleados en la titulación.
 N = normalidad del alcalí.
 E = peso muestra (0.7 - 2.2 g. de harina).

5.4) **Adición de los aditivos en forma independiente y en diferentes concentraciones.**

- Bromato de potasio.

5g. KBrO_3 + 95 g. de harina = 100% de la dilución.

Se toman 2,6,8 y 12 g. de esta dilución/100 Kg. de harina y se agrega cada una de estas concentraciones a 250 g. de harina para un alveograma.

- Ácido ascórbico (A.A.).

0.1 g A.A. + 100 g. de harina = 100% de la dilución.

Se toman 50,100 y 200 ppm de esta dilución, equivalentes a 0.5, 1 y 2 granos respectivamente para 250 g. de harina de un alveograma.

- Azodicarbonamida (ADA).

10 g. ADA + 90 g. de harina = 100% de la dilución.

Se toman 2,6,8 y 12 g. de esta dilución/100 Kg. de harina y se agrega cada una de estas concentraciones a 250 g. de harina para un alveograma.

- Alfa-amilasa fúngica.

25 g. alfa-amilasa + 75 g. de harina = 100% de la dilución y se agregan las mismas concentraciones que en el caso anterior (ADA).

- Harina de malta diastásica.

Mismas diluciones y concentraciones que la alfa-amilasa.

- Proteasa.

10 g. de proteasa + 90 g. de harina = 100% de la dilución y se toman las mismas concentraciones que en el caso de la ADA.

5.5) Realización de alveogramas.

a) Preparación de la muestra.

Mezclar y homogeneizar perfectamente la muestra de harina (250g.) con la cantidad exactamente pesada de aditivo (en balanza analítica).

b) Determinación de la humedad de la harina.

Utilizar el método oficial AACC 44-16 en las condiciones fijadas por el método. El cuidado y precisión de esta determinación es muy importante para el valor de los resultados alveográficos y no debe alejarse en ningún caso del $\pm 0.2\%$ al efectuar tres determinaciones.

c) Control de la temperatura de los aparatos y del ambiente.

La temperatura en la amasadora y el alveógrafo se mantiene automáticamente a 24 y 25°C respectivamente. La atmósfera no debe ser ni demasiado seca ni demasiado húmeda (HR entre el 55 y 70%).

La temperatura de la harina y del agua salina debe situarse alrededor de los 20°C, al igual que la temperatura ambiental (entre 18 y 22°C).

d) Cálculo de la cantidad de agua salina a añadir en la harina.

El agua salina es una solución al 2.5% de NaCl en agua destilada. Se pesan 25 g. de cloruro sódico, se introducen en un matraz aforado de 1 l. y completar con agua hasta este volumen. La cantidad de agua salina a utilizar se indica por:

- La bureta especial ICC graduada directamente en proporción al contenido de humedad.

- Una tabla ICC que proporciona el volumen de agua a añadir en relación con el contenido de humedad de la harina. Esta tabla concuerda con las recomendaciones de la ICC (Asociación Internacional de Químicos Cerealistas) en la normalización internacional del ensayo alveográfico. La medición de la cantidad de agua a añadir debe de efectuarse con mucho cuidado.

e) Amasado metódico.

Se introduce en la amasadora 250 g. de harina y se vierte la cantidad adecuada de agua salina por el orificio de la tapa. Esperar durante un minuto a que la masa se forme; transcurrido el minuto, parar el motor, despegar mediante una espátula la harina adherida a la tapa y a las esquinas, de forma que la totalidad de ésta participe de la hidratación. El operador tiene un minuto para esta operación y para volver a poner la tapa. Al cabo del segundo minuto, volver a poner en marcha el motor y dejar entonces que el amasado prosiga durante seis minutos. Transcurrido el minuto octavo, parar el motor y proceder a la extracción de la masa.

f) Extracción y formación de los plastones.

Despegar el orificio de extrusión e invertir la rotación del brazo amasador: la masa se extrae en forma de cinta. Se corta rápidamente y se hace deslizar sobre una placa de vidrio previamente aceitada. Extraer sucesivamente cinco plastones, sin detener el motor, y laminar los mediante el rodillo de acero igualmente aceitado, haciéndolo deslizar sobre sus rieles doce veces seguidas.

Colocar, inmediatamente, cada plastón en el armario termostático a 25 °C del alveógrafo según el orden de extracción.

Durante el período de reposo (20 min.) se limpia la amasadora y se coloca la hoja de diagramas sobre el tambor graficador verificando la movilidad y el llenado de la plumilla en la posición cero.

g) Ensayo en el alveógrafo.

Este ensayo debe de comenzar exactamente 28 minutos después del inicio del amasado. Se hace deslizar el primer plastón sobre la platina previamente aceitada y se prensa. Introducir aire con la perilla de forma que la masa se mantenga despegada de la platina. Se pone en marcha el alveógrafo hasta que se revienta la burbuja, simultáneamente se registrará sobre el tambor que gira a velocidad constante, la gráfica (alveograma) característica de la harina.

Finalmente, se repite la secuencia de estas últimas operaciones (inciso g), con los cuatro plastones restantes.

h) Modo de cálculo y expresión de los resultados.

Los resultados son medidos, o calculados, en base a las cinco curvas obtenidas. No obstante, si una de ellas se desvía notablemente de las cuatro restantes, como consecuencia en particular de una ruptura prematura de la burbuja, no se tomará en cuenta al expresar los resultados. Para ello, se traza una curva promedio y posteriormente se emplean unos ábacos propios del alveógrafo que permiten la medición de "P", "G", "L" y de "P/G" (ábaco # 1) y la medición de la superficie de la curva promedio "S" y de "W" (ábaco # 2).

- Sobrepresión máxima "P".

La media de las ordenadas máximas, medida en milímetros y multiplicada por 1.1, representa el valor de la sobrepresión máxima "P" que está en relación con la resistencia de la masa a la deformación, o sea su tenacidad.

- Abscisa media a la ruptura "L":

La abscisa a la ruptura de la curva promedio se mide en milímetros, partiendo del origen de la curva hasta el punto de ruptura de ésta. La longitud "L" así medida representa la extensibilidad de la masa.

- Índice de hinchamiento "G":

Es la medida del índice de hinchamiento o expansión de la masa y que corresponden a las abscisas de ruptura.

- Relación "P"/"G":

Esta relación se denomina, convencionalmente: relación de configuración de la curva.

- Trabajo de deformación "W":

Primeramente se mide la superficie promedio del alveograma en cm^2 por medio del ábaco # 2 ó de un planímetro. Luego, el trabajo de deformación de la masa o fuerza respecto a un gramo de masa representado por el símbolo "W" y evaluado en ergios, se calcula del siguiente modo:

$$W = 6.54 \times S$$

5.6) Prueba de panificación con ácido ascórbico (A.A.) (68).

En esta prueba se describe con detalle el método para determinar la dosis óptima de ácido ascórbico por tonelada de harina mediante una sencilla prueba de panificación a nivel laboratorio.

a) Preparación de la solución tipo:

Se pesan con exactitud 100 miligramos de A.A en balanza analítica y se aforan a 100 ml. con agua en un matraz aforado.

b) Determinación de la dosis óptima A.A en la harina:

Efectuar 4 pruebas de panificación por duplicado, agregando como parte del agua de amasado (con una pipeta graduada) 1 ml., 2 ml. y 3 ml. de la "solución tipo", por cada 100 gramos de harina (equivalentes a 10, 20 y 30 ppm respectivamente) y observar la dosis que produce los mejores resultados de panificación.

c) Panificación.

- Formulación del pan.

- 100 g. de harina.
- 4 g. de levadura fresca.
- 10 g. de manteca vegetal.
- 10 ml. de solución azúcar/sal al 1.5% y 5% respectivamente.
- 45 ml. de agua aproximadamente.

- Elaboración de pan, efectuando 4 pruebas por duplicado.

Equipo:

- Balanza granataria de 2 kg. de capacidad. Ohaus.
- Amasadora del alveógrafo Chopin.
- Cámara de fermentación a 30°C, sin marca.
- Horno rotativo a 210°C. Despatch Oven Company. Modelo W-R105.
- Moldes de aluminio tipo panqué. Capacidad 100 g. de harina.
- Medidor de volumen modelo "pub size".

Técnica:

- Vaciar los ingredientes en el recipiente de la mezcladora y batir durante 6 minutos hasta tener la consistencia adecuada.
- Dividir la masa en dos y se coloca en una charola que se introduce en la cámara de fermentación a 30°C con suficiente humedad.
- Dejar reposar durante 55 minutos.
- Finalizado este tiempo se procede al primer "punch" (golpear suavemente la masa para extraer todo el gas posible) y se deja reposar por 25 min. más dentro de la cámara de fermentación.
- Efectuar de nuevo el segundo "punch" y moldear. Después del moldeado, se colocan de nuevo en la cámara de fermentación durante 50 min. hasta que el leudado de la masa rebasa en 2 cm. el borde superior del molde.

- Se colocan los moldes en un horno rotativo a 210°C durante 25 minutos, en el cual debe existir una bandeja con agua que proporcione humedad.
- Sacar el pan, dejar enfriar por un lapso de 2 hrs. y pesar.
- Se mide el volumen por desplazamiento de semillas de nabo en el medidor de volumen y se reporta como volumen específico.

5.7) Prueba con mezclas de aditivos.

a) Molienda.

Se efectuaron los mismos análisis descritos en los incisos 2) y 3) con los siguientes métodos:

- Humedad inicial del trigo con el método oficial de capacitancia AACC 44-11.
- Molienda en el molino neumático experimental "Buhler".

b) Análisis de harina.

La humedad inicial de la harina empleando el método oficial AACC 44-16 puede disminuir debido a una ligera deshidratación del trigo durante su almacenamiento.

c) Adición de mezclas de aditivos en diferentes concentraciones.

- Pruebas de alveogramas.

Se utilizaron exactamente las mismas diluciones que las correspondientes al inciso 5.4) para ADA, bromato de potasio, alfa-amilasa fúngica, proteasa y A.A.

Las concentraciones de dichas diluciones en gramos por cien Kg. de harina son las siguientes, para cada par de mezclas de aditivos:

- [12 g. ADA + 8 g. KBrO_3]
- [12 g. ADA + 8 g. KBrO_3]
- [6 g. alfa-amilasa + 2 g. proteasa]
- [8 g. alfa-amilasa + 4 g. proteasa]
- [6 g. malta + 2 g. proteasa]
- [3 g. ADA + 6 g. KBrO_3]
- [3 g. ADA + 7 g. KBrO_3]
- [3 g. ADA + 0.5 g. A.A.]
- [3 g. ADA + 1 g. A.A.]
- [8 g. alfa-amilasa + 12 g. proteasa]
- [8 g. alfa-amilasa + 20 g. proteasa]

Prueba (A).

- [8 g. alfa-amilasa + $\underbrace{8 \text{ g. (3 g. ADA + 7 g. } \text{KBrO}_3 \text{)}}_{80\%}$]

Prueba (B).

- [8 g. alfa-amilasa + $\underbrace{3.2 \text{ g. (3 g. ADA + 1 g. A.A.)}}_{80\%}$]

Prueba (C).

- [10 g. alfa-amilasa + 4 g. (3 g. ADA + 1 g. A.A.)]

Prueba (D).

- [10 g. alfa-amilasa + $\underbrace{10 \text{ g. (3 g. ADA + 7 g. } \text{KBrO}_3 \text{)}}_{100\%}$]

Considerando como ejemplo ilustrativo el primer par de mezclas, las concentraciones de las diluciones en g. por 100 Kg. de harina son las siguientes:

- [12 g. ADA + 8 g. KBrO_3]

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

La dilución del ADA viene siendo (ver inciso 5.4) :

10 g. ADA + 90 g. de harina = 100% de la dilución.

Se toman 12 g. de esta dilución en 100 Kg. de harina y se agregan a 250 g. de harina para efectuar un alveograma, o sea la siguiente cantidad:

12 g. de dilución ADA \longrightarrow 100,000 g. de harina
 x g. " " " \longrightarrow 250 g. " "
x = 0.03 g. de la dilución con ADA.

Del mismo modo, la dilución del $KBrO_3$ es:

5 g. $KBrO_3$ + 95 g. de harina = 100% de la dilución.

Se toman 8 g. de esta dilución en 100 Kg. de harina y se agregan a los 250 g. de harina anteriores, según esta cantidad:

8 g. de dilución $KBrO_3$ \longrightarrow 100,000 g. de harina
 x g. " " " \longrightarrow 250 g. " "
x = 0.02 g. de la dilución con $KBrO_3$.

Por lo tanto, la realización del alveograma para este primer par de mezclas resulta como sigue:

0.03 g. de la dilución con ADA + 0.02 g. de la dilución con $KBrO_3$ en 250 g. de harina. (La prueba se hizo por duplicado).

El mismo procedimiento se siguió para los demás pares de mezclas, utilizando las diluciones descritas en el inciso 5.4.

Para las pruebas (A) y (B), se tomaron 8 g. de la dilución de harina con alfa-amilasa y 10 g. para las pruebas (C) y (D) como sigue:

8 g. de dilución alfa-amilasa \longrightarrow 100,000 g. de harina
 10 g. " " " " \longrightarrow " " "
 x g. " " " " \longrightarrow 250 g. " "
x = 0.02 g. de la dilución con alfa-amilasa (pruebas (A) y (B).
x = 0.025 g. " " " " (pruebas (C) y (D).

VI) ANALISIS DE RESULTADOS.

6.1) Resultados.

a) Tabla resumen de las pruebas bromatológicas.

PRUEBAS BROMATOLÓGICAS	% OBTENIDO	COMENTARIOS
<u>TRIGO</u>		
HUMEDAD INICIAL	12-->11.7*	
EXTRACCION MOLIENDA	71	De la mezcla de trigos grupos 1 y 2, se obtuvo un buen rendimiento de harina extrafina.
<u>HARINA</u>		
HUMEDAD	13.3-->12.5	Bajó % humedad debido a una ligera deshidratación del trigo durante su almacenamiento*
GLUTEN HUMEDO	37	El gluten seco equivale a 1/3 del gluten húmedo.
GLUTEN SECO	12	
COLOR	38	Muestra blanca, brillante y con reducido contenido de salvado residual.
CENIZAS	0.4	Harina extrafina, concuerda con el bajo contenido de cenizas (0.39-0.46) y con el color (2-3.5 U. Kent J.).
PROTEINA CRUDA	10.2	

b) Tablas resumen de las pruebas reológicas (alveogramas).

- (C) = Concentración en g./100 kg. de harina.
- (P) = Tenacidad.
- (G) = Expansión.
- (L) = Extensibilidad.
- (S) = Superficie.
- (W) = Fuerza general.
- (P/G) = Elasticidad.

Los siguientes datos corresponden al promedio de las pruebas alveográficas efectuadas por duplicado y para cada concentración.

COMENTARIOS

Todos los datos obtenidos en cuanto a las correlaciones de las curvas (r^2), están comprendidos entre los valores de 0.6 y 1.0; ésto indica que los datos están relacionados coherentemente entre sí.

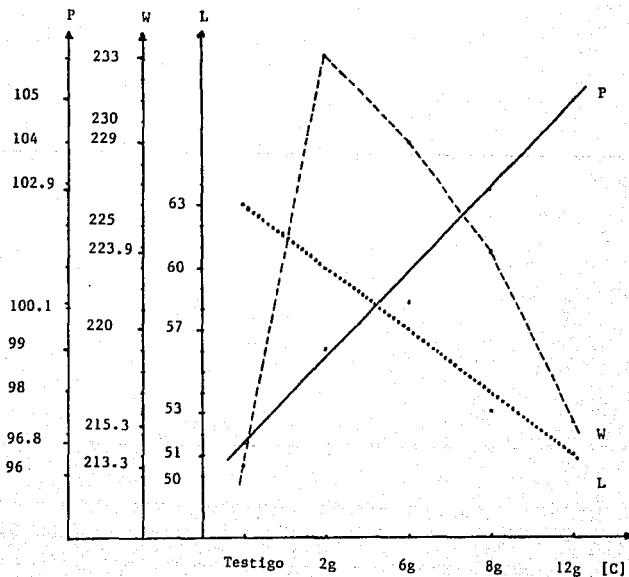
Por otra parte, las curvas observadas en función del logaritmo de las concentraciones en los casos de mezclas de aditivos, mostraron un comportamiento lineal porque la variación de r^2 es nula ó mínima.

En cuanto a las curvas de W, no se pudo determinar en la mayoría de los casos las ecuaciones por falta de datos, y por lo tanto no se puede definir el comportamiento real de la curva, (hiperbólico, parabólico, logarítmico, tangencial ó asintótico).

GRAFICA # 1

- Harina tratada con bromato de potasio.

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	96.8	17.6	63.0	32.61	213.27	5.5
2 g	99.0	17.2	60.0	35.64	233.08	5.76
6 g	100.1	16.8	57.0	35.01	229.0	5.96
8 g	102.85	16.2	53.0	34.23	223.86	6.35
12 g	105.05	15.8	51.0	32.92	215.3	6.65



INDICES DE CORRELACION
ECUACIONES DE LAS RECTAS

TABLA # 1

- Harina tratada con bromato de potasio

DATOS \ RECTAS	P	L
Constante b	97.03	62.47
Variación estándar de y	0.72	1.03
r ² , índice de correlación	0.96	0.97
Número de observaciones	5	5
Grados de libertad	3	3
Pendiente m	0.67	(1.01)
Error estándar	0.08	0.11

Ecuaciones de las **rectas:**

$$y = mx + b$$

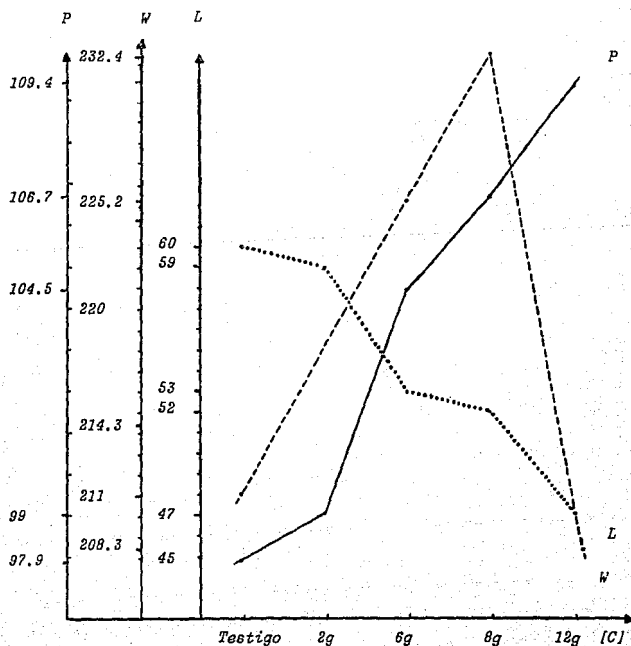
Para P resulta: $y = 0.67x + 97.03$

Para L resulta: $y = (1.01)x + 62.47$

GRAFICA # 2

- Harina tratada con ADA.

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	97.9	17.2	60.0	32.27	211.0	5.69
2 g	99.0	17.0	59.0	32.77	214.32	5.82
6 g	104.5	16.2	53.0	34.44	225.24	6.45
8 g	106.7	16.0	52.0	35.54	232.43	6.67
12 g	109.45	15.2	47.0	31.85	208.30	7.20



INDICES DE CORRELACION
ECUACIONES DE LAS RECTAS

TABLA # 2

- Harina tratada con ADA

DATOS \ RECTAS	P	L
Constante b	97.76	60.44
Variación estándar de y	0.80	0.73
r^2	0.98	0.99
Número de observaciones	5	5
Grados de libertad	3	3
Pendiente m	1.03	(1.11)
Error estándar	0.08	0.08

Ecuaciones de las rectas:

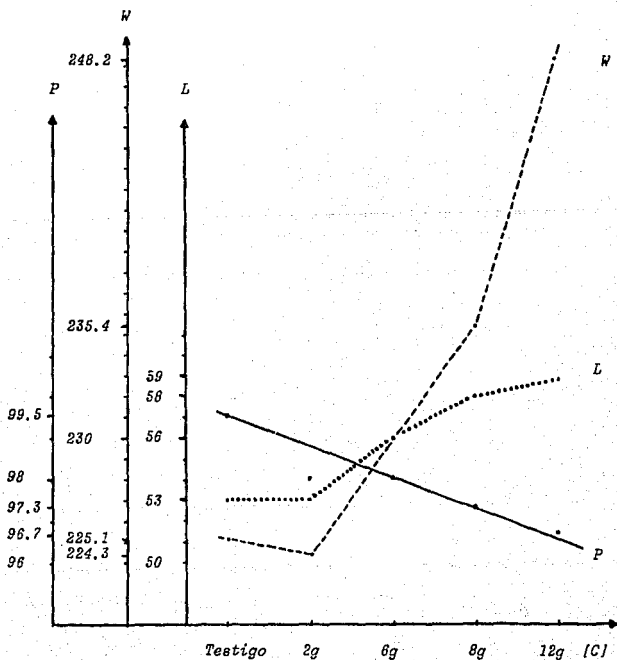
Para P resulta: $y = 1.03x + 97.76$

Para L resulta: $y = (1.11)x + 60.44$

GRÁFICA # 3

- Harina tratada con malta diastásica.

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	99.55	16.2	53.0	34.42	225.1	6.14
2 g	98.0	16.2	53.0	34.3	224.32	6.05
6 g	98.0	16.6	56.0	35.18	230.08	5.90
8 g	97.35	16.9	58.0	36.0	235.44	5.76
12 g	96.7	17.0	59.0	37.96	248.26	5.69



INDICES DE CORRELACION
EQUACIONES DE LAS RECTAS

TABLA # 3

- Harina tratada con malta diastásica

DATOS \ RECTAS	P	L
Constante b	99.06	52.63
Variación de y	0.49	0.73
r^2	0.84	0.95
Número de observaciones	5	5
Grados de libertad	3	3
Pendiente m	0.2	0.57
Error estándar	0.05	0.08

Ecuaciones de las rectas:

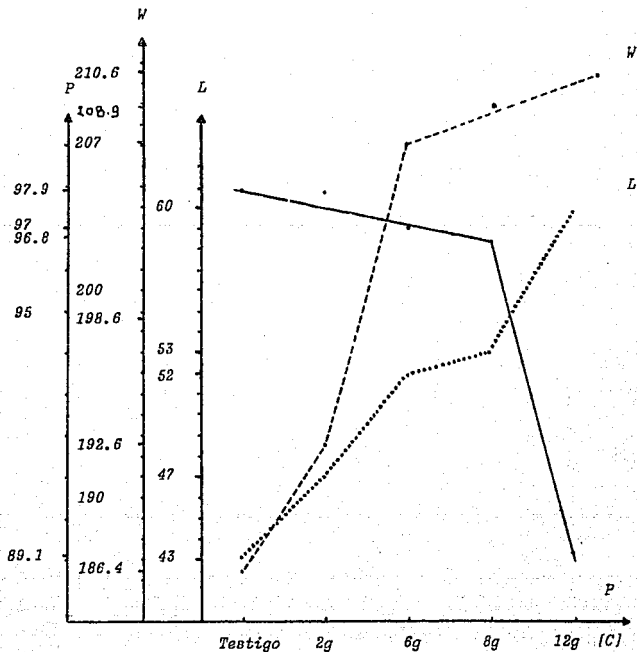
Para P resulta: $y = 0.2x + 99.06$

Para L resulta: $y = 0.57x + 52.63$

GRAFICA # 4

- Harina tratada con alfa-amilasa.

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	97.9	14.6	43.0	28.50	186.40	6.70
2 g	97.9	15.2	47.0	29.46	192.67	6.44
6 g	97.0	16.0	52.0	31.66	207.06	6.06
8 g	96.8	16.2	53.0	31.94	208.9	5.97
12 g	89.1	17.2	60.0	32.20	210.60	5.18



INDICES DE CORRELACION
ECUACIONES DE LAS CURVAS

TABLA # 4

- Harina tratada con alfa-amilasa

DATOS	CURVAS	P	L	W
Constante b		99.38	43.51	189.18
Variación estándar de y		2.42	0.97	4.42
r^2		0.69	0.98	0.88
Número de observaciones		5	5	5
Grados de libertad		3	3	3
Pendiente m		(0.65)	1.34	2.13
Error estándar		0.25	0.1	0.46

Ecuaciones de las curvas:

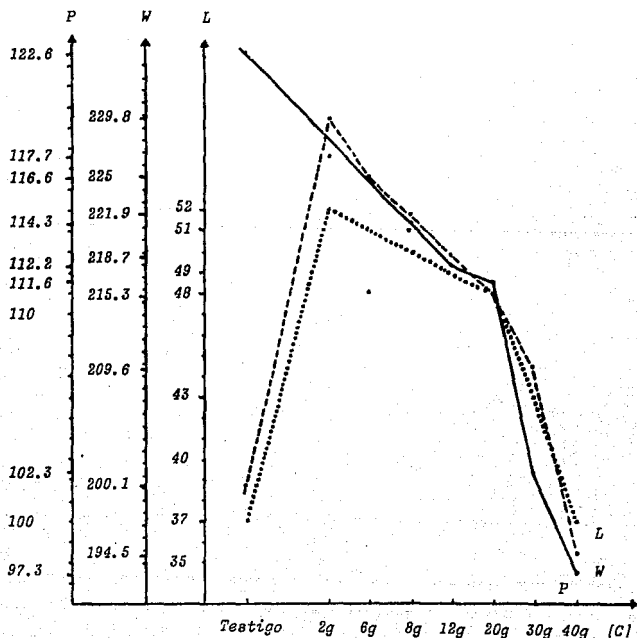
Para P resulta: $y = (0.65)x + 99.38$

Para L resulta: $y = 1.34x + 43.51$

Para W resulta: $y = 2.13x + 189.18$

- Harina tratada con proteasa. GRÁFICA # 5

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	122.65	15.0	37.0	30.6	200.12	8.18
2 g	117.7	16.0	52.0	35.15	229.88	7.36
6 g	116.6	15.4	48.0	34.4	225.0	7.57
8 g	114.3	15.8	51.0	33.93	221.9	7.23
12 g	112.2	15.5	49.0	33.45	218.76	7.24
20 g	111.65	15.4	48.0	32.92	215.3	7.25
30 g	102.3	14.6	43.0	32.05	209.6	7.00
40 g	97.35	13.50	37.0	29.75	194.56	7.21



INDICES DE CORRELACION
EQUACIONES DE LAS RECTAS

TABLA # 5

- Harina tratada con proteasa

DATOS	RECTA	P
Constante b		120.29
Variación estándar de y		1.81
r^2		0.96
Número de observaciones		8.0
Grados de libertad		6.0
Pendiente m		(0.57)
Error estándar		0.05

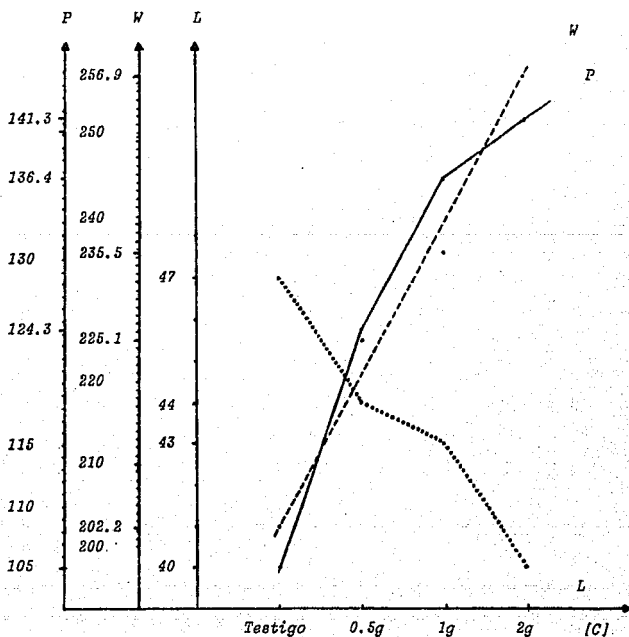
Ecuación de la recta P:

$$y = (0.57)x + 120.29$$

GRAFICA # 6

- Harina tratada con A.A.

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	105.05	15.2	47.0	30.92	202.22	6.91
0.5 g	124.3	14.75	44.0	34.42	225.11	8.43
1 g	136.4	14.5	43.0	36.02	235.57	9.41
2 g	141.35	14.0	40.0	39.28	256.9	10.1



INDICES DE CORRELACION
EQUACIONES DE LAS RECTAS

TABLA # 6

- Harina tratada con A.A.

DATOS \ RECTAS	P	L	W
Constante b	111.76	46.4	207.11
Variación estándar de y	8.34	0.7	5.47
r ²	0.82	0.96	0.96
Número de observaciones	4	4	4
Grados de libertad	2	2	2
Pendiente m	17.16	(3.31)	26.10
Error estándar	5.64	2.0	3.7

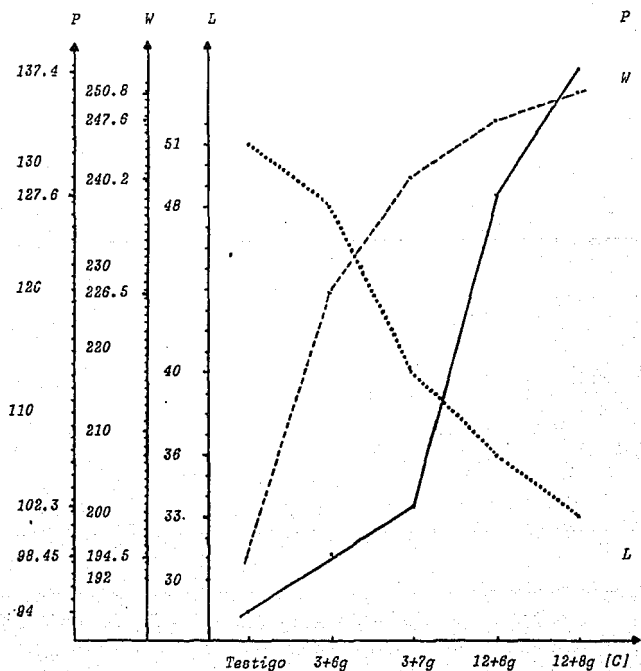
Ecuaciones de las rectas:

Para P resulta: $y = 17.16x + 111.76$

Para L resulta: $y = (3.31)x + 46.4$

Para W resulta: $y = 26.10x + 207.11$

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	94.05	15.8	51.0	29.75	194.56	5.95
3 g + 6 g	98.45	15.4	48.0	34.63	226.48	6.39
3 g + 7 g	102.3	14.0	40.0	36.73	240.21	7.31
12 g + 6 g	127.6	13.3	36.0	37.86	247.6	9.59
12 g + 8 g	137.4	12.75	33.0	38.35	250.81	10.78



INDICES DE CORRELACION
ECUACIONES DE LAS RECTAS

TABLA # 7

- Harina tratada con ADA y KBrO₃

DATOS \ RECTAS	P	L	W
Constante b	77.2	56	191.85
Variación estándar de y	6.98	1.51	10.19
r ²	0.90	0.97	0.85
Número de observaciones	5	5	5
Grados de libertad	3	3	3
Pendiente m	11.59	(4.8)	13.36
Error estándar	2.21	0.48	3.22

Ecuaciones de las rectas:

Para P resulta: $y = 11.59x + 77.2$

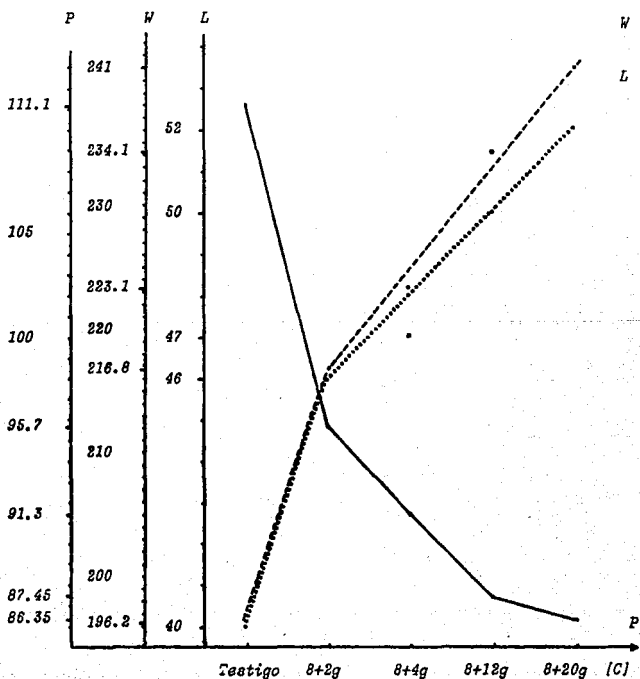
Para L resulta: $y = (4.8)x + 56$

Para W resulta: $y = 13.36x + 191.85$

GRAFICA # 8

- Harina tratada con alfa-amilasa y proteasa.

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	111.1	14.0	40.0	30.0	196.2	7.93
8 g + 2 g	95.7	15.0	46.0	33.15	216.8	6.38
8 g + 4 g	91.3	15.2	47.0	34.12	223.15	6.00
8 g + 12 g	87.45	15.7	50.0	35.8	234.13	5.57
8 g + 20 g	86.35	16.2	52.0	36.85	241.0	5.33



INDICES DE CORRELACION
EQUACIONES DE LAS RECTAS

TABLA # 8

- Harina tratada con alfa-amilasa y proteasa

DATOS \ RECTAS	P	L	W
Constante b	111.71	38.6	186.98
Variación estándar de y	4.82	1.37	5.84
r ²	0.83	0.93	0.83
Número de observaciones	5	5	5
Grados de libertad	3	3	3
Pendiente m	(5.77)	2.80	11.49
Error estándar	1.53	0.43	1.85

Ecuaciones de las rectas:

Para P resulta: $y = (5.77)x + 111.71$

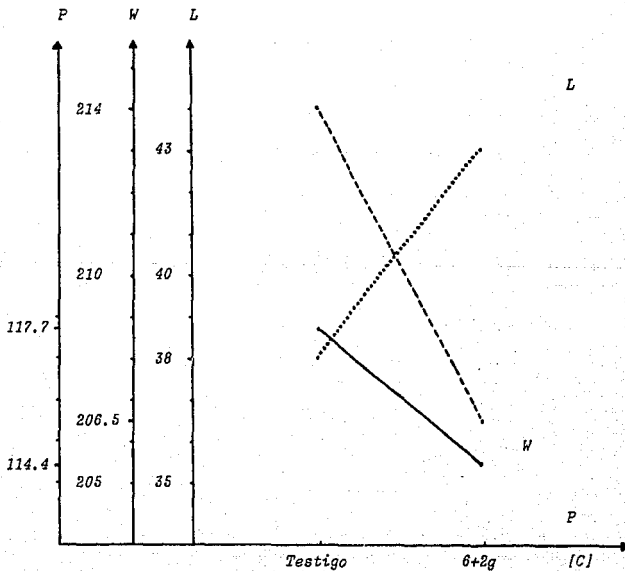
Para L resulta: $y = 2.8x + 38.6$

Para W resulta: $y = 11.49x + 186.98$

GRAFICA # 9

- Harina tratada con malta diastásica y proteasa.

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	117.7	13.7	38.0	32.72	214.0	8.59
6 g + 2 g	114.4	14.5	43.0	31.57	206.47	7.89



ECUACIONES DE LAS RECTAS

TABLA # 9

- Harina tratada con malta diastásica y proteasa

Ecuaciones lineales:

$$\text{Para P resulta: } y = (3.3)x + 121$$

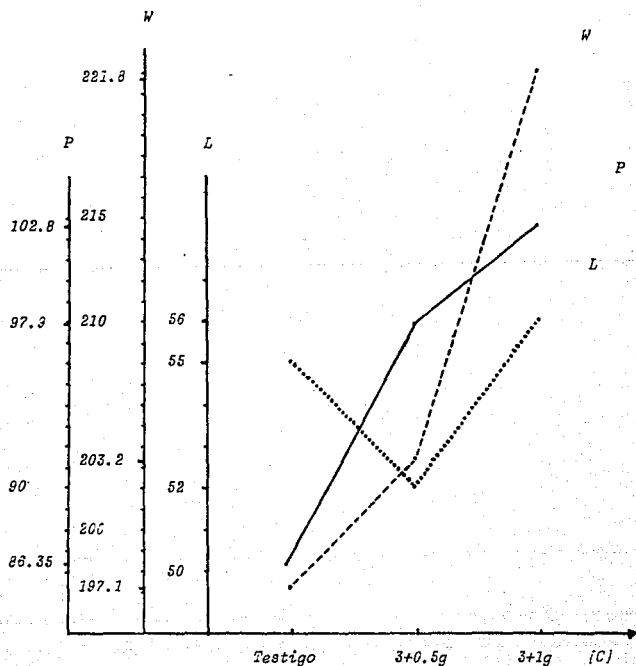
$$\text{Para L resulta: } y = 5x + 33$$

$$\text{Para W resulta: } y = (7.53)x + 221.53$$

GRAFICA # 10

- Harina tratada con ADA y A.A.

(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	86.35	16.4	55.0	30.14	197.1	5.26
3 g + 0.5 g	97.9	16.0	52.0	31.08	203.26	6.12
3 g + 1 g	102.85	15.6	56.0	33.92	221.84	6.59



INDICES DE CORRELACION
 ECUACIONES DE LAS RECTAS

TABLA # 10

- Harina tratada con ADA y A.A.

RECTAS	P	W
DATOS		
Constante b	79.20	182.66
Variación estándar de y	2.69	5.07
r^2	0.95	0.92
Número de observaciones	3	3
Grados de libertad	1	1
Pendiente m	8.25	12.37
Error estándar	1.91	3.59

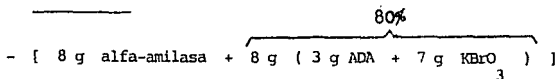
Ecuaciones lineales:

Para P resulta: $y = 8.25x + 79.2$

Para W resulta: $y = 12.37x + 182.66$

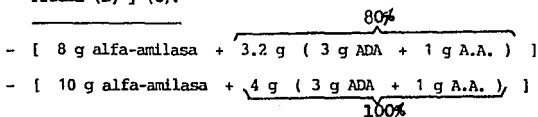
RESULTADOS DE LOS ALVEOGRAMAS PARA LAS PRUEBAS (A),(B),(C) y (D).

- Prueba (A).



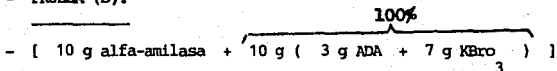
(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	97.9	14.30	42.0	27.05	176.91	6.84
Prueba (A)	100.15	15.40	48.0	28.6	187.04	6.50

- Prueba (B) y (C).

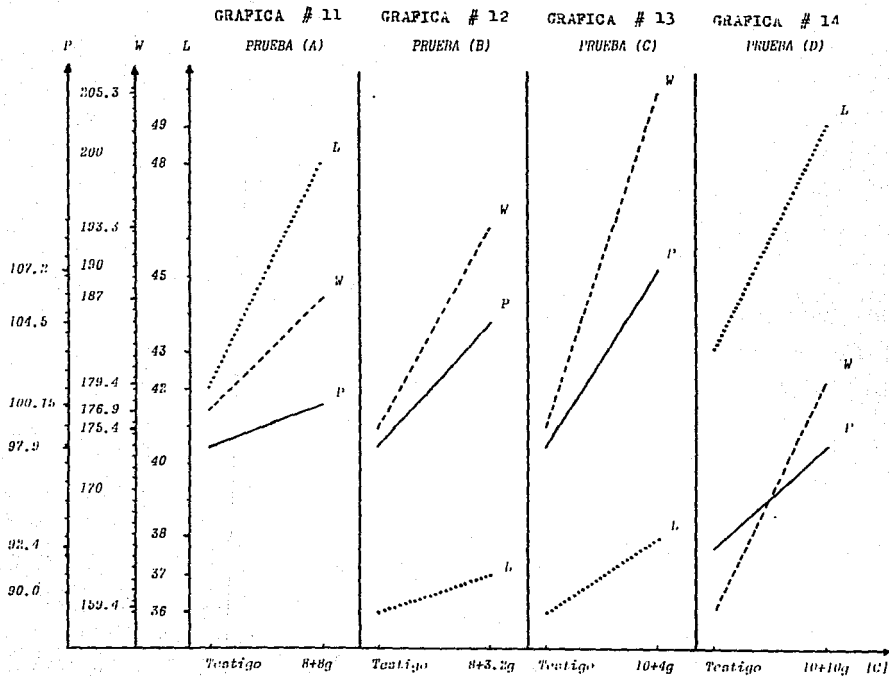


(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	97.9	13.3	36.0	26.82	175.4	7.37
Prueba (B)	104.5	13.5	37.0	29.56	193.32	7.74
Prueba (C)	107.2	13.7	38.0	31.4	205.35	7.82

- PRUEBA (D).



(C)	(P)	(G)	(L)	(S)	(W)	(P/G)
Testigo	92.4	14.6	43.0	24.38	159.44	6.33
Prueba (D)	97.9	15.6	49.0	27.44	179.46	6.27



ECUACIONES DE LAS RECTAS PARA LAS PRUEBAS (A),(B),(C) Y (D).

- Prueba A

$$\text{Ecuación para P: } y = 2.25x + 95.65$$

$$\text{Ecuación para L: } y = 6x + 36.$$

$$\text{Ecuación para W: } y = 10.13x + 166.78$$

- Prueba B

$$\text{Ecuación para P: } y = 6.6x + 91.3$$

$$\text{Ecuación para L: } y = x + 35.$$

$$\text{Ecuación para W: } y = 17.92x + 157.48$$

- Prueba C

$$\text{Ecuación para P: } y = 9.3x + 88.6$$

$$\text{Ecuación para L: } y = 2x + 34.$$

$$\text{Ecuación para W: } y = 29.95x + 145.45$$

- Prueba D

$$\text{Ecuación para P: } y = 5.5x + 86.9$$

$$\text{Ecuación para L: } y = 6x + 37.$$

$$\text{Ecuación para W: } y = 20.02x + 139.42$$

6.2) Selección de las mezclas óptimas en base al alveograma y pruebas confirmativas.

-- Bromato de potasio.

Como podemos observar en la tabla y en la gráfica correspondientes, las diferentes variables alveográficas varían de una forma afín a los resultados producidos por un oxidante. (Tabla y gráfica # 1).

La tenacidad aumenta ligeramente en función de la concentración, y la extensibilidad varía en forma opuesta. Esto se traduce directamente en el ascenso de P/G al ir aumentando la concentración de bromato en la harina.

La fuerza aumenta hasta un límite (en este caso 2-4g/100 kg de harina), para posteriormente decrecer debido a que la curva se torna cada vez más tenaz y menos extensible, lo cual se observa en los valores de P/G.

- ADA.

Siendo la ADA un oxidante muy rápido, la tenacidad aumenta en función de la concentración, sin embargo es más representativo este aumento que en el caso del bromato, como se ve en la tabla y en la gráfica # 2.

Del mismo modo, es ligeramente más notorio el decremento de la extensibilidad empleando ADA en vez de bromato, así como P/G refleja mayor tenacidad.

En cuanto a la fuerza general, aumenta hasta una concentración de 8 g, en función de que la tenacidad aumenta y G disminuye, o en otras palabras la superficie de la curva se estrecha.

Finalmente, las conclusiones son similares al bromato y concuerdan con los datos vistos en la literatura referente a los oxidantes, la ADA generando una tenacidad más pronunciada que el bromato de potasio.

- Malta diastásica.

La malta diastásica contiene en su formulación bajas concentraciones de alfa-amilasa (40-80 SKBU/g) y proteasas termoresistentes. Las concentraciones utilizadas en los ensayos alveográficos fueron bastante reducidas, de ahí que los cambios observados fueron poco significativos, como lo demuestran la tabla y la gráfica # 3.

La fuerza general aumenta ligeramente en función de las leves variaciones en P y G, hecho que se proyecta directamente en una relación P/G prácticamente constante.

Alfa-amilasa.

La alfa-amilasa empleada es estandarizada a una actividad de 5,000 SKBU/g. Tiene muy poca actividad proteolítica y puede incrementar y balancear el valor de alfa-amilasa de la harina sin afectar adversamente la calidad del gluten (lo que suele ocurrir con la malta diastásica).

Los efectos esperados son más notorios en las variaciones de P y G, esta última siendo más pronunciada que en el caso de la malta diastásica, como se observa en la tabla y en la gráfica # 4.

La tenacidad se conserva constante a bajas concentraciones, pero va disminuyendo al incrementar la dosis de alfa-amilasa. Por otro lado, la extensibilidad aumenta desde un principio, lo cual nos confirma el efecto característico de este tipo de enzima, y consecuentemente la fuerza general también aumenta. Finalmente, como es de esperarse por las variaciones anteriores, la relación P/G disminuye en valor.

Proteasa.

Partimos de un testigo con una relación P/G elevada (8.18); conforme se va incrementando la concentración de proteasa de origen fungal, la tenacidad disminuye al mismo tiempo que la extensibilidad aumenta, pero ambas en forma moderada. (Ver tabla y gráfica # 5).

Sin embargo, al ir aumentando la concentración a dosis más fuertes de 20, 30 y 40 g, sobresalta el efecto teórico descrito en el capítulo III 3), es decir aumenta la extensibilidad y disminuye la viscosidad de la masa. La intensidad de este cambio en las características plásticas de la masa dependen de la concentración y del tipo de enzima, siendo las bacterianas las más potentes.

De este modo disminuyen P y G en una forma proporcional, produciendo una curva similar a la del testigo, pero más pequeña, lo que se comprueba por la poca variación de P/G (de 7.36 g a 7.21).

Asimismo, volvemos a constatar el efecto de una proteasa ya que la fuerza decrece significativamente a altas concentraciones (40 g).

Cabe hacer notar un fenómeno interesante: al principio W aumenta debido al incremento en extensibilidad derivado de la ruptura de enlaces tipo puente de hidrógeno entre las cadenas proteicas. Finalmente, al disminuir tanto la extensibilidad como la tenacidad, es de esperarse que la fuerza en la masa sea más débil ($W = 194.56$).

Acido ascórbico.

La formación de enlaces disulfuro adicionales entre las cadenas protéicas en la malla del gluten, es una explicación para la rigidez de la masa inducida por los agentes oxidantes. Los efectos son patentes en el aumento de la tenacidad y de la fuerza, lo que se refleja en una curva más tenaz (relación P/G que varía de 6.91 a 10.1) en dosis altas hasta 2 g/100 kg de harina. Paralelamente, la extensibilidad también decrece fuertemente en virtud de que se emplearon dosis de A.A elevadas.

Sin embargo, el uso de A.A presenta la ventaja frente a otros oxidantes (bromato de potasio, por ejemplo), de que una sobredosificación no llega a afectar las calidades panaderas de la masa y la del gluten. La dosis normal es de 60 ppm, siendo la máxima de 200 ppm. (en comparación con el bromato = 50 ppm). (Ver tabla y gráfica # 6).

ADA y KERO .

3

La combinación de ADA y bromato resulta en una acción sinérgica de dos oxidantes: el primero de acción rápida y el segundo de acción intermedia. Se realizaron varios ensayos entre los cuales notamos dos con mayor cantidad de bromato y los segundos con mayor cantidad de ADA.

El sinérgismo de estos 2 oxidantes es relevante en virtud de los incrementos muy fuertes observados en P, W y P/G y una consiguiente y considerable disminución de G.

Notamos que al aumentar fuertemente la concentración de ADA (de 3 a 12 g), este oxidante predomina en su efecto oxidante, alcanzando valores altos en W, P y P/G, como lo muestran la tabla y la gráfica # 7.

Alfa-amilasa y proteasa.

Al utilizar una combinación amilolítica y proteolítica, observamos que manteniendo constante una concentración de alfa amilasa (8 g) e ir incrementando la proteasa, existe un efecto palpable en la disminución de P y en el aumento de G y W, según la tabla y la gráfica # 8.

Esta combinación podría también ser utilizada en forma sinérgica para elevar la efectividad de la alfa-amilasa, pudiendo causar problemas si la dosis de proteasa es excesiva (más allá de 20 g/100 kg), acarreado un serio debilitamiento en la fuerza general y consiguientes problemas en panificación.

Malta diastásica y proteasa.

Debido a pequeñas dosificaciones, no se observó alguna tendencia significativa en este ensayo, aunque las tendencias en todas las variables parecen seguir un comportamiento similar al que se analizó con alfa-amilasa y proteasa, como se reportó en la tabla y gráfica # 9.

ADA y A.A.

Ambos oxidantes tienen efectos rápidos, siendo el de ADA mayor. Manteniendo una concentración moderada de ADA y aumentando la de A.A., se elevan tanto la tenacidad como la fuerza. (Tabla y gráfica # 10).

La mejor concentración de oxidantes está en función del producto final para el cual la harina tratada está destinada, ya sea pan o pastas, y también del proceso de panificación o de mezclado empleado.

Esta combinación de oxidantes rápidos es adecuada en procesos de panificación en donde el trabajo de amasijo es fuerte y prolongado (pan francés). Observamos aumentos importantes en tenacidad y fuerza general.

Pruebas (A), (B), (C) y (D).

Se realizaron diferentes mezclas de materias primas para tratar de compensar de la manera más adecuada a una harina. En base a los primeros ensayos efectuados en la parte experimental de esta tesis, se efectuaron las siguientes combinaciones:

Con una combinación de alfa-amilasa (8 g) y 8 g de una mezcla 30% ADA y 70% bromato, se comprobó que el testigo de partida fue modificado en tenacidad, extensibilidad y fuerza, sufriendo incrementos del 2.3%, 7.7% y 5.7% respectivamente, como se ilustra en la gráfica # 11 de la prueba (A).

Todas las variables incrementaron positivamente, por lo que esta combinación puede favorecer la manufactura del pan, lográndose una curva más balanceada.

Del mismo modo, aumentando la concentración a 10 g de alfa-amilasa y 10 g de la misma combinación 30% ADA y 70% bromato (prueba D), los incrementos en P, G y W alcanzaron un 6.0%, 6.8% y 12.5% respectivamente. El incremento en dosificación favoreció el aumento en las variables alveo gráficas y se refleja en panificación con mayor claridad como lo veremos posteriormente. (Reportarse a la gráfica # 14).

Por otro lado, al cambiar la dosis y la combinación de oxidantes, ADA y A.A. (prueba B), resultan mejores incrementos P = 6.7%, G = 1.5% y W = 10.2% comparados contra el testigo. (Gráfica # 12).

El caso se repite para la prueba (C), en donde nuevamente los incrementos en P, G y W son más significativos que en la prueba D: P = 9.5%, G = 3% y W = 17.1%. (Gráfica # 13).

A pesar de la mayor cantidad de oxidantes de la prueba D (10 g) contra C (4 g) el efecto sobre esta última es más significativo debido a que el ácido ascórbico, como lo vimos individualmente en la tabla A.A, domina con una acción oxidante importante.

Esto indica que a diferentes concentraciones de alfa-amilasa y oxidantes, se pueden mejorar las curvas y posiblemente la panificación. Esto no equivale forzosamente a deducir que a mayor concentración de estos productos podremos mejorar la curva alveográfica y la panificación. Estos últimos tienen una determinada curva de acción como lo hemos podido observar durante estos experimentos, que se aplica a distintos tipos de harina con diferentes resultados y siguiendo un patrón de comportamiento o acción específicos.

Para realizar una combinación ideal y compensar de la mejor forma una harina, es necesario efectuar diferentes pruebas en función de la harina de partida y de la finalidad que se le quiera dar, es decir a que industria está enfocada (pan, pastas o galletas).

Hemos observado a través de todos estos ensayos, que una combinación de oxidantes es mucho más efectiva que partiendo de uno solo, y que la combinación de alfa-amilasa con oxidantes resulta una buena mezcla para compensar las deficiencias de un trigo y así producir una harina más apta para la panificación.

En el caso de la industria de pastas, en donde se requiere de una harina particularmente tenaz, únicamente se utilizarán oxidantes, la ADA jugando un papel importante debido a su alta capacidad de producir curvas tenaces.

Si por el contrario, se quiere enfocar la harina a la industria galletera, una combinación a base de enzimas proteolíticas sería la más adecuada en virtud de que es necesaria una harina poco tenaz y extensible.

6.3) Pruebas físicas valorativas de panificación con A.A. y mezclas de aditivos.

a) Prueba de panificación con A.A.

La técnica seguida fue descrita en el capítulo V 6).

Se efectuaron 4 pruebas de panificación por duplicado, agregando como parte del agua de amasado 1 ml., 2 ml. y 3 ml. de una solución (100 mg. de A.A. en 100 ml. de agua), por cada 100 g. de harina equivalentes a 10, 20 y 30 ppm respectivamente.

Los siguientes datos corresponden al promedio de las pruebas de panificación, efectuadas por duplicado y para cada concentración:

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE PANIFICACION CON A.A.

TABLA # 11

CONCENTRACION	VOLUMEN cm ³	PESO g	DENSIDAD	CORTEZA	COLOR	MIGA
Testigo	460	123	0.267	Lisa	Oscuro	Compacta con hoyos muy chicos.
1 ML.	480	119	0.248	Lisa	Agradable color dorado	Irregular, con hoyos chicos y grandes.
2 ML.	485	119	0.245	Lisa e uniforme	"	Aereada, con hoyos uniformes.
3 ML.	540	120	0.222	Lisa e uniforme con ligeros hoyos presentes.	"	Aereada, con hoyos uniformes ligeramente más grandes que en la prueba anterior (2 ml).

b) Prueba de panificación con mezclas de aditivos.

El ensayo de panificación se realizó únicamente con las pruebas (A), (B), (C) y (D). Para ello se siguió la metodología del inciso 6,c), y los siguientes datos también corresponden al promedio de las pruebas efectuadas por duplicado y para cada combinación de aditivos.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE PANIFICACION
CON MEZCLAS DE ADITIVOS

TABLA # 12

CONCENTRACION	VOLUMEN cm ³	PESO g	DENSIDAD	CORTEZA	COLOR	MIGA
Testigo	470	147	0.313	Lisa	Un poco oscuro	Muy irregular con hoyos grandes
PRUEBA (A)	540	145	0.269	Uniforme	Aceptable	Ligeramente irregular
PRUEBA (B)	520	138	0.2653	Bastante uniforme	Agradable color dorado	Uniforme
PRUEBA (C)	570	149	0.261	Uniforme y lisa	"	Muy buen aspecto
PRUEBA (D)	575	150	0.261	Uniforme y lisa	"	"

Conclusiones de la prueba de panificación con A.A.

A pesar de que las concentraciones empleadas de A.A. fueron bajas (10, 20 y 30 ppm) comparadas con la dosis máxima de 200 ppm, las variaciones observadas en panificación fueron notorias y los aumentos en volumen palpables.

Sin embargo, no hay duda alguna de que la concentración que mejores resultados proporcionó, es la de 3 ml de solución de A.A. Esto se refleja sobre todo en la densidad promedio de las pruebas de panificación obtenidas, que fué la más baja: 0.222, implicando mayor volumen. Esta concentración, además de brindar un pan de excelente textura aérea e uniforme, también logra una corteza bastante lisa debido a una buena estabilidad de la red protéica.

Al incrementar la cantidad de oxidante se refuerza la red protéica y el volumen del pan se incrementa como lo observamos en la tabla A.A. Por otro lado, al exceder la cantidad de A.A. o de algún otro oxidante, se puede presentar una oxidación excesiva que va en detrimento de la panificación (no se realizaron las pruebas correspondientes).

Pero es necesario hacer estudios en función de la harina: si esta última tiene una tenacidad alta, se requiere menor concentración de A.A. e inversamente.

Conclusiones de las pruebas de panificación con mezclas de aditivos.

Al ensayar con diversos aditivos para harinas en forma independiente y posteriormente con combinaciones de alfa-amilasa y mezcla 30% ADA y 70% bromato de potasio (prueba A y D) y alfa-amilasa y mezcla de 30% ADA y 10% A.A. (pruebas B y C), se observó la clara mejoría de los resultados alveográficos.

Los ensayos de panificación empleando las combinaciones de aditivos A, B, C y D revelaron su eficacia como mejoradores de harinas para panificación, algunas más adecuadas que otras en función de la harina testigo.

Este es el caso para las pruebas C y D, donde se demuestra que una mezcla equilibrada de aditivos enzimas-oxidantes, produce mejores resultados en panificación que la utilización de los compuestos independientes.

Del mismo modo, aunque las pruebas A y B no hayan aportado resultados tan favorables como en el caso de las dos últimas pruebas para nuestra harina grupo 2, esto no equivale a que no sean adecuadas esas combinaciones de aditivos, todo va en función del tipo de harina tratada. Probablemente den magníficos resultados añadidas a harinas provenientes de trigos de otros grupos. Los incrementos respectivos de volumen en estas dos pruebas fueron del 15% y 10.6% respectivamente.

De acuerdo con las respectivas gráficas de las variables alveográficas, se habían observado incrementos en P, G y W para la prueba C bastante más significativos que para la prueba D y sobre todo A y B. Esto se traduce directamente en las distintas características de los panes obtenidos, siendo las mejores en las pruebas C y D, en donde los incrementos de volumen con respecto al testigo fueron del 21.3% y 22.3% respectivamente. (Reportarse a las gráficas # 11,12,13 y 14).

A pesar de que no se reflejan aumentos considerables en las variables alveográficas, si existen resultados importantes en la fabricación de pan. Esto puede ser debido a que, nuestra harina testigo es ligeramente tenaz $P/G = 6.33$ a 7.37 .

VIII.) CONCLUSIONES

El uso de los aditivos alimentarios es fundamental para la industria de la panificación, ya que su empleo le permite compensar las deficiencias del trigo y obtener productos con mayores cualidades sensoriales, mejor textura, mayor volumen y vida de anaquel, lo cual facilita su distribución y comercialización.

Los oxidantes aumentan generalmente la fuerza panadera y la tenacidad. Así, nuestro estudio reveló aumentos en tenacidad del -- 0.85%, utilizando bromato de potasio; 12% con ADA; 19% con una mezcla de ADA más A.A.; en cuanto al ácido ascórbico, actuó de forma positiva aumentando la fuerza en un 27%.

Efectivamente comprobamos nuestros dos primeros objetivos a través de los ensayos realizados en la parte experimental de esta tesis, que una combinación de oxidantes es mucho más efectiva -- que partiendo de uno solo, y que la combinación de alfa-amilasa con oxidantes resultó ser adecuada para producir harinas más aptas para la industria panadera.

Se observó que la combinación de ADA y bromato tiene una acción sinérgica de dos oxidantes con velocidades distintas, ya que se incrementan visiblemente W, P/G y P (éste en un 46%).

La combinación amilolítica y proteolítica disminuye drásticamente la tenacidad (en un 22%), pero los resultados se ven reflejados en una fuerte elevación de W (23%).

Cuando combinamos dos oxidantes como ADA y A.A. de efectos rápidos, los aumentos en tenacidad y fuerza general son también notorios: 19% y 12% respectivamente.

En cuanto a los ensayos alveográficos como de panificación empleando combinaciones de aditivos (pruebas A, B, C y D), demostraron su notoria eficacia como mejoradores de harinas para panificación. En las cuatro pruebas, todas las variables incrementaron positivamente; la combinación de alfa-amilasa 70% bromato y 30% ADA (prueba A), modifica la tenacidad, extensibilidad y fuerza en 2.3%, 14.3% y 5.7% respectivamente.

En cambio, en la prueba D, los resultados fueron mayores: 6%, 14% y 12%.

Del mismo modo, al cambiar la dosis y combinación de ADA y A.A., la prueba C demostró tener los incrementos más significativos: 9.5%, 5.5% y 17%, en comparación con la prueba B: 6.7%, 2.7% y 10.2%.

Se comprueba de este modo nuestro tercer objetivo de la tesis, sabiendo que a diferentes concentraciones de alfa-amilasa y oxidantes, se mejoran notoriamente los resultados en panificación, aumentando hasta un 22% el volumen del pan. Es claro que el aumento indiscriminado de las concentraciones de estos productos, por tener determinadas curvas de acción y comportamientos específicos, de ninguna manera mejorará las curvas alveográficas y la panificación.

Hoy en día harinas fuertes se pueden debilitar y harinas débiles se pueden reforzar mediante el uso de aditivos químicos, generalmente se puede decir que no hay en el mercado harina sin algún aditivo químico: agentes diastáticos que actúan sobre los carbohidratos, agentes proteolíticos que actúan sobre las proteínas principalmente y agentes oxidantes y maduradores que actúan sobre las proteínas y pigmentos de la harina.

VIII.) BIBLIOGRAFIA.

- 1.- A.A.C.C. Association of Analytical Cereal Chemists, Oficial Methods of processing and Analysis, 10th Edition. 1979.
- 2.- A.A.C.C. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, Published by the American Association of Cereal Chemists. Vol. I,II, Minnesota. 1962.
- 3.- Alexander, Thom. La historia de los aditivos, Industria Alimentaria. Vol. I, No. 8-9, Nov. - Dic. 1975.
- 4.- Alexander, Thom. La historia de los aditivos, Industria Alimentaria, Vol. II, No. 1, Enero-Febrero. 1980.
- 5.- Andres, Cal. Expanded Line of Enzymes for Bread Baking, Food Processing. Vol. 25, No. 5, Nov. 1983.
- 6.- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists, Oficial Methods of Analysis. 11th Ed. 1970.
- 7.- Arana E., Ramon. Diferentes aditivos alimentarios, Tecnología de Alimentos, Edición extraordinaria. 1975.
- 8.- Arana E., Ramon. Conservación de alimentos mediante aditivos químicos, Industria Alimentaria, Vol. II, No. 6, Nov.-Dic. 1980.
- 9.- Badui D., Salvador. Química de los alimentos, la Ed. Editorial Alhambra Mexicana, México. 1981.
- 10.- Barret F., F. Enzymes in Food Process, 2ond. Ed. Academic Press, New York. 1975.
- 11.- Barry D., V. y Tenny R., S. Acondicionadores de masa, Bakers Digest, Vol. 57, No. 6, Nov. - Dic. 1983.
- 12.- Bauermeister, H. Technologie du broyage, Hernan Maschinenfabrik GmbH, Vol. I, Hamburg. 1972.
- 13.- Becker D., K.A y Martínez M., L.E. Usos de la harina de garbanzo en panificación, México. 1980. (Tesis).
- 14.- Bilbao U., I. y Torres B., M.R. Usos de la alfalfa en productos de panificación, México. 1981. (Tesis).
- 15.- Buré, Jean. La pâte de farine de froment, Collection réalisée par Promo - Ensia, Ed. Seraic, Paris. 1980.
- 16.- Calva M., M. y Vilchis L., V. Valor nutritivo de cereales y de algunos de sus productos procesados, México. 1987. (Tesis).

- 17.- Calvel, R. La Boulangerie Moderne, Ed. Eyrolles, Paris. 1980.
- 18.- Carvajal Gil, M.J. La harina de trigo en México; su calidad, reproducción del No. 256 de la revista Pan, México. 1975.
- 19.- Carvajal Gil, M.J. Calidad de la harina de trigo, reproducción de la revista Pan No. 260, México. 1975.
- 20.- Carvajal Gil, M.J. Las variedades más recientes de trigo en México, revista Pan No. 21, México. Mayo 1982
- 21.- Carvajal Gil, M.J. Determinación de la humedad del trigo y sus productos, revista Pan No. 362, México. Diciembre 1983.
- 22.- Carvajal Gil, M.J. Almacenamiento del trigo y otros granos, revista Pan No. 350, México. Diciembre 1982.
- 23.- Carvajal Gil, M.J. El alveógrafo, revista Pan No. 365, México. Diciembre 1981.
- 24.- Carvajal Gil, M.J. Enzimas (Amilasas y Proteasas) en molinería, panadería y galletería, revista Pan No. 20, México. 1973.
- 25.- Carvajal Gil, M.J. Los aditivos (Maduradores y Blanqueadores) en la harina de trigo, revista Pan No. 352, México. 1982.
- 26.- Carvajal Gil, M.J. El germen de trigo I. Su aspecto nutritivo, revista Pan No. 19, México. 1968.
- 27.- Carvajal Gil, M.J. El germen de trigo II. Su efecto en la calidad panadera de las harinas, revista Pan No. 19, México. 1968.
- 28.- D'Appolonia B.L. y Morad M.M. Bread Staling, Cereal Chemistry, Vol. 58, No. 3. 1981.
- 29.- Dimpleby Printers Limited. The Practice of flour Milling, National Association of British and Irish Millers Limited, Vol. I y II, London. 1979.
- 30.- Dondero C., Marta y Cifuentes de la T.,A. Uso de Agentes Oxidantes en Harinas para Panificación, revista Pan, México. Agosto 1984.
- 31.- Feuillet P. L'Acide Ascorbique, Agent Améliorant des Farines, Laboratoire d'Etudes des Blés, I.N.R.A., Francia. 1970.
- 32.- Fishken David. Consumer-Oriented Product Optimization, Food Technology, Vol. 34, No. 3. Noviembre 1983.
- 33.- Garduffo, Alejandro. Guía para la selección de agentes conservadores de los alimentos, Industria Alimentaria, Vol. I, No. 4-5. Julio-Agosto 1979.

- 34.- Garnica Lara, A. Química de algunos aditivos sintéticos usados en la industria alimentaria, México. 1979. (Tesis).
- 35.- Guinet, R. Technologies de panification, Meunerie Française, Francia. Septiembre-Octubre 1978.
- 36.- Hoagland M.L. Food Chemistry, 4a Ed. Avi, Connecticut. 1982.
- 37.- Hosney, R. Carl. Principles of Cereal, Science and Technology. A General Reference on Cereal Foods, American Association of Cereal Chemists, Minnesota. 1986.
- 38.- Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, S.A.R.H. Varietades del trigo en base a la cantidad del gluten, Vol.5, No. 10-11. Julio - Agosto 1979.
- 39.- Junco Rey M.E. Triticale: revisión bibliográfica y elaboración de pan, México. 1986. (Tesis).
- 40.- Kent-Jones and Amos. Modern Cereal Chemistry, 4th Ed., Food Trade Press Limited, London. 1967.
- 41.- Kent N.L. Tecnología de cereales, Ed. Acribia, España. 1971.
- 42.- LaBaw D., Glenn. Chemical Leavening Agents and their use in Bakery, Bakers Digests, Vol 12. Febrero 1982.
- 43.- Mac Ritchie, F. Flour lipids: Theoretical aspects and functional properties, Cereal Chemistry, Vol. 58, No. 3. 1982.
- 44.- Mac Ritchie, F. The role of lipids in baking, Cereal Chemistry, Vol. 50, No. 3. 1973.
- 45.- Magoffin C.D. y Hosney R.C. A Review of Fermentation, Bakers Digests, Vol. 8. Diciembre 1974.
- 46.- Maisel Q., Albert. El Reader's Digest informa al público norteamericano sobre los aditivos para alimentos, Tecnología de Alimentos Vol. 7, No. 2. Enero-Febrero 1972.
- 47.- Maldonado Tapia, A. Deterioro del pan. Propiedades fisicoquímicas, México. 1987. (Tesis).
- 48.- Maleki, M., Hosney, R.C. y Mattern, P.J. Effects of Loaf Volume Moisture content and protein Quality on the Softness and Staling of bread, Cereal Chemistry, Vol. 57, No.2. 1980.
- 49.- Manners, D.J. Some aspects of the structure of starch, Cereal Foods World, Vol. 30, No. 7. Julio 1985.

- 50.- Manssour, K.H. Quality Control in Soft Wheat Flour, Cereal Foods World, Vol. 27, No. 7. Julio 1982.
- 51.- Mathason J., Erwin. Method for Testing Baking Strength of Flour, Nutrition Research, American Institute of Baking, Baltimore. Agosto 1979.
- 52.- Matz, Samuel A. Bakery Technology and Engineering, Ed. Avi, Connecticut. 1972.
- 53.- Matz, Samuel A. Cereal Technology, Ed. Avi, Connecticut. 1970.
- 54.- Monroy L., J.A. La industria panificadora en México y algunos de sus problemas, México. 1976. (Tesis).
- 55.- Nabisco Famosa, S.A. Prueba de pan (Método Straight Dough), Depto. de aseguramiento de calidad, en Area Métodos de Análisis. N/GAM/10. Octubre 1984.
- 56.- National Joint and Industrial Council for the Flour Milling Industry. The Practice of Flour Milling, Northern Publishing, London. 1966.
- 57.- Novelo Guillermo. Aplicación y uso de agentes leudantes en alimentos, Ito. Seminario de Tecnología. Gamesa-División Manufactura, Monterrey, N.L. y México, D.F. Agosto 1986.
- 58.- O'Keefe, J. Importancia y reto de los aditivos alimentarios en la presente década, Food in Canada, Vol. 40, No. 10. Nov.-1980.
- 59.- Oramas, Ada. Un horizonte que crece y se ensancha, Industria Alimentaria, Vol. II, No. 11. Abril-Junio 1980.
- 60.- Oser, B. Lista y usos de aditivos "GRAS". Food Technology, Vol. 33, No. 7. Julio 1979.
- 61.- Pomerantz, Y. Cereals. A Renewable Resource, American Association of Cereal Chemists, Minnesota. 1981.
- 62.- Pomerantz, Y. Wheat, Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists, Minnesota. 1966.
- 63.- Pomerantz, Y. Actualidades y perspectivas en la industria de la panificación, Bakers Digest, Vol. 54, No.2. Abril 1980.
- 64.- Potter, Norman. La ciencia de los alimentos, la Ed. Editorial Edutex, S.A., México. 1973.
- 65.- Pyler, E.S. Función de la proteína de trigo en panificación, Bakers Digest, Vol. 13. Mayo-Junio 1983.

- 66.- Reed, R. Enzyme in Food Processing, 2a Ed., Academic Press, London. 1975.
- 67.- Rendon R., L.M. Cuartos de fermentación, Departamento de Información de la Dirección de Tecnología, Gamesa. Mayo 1986.
- 68.- Roche. Uso de activadores químicos en masas panificables, Servicio de Información del Departamento de Vitaminas y Productos Químicos, México D.F. Abril 1979.
- 69.- Schafer, W. Les modifications des propriétés des farines, Meunerie Française, Saint Maur. 1965.
- 70.- Schemmer G., Walter. Quality assurance in today's bakery, Bakers Digest, Vol. 11. Diciembre 1980.
- 71.- Schiller, W. Bakery Flour Specifications, Bakers Digest, Vol 14. Julio 1984.
- 72.- Servicio Técnico Van Den Bergh. La levadura, Heladería y Confeitería Latinoamericana, Vol. 7, No. 44. Nov-Dic. 1980.
- 73.- Solís Chavez, M.A. Principales aditivos empleados por la industria alimentaria, México D.F. 1980. (Tesis).
- 74.- Stand, E. y Ziegler, E. Flour Chemistry, Ed. Buhler Brothers L.T.D., Uzwil, Swiss. 1973.
- 75.- Stephens, Denis G. Canadian International Grains Institute, Winnipeg, Canada. 1982.
- 76.- Tsen C., Cho. Chemical Dough Development, Bakers Digest, Vol. 7. Octubre 1973.
- 77.- Vitti, P. y Pizzinatto, A. Uso de peróxido de calcio un pão, Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Vol.19, No.1 Enero-Marzo 1982.
- 78.- Wagnon, J.L. La Biochimie du Pain, Examen Général du Conservatoire National des Arts et Métiers, Centre Associé de Lille. Mayo 1982.
- 79.- Wegener, R.H. La Industria de Cereales en el Año 2000, Cereals Foods World, Vol. 29, No. 4. Abril 1984.
- 80.- Zielsdorf L., Robert. High Speed Dough Mixing, Bakers Digest, Vol. 9. Octubre 1977.
- 81.- Zimmerman, O.J. Association of Operative Millers, Technical Bulletins, Ed. Sosland Press, Kansas-City. 1973.