



125
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**ALTERNATIVAS AL BROMATO DE POTASIO COMO OXIDANTE EN
PRODUCTOS DE PANIFICACION. SUBSTITUCION EN PAN BLANCO.**

TESIS MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

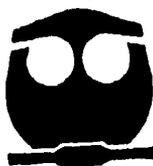
INGENIERO QUIMICO

PRESENTAN:

JOSE FRANCISCO SANCHEZ ARELLANES

Y

FEDERICO ALFONSO TORO BALA



MEXICO, D. F.

1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

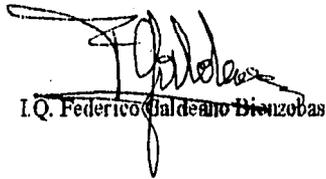
JURADO ASIGNADO

Presidente: Profesor Federico Galdeano Bienzobas
Vocal: Profesor Adolfo Galnares Campos
Secretario: Profesor Francisco Javier Casillas Gomez
1er. suplente: Profesor Felipe de Jesús Rodríguez Palacios
2do. suplente: Profesor Arnaldo Jimmy Casipa Morales

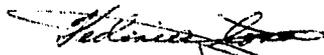
Sitio donde se desarrolló el tema:

DIRECCIÓN CORPORATIVA IMPULSORA S.C. GRUPO INDUSTRIAL BIMBO.

Asesor del tema:


I.Q. Federico Galdeano Bienzobas

Sustentantes:


Federico Alfonso Toro Bala


Jose Francisco Sánchez Arellanes

*A los sueños, ejemplo y esfuerzo
que mis padres dedicaron en mi
formación como hombre de bien*

A Adalberto, Leopoldo y Pablo, siempre presentes

*A mis abuelos,
Adalberto, Alfonso, Rebe y Lucha*

*A los hermanos y compañeros,
testigos de mi historia y actores en mi destino*

*Al Ing. Federico Galdeano,
por la entrega e interés que hizo posible este trabajo*

*A tí, Ilana,
por la alegría de saberte mía y la dicha de llamarme tuyo,
ya que aún sin saberlo, alentaste los pasos que hasta aquí me trajeron*

*Al futuro,
resumen del amor*

A Dios

Federico Toro

*A mis Padres,
por todo.*

*A Tere, José y Tatiana,
por su ayuda y comprensión.*

*A Tere,
por aquellos días tan particulares.*

*A Gaby, Mayra, Rafa, Pablo, Toño, Canito y Cid ,
por su incondicionalidad.*

*A Diego y Jorge,
por la comunión de las ideas.*

*Al Ing. Federico Galdeano,
por su paciencia a toda prueba.*

Francisco Sánchez Arellanes

ALTERNATIVAS AL BROMATO DE POTASIO COMO OXIDANTE EN PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN. SUBSTITUCIÓN EN PAN BLANCO.

- 1 OBJETIVO
- 2 INTRODUCCIÓN
- 3 ANTECEDENTES
 - 3.1 Aspectos Generales
 - 3.2 Trigos para Panificación
 - 3.3 Molienda
 - 3.4 Proceso de Panificación
 - 3.4.1 Generalidades
 - 3.4.2 Fórmula
 - 3.4.3 Etapas en la elaboración de pan
 - 3.4.3.1 Mezclado
 - 3.4.3.2 Fermentación
 - 3.4.3.3 Modelado
 - 3.4.3.4 Horneo
 - 3.5 Funcionalidad de Ingredientes
 - 3.5.1 Harinas empleadas en Productos de Panificación
 - 3.5.1.1 Harinas Panaderas
 - 3.5.1.2 Propiedades de las Harinas Panaderas
 - 3.5.1.2.1 Fuerza
 - 3.5.1.2.2 Tolerancia
 - 3.5.1.2.3 Absorción
 - 3.5.1.2.4 Contenido de Humedad
 - 3.5.1.2.5 Contenido de Protefnas
 - 3.5.1.2.6 Actividad Diastásica (o Amilasica)
 - 3.5.1.2.7 Contenido de Cenizas
 - 3.5.2 Agua
 - 3.5.3 Levadura
 - 3.5.4 Sal
 - 3.5.4.1 Sabor
 - 3.5.4.2 Inhibición sobre la Fermentación
 - 3.5.4.3 Efecto fortalecedor sobre el gluten de la masa
 - 3.5.4.4 Brillo a la corteza
 - 3.5.5 Grasa
 - 3.5.6 Azúcar
 - 3.5.7 Gluten de Trigo Vital
 - 3.5.7.1 Utilización de Gluten de Trigo

- 3.5.8 Oxidantes
- 3.5.8.1 Oxidantes de la masa
- 3.5.8.2 Bromato de potasio
- 3.5.8.3 Yodato de potasio
- 3.5.8.4 Peróxido de calcio
- 3.5.8.5 Azodicarbonamida (ADA)
- 3.5.8.6 Ácido Ascórbico
- 3.5.8.7 Enzimas
 - 3.5.8.7.1 Amilasas
 - 3.5.8.7.1.1 Importancia de las Amilasas en Panificación
 - 3.5.8.7.1.2 Uso de las Amilasas
 - 3.5.8.7.2 Proteasas
 - 3.5.8.7.3 Hemicelulasas
- 3.5.8.8 Efectos del nivel de Oxidación sobre la masa y calidad del Pan
- 3.5.8.9 Otros factores que afectan a la oxidación
- 3.5.8.10 Características de calidad dependientes de la oxidación
 - 3.5.8.10.1 Mejora en las características físicas de las masas
 - 3.5.8.10.2 Mejora las características del producto final
- 3.6 Legislación sobre oxidantes

4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

- 4.1 Métodos y Formulaciones
 - 4.1.1 Sistema de oxidación en formulaciones existentes
 - 4.1.2 Características de calidad
 - 4.1.3 Sistemas de evaluación de calidad
- 4.2 Modelo Experimental
 - 4.2.1 Ingredientes a evaluar
 - 4.2.2 Laboratorio
 - 4.2.2.1 Diseño de Pruebas
 - 4.2.2.2 Resultados
 - 4.2.2.3 Análisis de Resultados
 - 4.2.3 Planta Piloto
 - 4.2.3.1 Diseño de Pruebas
 - 4.2.3.2 Resultados
 - 4.2.3.3 Análisis de Resultados

5 CONCLUSIONES

6 BIBLIOGRAFÍA

1 OBJETIVO

Encontrar un ingrediente o sistema de ingredientes capaz de sustituir la funcionalidad del bromato de potasio como oxidante para masas en líneas de fabricación de Pan blanco.

2 INTRODUCCIÓN

En la industria de la panificación, así como en la industria de alimentos en general, el interés de los profesionistas del área, así como del público en general, se ha enfocado en los aspectos relacionados a la salud.

El desarrollo de comidas balanceados, bajos en contenido graso, bajos en calorías, bajos en sodio, etc. son un ejemplo de la tendencia hacia alimentos más nutritivos y saludables.

Una de las cuestiones a las que se han abocado los legisladores en el tema de los alimentos, es la prohibición o restricción de ingredientes que hayan demostrado o sugerido un posible daño ya sea por consumo o por manejo.

Este es el caso del bromato de potasio, el cual ha sido utilizado en la industria de la panificación para productos leudados con levadura con bastante éxito. Estudios realizados demuestran que este material puede ser cancerígeno bajo ciertas condiciones y a altas concentraciones. Actualmente está prohibido por la

Comunidad Económica Europea, Canadá y se utiliza con restricciones en algunos estados de los Estados Unidos.

Con la apertura comercial de nuestro país y la globalización de los mercados mundiales, una de las mayores oportunidades de la industria en México es la exportación. Para lograr esto tenemos que cubrir con los requerimientos legales de los países a los cuales exportaremos.

De aquí se deriva la necesidad de encontrar un alternativo al bromato de potasio en la industria de la panificación. El sustituto no solo deberá cubrir con la funcionalidad en el proceso de panificación, sino que además tendrá que cumplir con los requisitos legales del país y del exterior.

3 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

3.1. ASPECTOS GENERALES

Los principales cereales que se cultivan a nivel mundial son trigo, arroz, maíz, cebada, avena, centeno y sorgo. De ellos, el trigo es el líder en producción, seguido muy de cerca por el arroz y el maíz.

El trigo es el más antiguo. El período en que el hombre ha influenciado en el cultivo de trigo es, sin embargo, muy corto en términos de la existencia humana en la Tierra. Es generalmente aceptado que el trigo comenzó a ser cultivado para consumo humano alrededor del 10,000 al 8,000 A.C. (1).

Cerca de dos terceras partes de la producción mundial de trigo se destina a la industria de alimentos; la tercera parte restante se utiliza como forraje, semillas y otras aplicaciones fuera del campo de los alimentos. De la producción de trigos harineros para la industria, el 92.8% se destina a la producción de harina para pan, el 3.79% a la industria de pastas alimenticias y el 3.36% a la producción de harina para galletas.

El contenido de proteínas del trigo varía entre 7 y 15%; es un cereal bajo en grasa (alrededor de 2%) y alto en fibra dietética, principalmente fibra insoluble. Es el cereal que contribuye con más calorías y proteínas en la alimentación humana, por lo que su producción industrial, transformación y comercialización juegan un importante papel en la economía y nutrición de los mexicanos.

Además, el trigo se caracteriza por su elevado contenido de carbohidratos (alrededor del 70%) y por la capacidad que tienen sus proteínas: gliadina y glutenina, de formar masas panificables, debido a que al tener contacto con el agua desarrollan una matriz tridimensional de gluten.

Con la utilización de variedades de semillas mejoradas de alto rendimiento y calidad, la aplicación de fertilizantes químicos y el crecimiento de la superficie de riego, se ha logrado incrementar la superficie cosechada y los rendimientos de trigo por unidad de superficie. Sin embargo, el consumo nacional no se ha satisfecho, lo que ha propiciado más importaciones de grano de trigo para complementar las necesidades de consumo del país. (2,3)

3.2 TRIGOS PARA PANIFICACIÓN

El trigo, al estar adaptado a los suelos y a las condiciones climáticas que prevalecen en grandes regiones del mundo es el cereal de mayor importancia para la nutrición humana.

El trigo es una planta con alto rendimiento y relativamente fácil de cultivar. El grano maduro tiene excelente estabilidad para el almacenamiento y alto contenido nutricional. Su rendimiento para un adecuado procesamiento en harina es alto y prácticamente no se producen desperdicios ya que los remanentes se destinan para la fabricación de alimentos para animales.

El trigo que se utiliza en México para la producción de productos de fermentación en líneas automatizadas, proviene de Estados Unidos debido principalmente al contenido de proteínas y a la calidad panificable de la harina que de él se extrae.

Alrededor de 102 distintas variedades de trigo común (*T. vulgare*) crecen en los Estados Unidos. Las diferencias entre estas variedades incluyen factores tales como la presencia o ausencia de aristas, la variación en los pigmentos, dureza o suavidad del grano, resistencia al frío, a la sequía y enfermedades, fuerza del tallo, y características de molienda y panificación.

Los trigos comunes se agrupan en cuatro grandes categorías: "Hard red spring" (trigo duro rojo de primavera), "hard red winter" (trigo duro rojo de invierno), "soft red winter" (trigo suave rojo de invierno) y "winter and spring white" (trigo blanco de invierno y primavera).

Los trigos de invierno son plantados en el otoño en regiones donde el invierno es solo moderado y relativamente seco. Comienzan a crecer antes del advenimiento de las bajas temperaturas, pasan a un estado de adormecimiento durante la época fría y reanudan su vigoroso crecimiento en la primavera. Llegan a la madurez a comienzos del verano.

Los trigos de primavera comprenden variedades que crecen en regiones donde el invierno es muy severo para variedades de invierno. Se siembran en primavera y se cosechan al final del verano.

El contenido de proteína en el trigo así como la calidad de la harina panificable que de él resulte, determina si su uso es recomendable para productos de fermentación. Las variedades de trigo que se emplean en México para la fabricación de productos de fermentación en líneas automatizadas son "hard red spring" y "hard red winter ". Los trigos suaves se utilizan principalmente para la fabricación de productos leudados químicamente como son los pasteles, galletas, panqués, etc.

En la Tabla 1 se muestra una comparación en los niveles de proteína y peso por bushel entre las diferentes clasificaciones de trigo (4).

TABLA 1

TIPO	PESO POR BUSHEL lb	RANGO DE PROTEÍNA %	PROMEDIO DE PROTEÍNA %
Hard Red Winter	62 - 64	9.6 - 14.8	11.7
Soft Red Winter	60 - 64	8.8 - 11.1	10.3
Hard Red Spring	63 - 64	10.5 - 12.8	12.4
White, Hard	61 - 63	10.5 - 11.4	10.8
White, Soft	61 - 63	8.0 - 10.0	9.0

Kent, N.L. Technology of Cereals. Pergamon Press, London, 1996

3.3 MOLIENDA DE TRIGO

Desde el comienzo de la civilización cuando el hombre desarrolló granos de cereales como fuente de alimentación, ha luchado con la variabilidad de esos granos y los productos que de ellos obtiene.(5)

Uno de los factores que más influyen en la variación de los procesos de panificación, además de la calidad del trigo que se emplea, es el proceso de molienda a la que se somete el trigo para la obtención de harina.

Los objetivos de la molienda de trigo para la obtención de harina para productos de fermentación son dos: separar tan completamente como sea posible la cubierta de salvado y el germen del endosperma; y la segunda es reducir la máxima cantidad de endosperma a un tamaño adecuado, de ahí obteniendo la máxima extracción de harina blanca del trigo y lograr esto sin que el nivel de gránulos de almidón dañados sea muy alto.

El proceso al que se somete el trigo en la molienda es variable, dependiendo de la variedad, e inclusive de las diferencias que se presenten por los cambios en el clima y en la tierra. La correcta mezcla de trigos para la obtención de un cierto nivel de proteínas y de calidad panadera es esencial. De esto depende la uniformidad del desempeño de la harina en las panificadoras.

El trigo o las mezclas de trigo seleccionada es primero sujeta a una limpieza y temperado o acondicionamiento antes de su molido. El trigo comercial siempre contiene pequeños porcentajes de materiales contaminantes como semillas de otros

cereales, tierra, etc. Varios métodos y equipos son utilizados para remover esta materia extraña. Para la separación de objetos de fierro y acero son empleados separadores magnéticos, aspiradores de corrientes de aire para la remoción de materiales ligeros, limpiadores para la tierra. También se emplean cernidores para remover las pequeñas piedra y semillas de ajo, mostaza y avena.

El acondicionamiento o temperado del trigo es un ajuste en los niveles de humedad del los diferentes componentes del grano, en los cuales la separación del germen y el salvado del endosperma sea más eficiente. El proceso generalmente incluye el humedecimiento del trigo seguido de un almacenamiento en tanques por períodos breves que permiten una penetración del agua. Llevando a cabo esta operación se incrementa gradualmente el nivel de humedad en el trigo hasta un valor de 19% para trigos duros y de 17% para trigos suaves. El trigo también puede ser acondicionado para la molienda por la aplicación de calor a una temperatura de 46 °C para acelerar la difusión de humedad en el endosperma y el germen.

Después de la limpieza y el acondicionamiento el trigo se somete a una serie de operaciones de molido, de los cuales los cinco a siete juegos de rodillos ejercen una acción de fractura por esfuerzo cortante. Conocido como el sistema de ruptura y diseñado primordialmente para una separación del duro salvado del desmunuzable endosperma. Esta parte de la molienda se lleva a cabo con rodillos corrugados de acero que giran en diferentes direcciones y a diferentes velocidades.

Los rodillos trabajan en serie, por lo que cada par de rodillos muele el trigo que pasó por los rodillos anteriores, después de una adecuada separación. Del primer

juego de rodillos al quinto o séptimo la corrugación de los rodillos es menor y se encuentran más cerrados.

Las diferentes corrientes que se obtienen son separadas por tamaño de partícula por medio de cernidores y de corrientes de aire. El salvado es la parte del grano con mayor tamaño debido a su dureza, después esta el germen, del cuál se obtienen hojuelas. Finalmente esta el endosperma, el cuál es molido hasta obtener el tamaño de partícula deseado. El nivel de molienda depende del uso final al que esté destinada la harina.

En el caso de harinas para productos de panificación el total de trigo que se transforma en harina es del 72% aproximadamente. A este porcentaje se le conoce como grado de extracción de una harina.

3.4 PROCESO DE PANIFICACIÓN

3.4.1 GENERALIDADES

La historia del pan es larga y muy oscura. El pan ha sido consumido antes que lo registre la historia. Es fácil imaginar a nuestros ancestros encontrando que el trigo salvaje tenía buen sabor y no era venenoso, pero el grano era duro y por tanto dañino para los dientes.

No sabemos si algún curioso se imaginó que añadiendo agua hacía que el material se suavizara y por lo tanto era más fácil de comer o bien observó que el grano era

más suave después de la lluvia. De cualquier manera la adición de agua resultó en un material más suave para comer.

Al paso del tiempo resultó inevitable que parte del sistema grano-agua se dejara a reposar en un sitio cálido. Ciertos microorganismos encontraron un medio adecuado para su crecimiento. El resultado fue una masa con un sabor diferente (amargo) que posiblemente había sido leudado por la producción de gas por las levaduras salvajes o bacterias. Al menos algunas personas encontraron este material de su agrado y se dedicaron a reproducir este fenómeno.

No está claro quién o porque se dejó esta mezcla cerca del fuego o en un material caliente. Tal vez tenían demasiada agua en la masa y querían secarla. En cualquier caso la opinión unánime es que este material sabía mejor después de calentarse.

Con los sucesos antes descritos y 2,000 a 3,000 años de prueba y error, hemos llegado a los panes tradicionales. El estudio científico de la panificación es un fenómeno reciente, alrededor de 100 años.

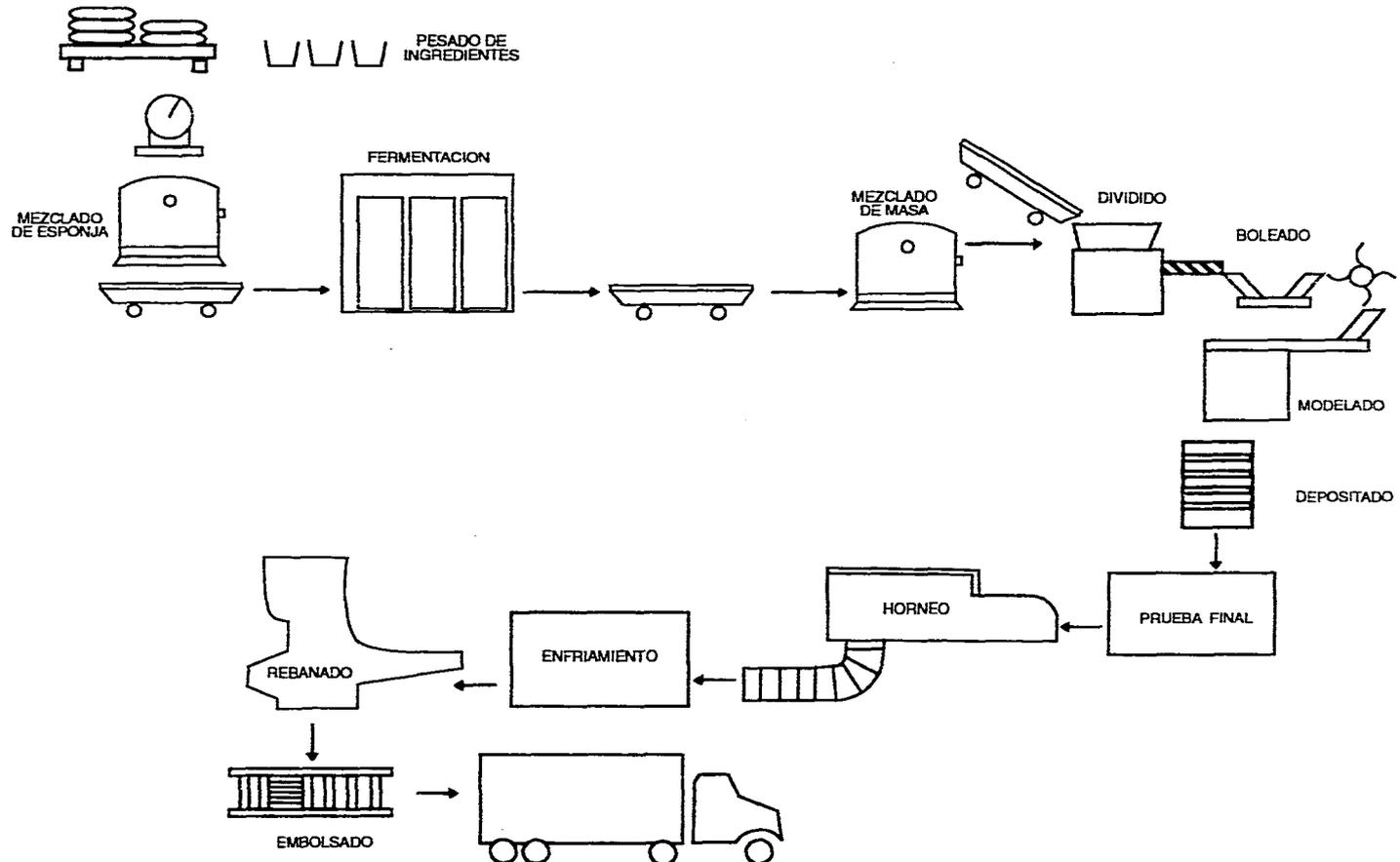
3.4.2 FORMULA

La formulación más básica para el pan consiste en harina, levadura, sal y agua. Si alguno de estos ingredientes falta, el producto no será pan. Otros ingredientes que se encuentran frecuentemente en las formulaciones de pan son grasas, azúcar, leche o derivados, oxidantes, varios tipos de enzimas, surfactantes y aditivos para la protección contra hongos.

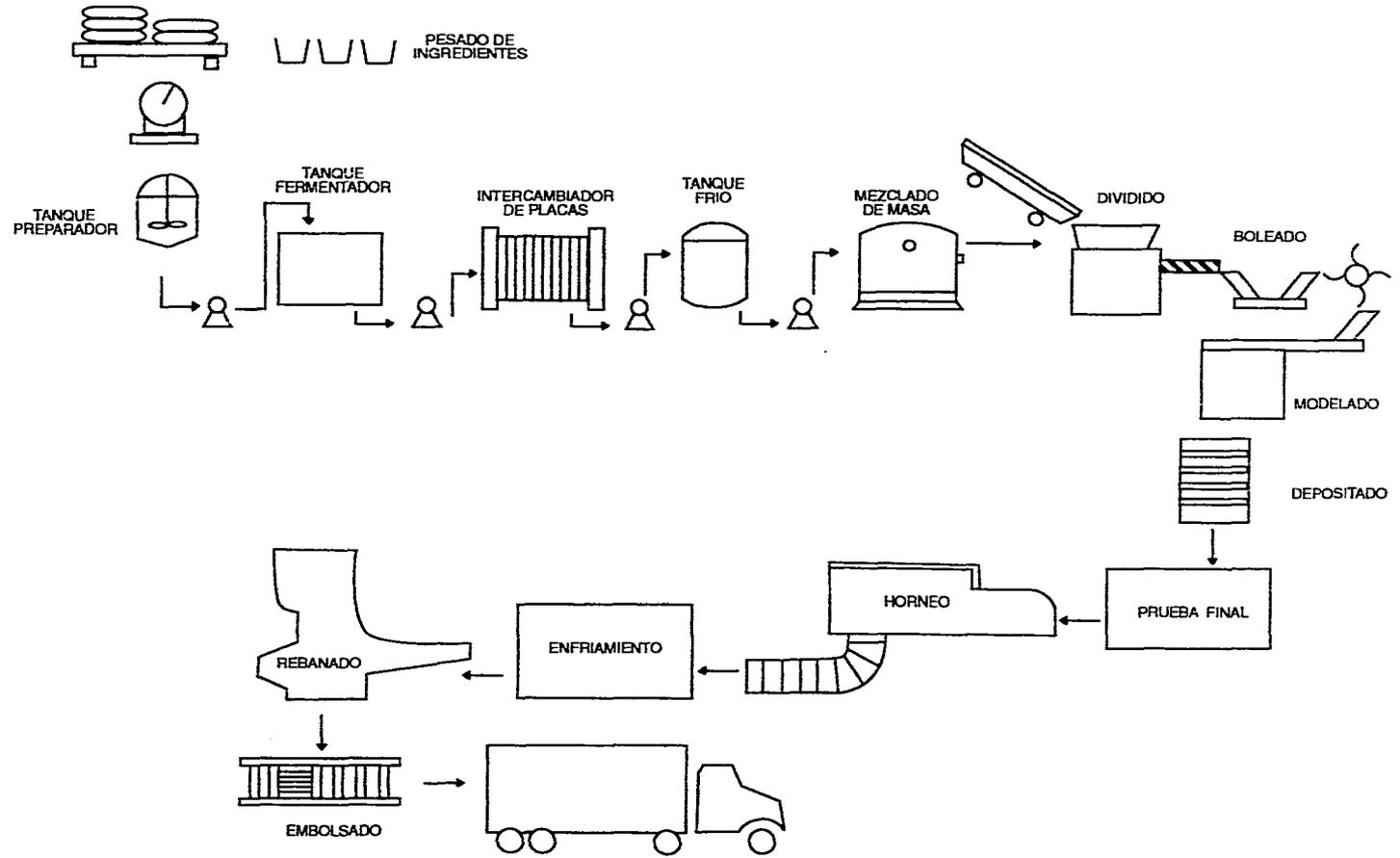
La harina es el principal ingrediente y forma la estructura del pan. Junto con el agua es responsable de la formación de una masa visco elástica que retiene gas. La principal función de la levadura es convertir carbohidratos fermentables en bióxido de carbono y etanol. Los gases que resultan de esta conversión proveen el "levantón" que produce una hogaza ligera.

La sal generalmente se usa en niveles de 1% a 2% en base al peso de la harina. Sus funciones son la de dar sabor y su efecto en las propiedades reológicas de la masa. La sal permite a las cargas del gluten interactuar mejor, y por lo tanto se produce una masa más fuerte. Las grasas en el pan incrementan el volumen y la vida de anaquel o frescura. El azúcar es una fuente de carbohidratos fermentables para la levadura e imparten un sabor dulce al pan. La leche generalmente no es utilizada; sustitutos de leche o mezclas de suero de leche y harina de soya se utilizan como texturizantes de la miga.

Oxidantes como bromato de potasio, ácido ascórbico, azodicarbonamida y peróxido de calcio en niveles de partes por millón mejoran la fortaleza de la masa que resultan en hogazas con mayor volumen y textura. Los surfactantes se usan como reforzadores de masa y como agentes anti envejecimiento. Para evitar el crecimiento de hongos los aditivos más comunes son el propionato de sodio y el de calcio.



FABRICACION DE PAN: METODO DE ESPONJA - MASA



FABRICACION DE PAN: METODO DE ESPONJA - LIQUIDA

3.4.3. ETAPAS EN LA ELABORACIÓN DE PAN

Los cambios que ocurren en la transformación de los ingredientes utilizados hasta la obtención de productos de panificación, son muchos y muy complejos. En la actualidad diferentes tipos de procesos son empleados a nivel industrial para satisfacer diferentes demandas como lo son ritmo de producción, nivel de automatización, características en el producto terminado, espacio disponible, etc. Sin embargo, se pueden distinguir etapas en la elaboración del pan que son constantes.

3.4.3.1. MEZCLADO

El mezclado puede ser definido sencillamente como el acto de combinar en una masa homogénea los diversos ingredientes que se destinan a ser parte del producto final procesado. En la producción del pan y otros productos de panificación leudados con levadura, el mezclado inicia una serie de cambios complejos e interacciones entre diversos componentes como son el agua, almidón, proteínas, lípidos, enzimas, sal, edulcorantes, levadura, agentes oxidantes y reductores, etc., haciendo que estos entren en íntimo contacto a través de trabajo mecánico que finalmente resulta en una masa o batido.

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

En lo esencial, el mezclado de la masa involucra la combinación de los ingredientes de la fórmula y en seguida aplica a la mezcla el trabajo mecánico necesario para que se transforme en una masa cohesiva, con ciertas propiedades visco elásticas. En la producción industrial de gran escala los ingredientes como la harina, mezclas lácteas, edulcorantes sólidos, son normalmente pesados automáticamente y son alimentados directamente a las mezcladoras, mientras que el agua, manteca fundida y edulcorantes líquidos son enviados por tubería con sistemas para entregar volúmenes específicos. Los ingredientes que se agregan en pequeñas cantidades como el alimento para levadura, acondicionadores de masa, enzimas y otros materiales muy reactivos, son pesados en balanzas más sensibles y agregados manualmente. La levadura, dependiendo de la presentación que se utilice, ya sea comprimida, seca activa o instantánea se añade directamente o bien rehidratada.

Además de lograr una adecuada dispersión de los ingredientes en una mezcla homogénea, el proceso de mezclado es el proceso de *participación* tiene el objetivo de físicamente desarrollar las proteínas de gluten en una estructura *tridimensional* coherente que impartirá a la masa el grado deseado de *plasticidad, elasticidad y viscosidad*. Los efectos físicos significativos durante la fase inicial de *mezclado* son la hidratación de las partículas de la harina y la *incorporación de oxígeno*. Mientras se desarrolla la masa, muchos cambios físicos, *químicos y viscosidad* complejos tienen lugar que transforman la masa en un sistema *polimérico* con *masa* complejo.

Los cambios tecnológicos y químicos que ocurren cuando se mezcla una masa son *su* extensivamente investigados en los últimos años.

Los marcados cambios en la apariencia y comportamiento durante las etapas de desarrollo de la masa han sido atribuidos por Hlynka a una alteración básica en las características de flujo del gluten.

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

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

La incorporación de aire es otro aspecto importante del mezclador. Aunque el 20% de la harina a granel es aire, cantidades adicionales se incorporan durante el mezclador. Mediciones de la densidad de la masa muestran que la tasa de

incorporación incrementa mientras la masa se vuelve más cohesiva. Cuando la masa ha alcanzado su desarrollo óptimo, habrá incorporado la mitad del total del aire que puede absorber.

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

3.4.3.2. FERMENTACIÓN

Antes que la masa pueda dar lugar a una hogaza ligera y aereada, debe ser fermentada el tiempo suficiente para permitir que la levadura actúe en los carbohidratos asimilables y los transforme en alcohol y dióxido de carbono como principales productos finales. Esto impartirá al producto horneado un característico aroma y sabor.

La levadura como cualquier organismo vivo, debe ser provisto de un medio adecuado para que se desarrolle. El nivel de humedad, temperatura moderada, acidez en el medio y una abundante cantidad de carbohidratos fermentables, fuentes de nitrógeno asimilable, así como ciertos minerales forman los requisitos básicos para una buena fermentación. La levadura a su vez produce cambios en el medio durante la fermentación, como consecuencia de la descomposición de

azúcares. Se acumulan desperdicio en forma de dióxido de carbono, alcoholes, ácidos y ésteres, se modifica el pH, se ablanda el gluten, etc.

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

La primera etapa de fermentación es conocida como "esponja", y consiste en una mezcla de harina, agua, levadura y acondicionadores del agua y levadura conocidos como "alimento para levadura" o "APL".

Durante esta etapa, se logra una hidratación completa de la harina, con lo cual la absorción de la masa es mayor. Otra ventaja es la disminución en el nivel total de levadura empleada, ya que bajo las condiciones de temperatura, humedad y pH de la esponja, la levadura alcanza su mayor actividad. El producto terminado tendrá un mayor aroma, sabor y humedad que en productos elaborados a partir de masa directa. El tiempo de mezclado disminuye por la hidratación adecuada de la harina y el ablandamiento del gluten.

En el método de esponja-masa, la cantidad de harina utilizada en la esponja es de un 60 a un 75% del total de la harina, de agua es del 55 al 65% y de 3 a 5% de levadura fresca comprimida (base harina). Los ingredientes se homogeneizan en una mezcladora horizontal y se dejan reposar de 3 a 5 horas en un cuarto con 80% de humedad relativa y temperatura de 26 a 32 °C. Finalmente se agrega al resto de los ingredientes en la mezcladora para formar la masa.

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

La esponja se elabora a una temperatura de 25 a 30 °C y se deja reposar entre 2 y 4 horas. Después de este tiempo se enfría por un intercambiador de placas hasta una temperatura de entre 8 y 14 °C, a la cual se almacena. Se bombea directamente a la mezcladora en la cual se elabora la masa.

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

Durante este tiempo la masa incrementa su volumen. Cuando una esponja es correctamente fermentada y la masa es mezclada óptimamente, dos fuerzas entran en juego: la producción y retención de gas. La producción de gas involucra fundamentalmente el funcionamiento biológico de la levadura sobre los azúcares fermentables, mientras que la retención de gas es dada por las modificaciones

mecánicas y fisicoquímicas de la estructura coloidal de la masa durante el mezclado y la fermentación.

La principal tarea del panadero es la de controlar la fermentación de tal manera que las fuerzas de producción y retención de gas estén en equilibrio. Si la producción de gas llega al máximo cuando la capacidad de retención de la masa no ha sido desarrollada se perderá mucho gas y no se logrará una correcta aereación de la masa; si por otro lado, la capacidad de retención de gas llega al máximo antes que la producción, se perderá nuevamente aereación de la masa.

3.4.3.3. MODELADO

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

El primer paso en el modelado es la división de la masa en piezas individuales con un peso especificado. Esta tarea es llevada a cabo por maquinaria especial llamada "divisora". El objetivo de la división, es trabajar a la más alta velocidad manteniendo un peso constante, desde el inicio al final de cada masa. Esto se logra generalmente cuando la masa se pesa en menos de 20 minutos.

El equipo disponible opera con el principio de medida volumétrica. El mayor problema asociado es que la masa, por la fermentación constante, cambia perceptiblemente su densidad durante la operación de dividido. Se ha encontrado (Borthwick) que la densidad de una masa puede disminuir en 20% durante los 20

minutos que generalmente lleva el proceso de dividir una masa de 500 kg. de harina.

La operación de dividido somete a la masa a un estrés físico, especialmente cuando esta es forzada a los medidores volumétricos. Esta compresión, seguida del corte, causa una pérdida de dióxido de carbono, la desorientación de las redes de gluten y el incremento de la temperatura.

El siguiente paso es el boleado. La boleadora consiste generalmente en una superficie cónica por la que la masa dividida se enrolla en sí misma. Se forman bolas que tienen capas en la superficie de gluten orientado que se seca parcialmente por la pérdida de humedad y la adición de harina de polveo. Esta capa actúa eficientemente como barrera a la difusión de gases y permite que el dióxido de carbono se acumule en el interior. Aunque las celdillas de gas que se han reventado y subdividido en el proceso anterior se inflan.

Después del boleado, la masa pasa por la modeladora. La primera operación de la modeladora es aplanar las bolas a una forma de tortilla por medio de tres pares de rodillos.

Posteriormente la tortilla de masa pasa por mesas en donde se enrolla. Las mesas tienen telas y guías para lograr la longitud adecuada. En los panes de 750 gr. generalmente existe una operación más. Esta consiste en trenzar dos "camotes" de masa para formar una sola hogaza. Al manejar tortillas de masa con menor peso se obtiene una mejor distribución de las celdillas de gas, ya que los rodillos se cierran más y desgasifican mejor.

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

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

Cuando la masa sale de la cámara de humedad, se puede detectar si todavía tiene fuerza para crecer la última etapa en el horno y si el color será adecuado o pálido dependiendo de la corteza. Si esta es tersa, brillante y no pegajosa la masa se encuentra en óptimas condiciones para el horneado. Si por el contrario aparecen ampollas se dice que la masa está "picada", y por lo tanto débil, no crecerá adecuadamente en el horno, las celdillas estarán colapsadas y el color será pálido.

3.4.3.4. HORNEO

El proceso de cocción de las piezas de masa consiste en una serie de transformaciones de tipo físico, químico y biológico, que permite obtener al final

del mismo un producto comestible y de excelentes características sensoriales y nutritivas.

La temperatura del horno y la duración de la cocción varían según el tamaño y el tipo de pan, la temperatura oscila entre 220 y 275 °C, mientras que el tiempo de cocción varía según el tipo de horno y peso del producto entre 13 y 45 minutos.

Una vez metida la pieza de masa en el horno, el calor se propagará del ambiente hasta el interior, atravesando la superficie superior y lateral (transmisión de calor por convección y conducción) y desde la base del horno atraviesa la superficie inferior, en el producto se establece un gradiente de temperatura con un máximo, inicialmente de 100 °C. En realidad en esta fase ocurre un movimiento (del interior hacia el exterior) de moléculas de agua que, al llegar a la superficie se evaporan, por lo cual la temperatura que se instaura en el producto tiende a disminuir hacia el interior.

La parte de la masa en contacto con la base del horno absorbe el calor por conducción, y la que está en contacto con el aire lo absorbe por convección del aire.

Durante la cocción, además de la evaporación del agua, también ocurre la volatilización de todas aquellas sustancias que tienen una temperatura de evaporación inferior a 100 °C y en particular del alcohol etílico y de todas las sustancias aromáticas que se forman tanto en la fermentación, como en la cocción (aldehídos, éteres, ácidos, etc.)

La volatilización depende no sólo de la concentración de estas sustancias en el pan, sino además de la capacidad de retención de gas de la masa, esto es, de su impermeabilidad y en definitiva de la elasticidad de la malla del gluten.

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

Cuando la masa tiene la posibilidad de una elevada elasticidad junto con una gran capacidad de retención, da lugar a un pan muy grande, con bajo peso específico y con una blandura uniformes. Si al contrario, las características de la masa son el tener una escasa elasticidad o una pequeña capacidad de retención del gas debido a una malla glutínica rígida y seca, se obtiene un pan de pequeño volumen, con una miga de masa aglomerada, y con unas celdillas no homogéneas.

En conclusión, el desarrollo y el aspecto del pan, dependen de varios factores que son el índice final de un perfecto equilibrio, tanto de la dosificación de los ingredientes, como de la masa y del empleo de una adecuada tecnología.

La calidad y la cantidad del gluten, la cantidad de azúcares reductores, por su capacidad para formar gas, la cantidad de levadura, de sal o de otros ingredientes, tales como la grasa y el azúcar, representan otros factores de los que depende el desarrollo del pan; otros parámetros tecnológicos como la temperatura y velocidad

de cocción, características de las piezas, ciclo de elaboración y duración de la fermentación tienen importancia en la obtención de un volumen óptimo del pan.

A temperatura inferior a 55°C, la levadura continúa activa por lo que la fermentación prosigue, sólo una vez alcanzados los 65°C la actividad de la levadura y de las enzimas cesa, y al mismo tiempo comienza la coagulación del gluten y la parcial dextrinización del almidón: la totalidad de estos fenómenos junto con la eliminación del agua hace perder a la masa la consistencia plástica y la hace asumir una forma rígida.

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

Como consecuencia de la distinta temperatura entre la superficie y el interior de la masa, el almidón se comporta de manera distinta: en el interior de la masa, la temperatura más baja, convierte el almidón en engrudo, de estructura coloidal, formando la miga; sobre la superficie, la temperatura más alta provoca el proceso de dextrinización y caramelización de los azúcares y aminoácidos presentes. Además la temperatura conduce a la eliminación del gas en la masa y de sustancias volátiles y aromáticas como los alcoholes, los éteres y todos aquellos productos derivados de la reacción de Maillard entre azúcares y aminoácidos y se forma el aroma característico del pan.

TABLA 2**FENÓMENOS DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN**

TEMPERATURA °C	FENÓMENOS EN EL INTERIOR DE LA MASA
30	Expansión del gas y producción enzimática de azúcares
45-50	Muerte de sacaromicetos
50-60	Fuerte actividad enzimática, inicio de la solubilización del almidón
65	Muerte de la levadura
60-80	Final de la solubilización del almidón
100	Desarrollo y producción de vapor de agua, formación de la corteza, que cede agua
110-120	Formación de dextrina en la corteza (clara y amarilla)
130-140	Formación de dextrina parda
140-150	Caramelización (bronceamiento de la corteza)
150-200	Producto crujiente y aromático (pardo oscuro)
> 200	Carbonización de la pieza (masa porosa y negra)

Manual de Panificación. Grupo Industrial Bimbo, 1993

3.5 INGREDIENTES

3.5.1. HARINAS EMPLEADAS EN PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN

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

3.5.1.1. HARINAS PANADERAS

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

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

su última expansión durante el horneado, coagula impartiendo rigidez a los productos horneados.

3.5.1.2. PROPIEDADES DE LAS HARINAS PANADERAS

3.5.1.2.1. FUERZA

La fuerza de la harina se define como la capacidad de producir una pieza de pan de muy buen volumen, grano fino y uniforme, y una textura aterciopelada.

La fuerza de la harina depende principalmente de la cantidad y la calidad de las proteínas formadoras de gluten. Estas deben ser capaces de soportar el abuso mecánico al que se someten las masas y capaces de retener el gas generado durante la fermentación. Muchos investigadores opinan que, para que una harina pueda considerarse fuerte, debe poseer una buena actividad amilásica. De esta manera se asegura una buena producción de gas (que logra un buen volumen) y una óptima hidrólisis del almidón en dextrinas, que también mejoran el volumen.

3.5.1.2.2. TOLERANCIA

Las harinas panaderas deben poseer una buena tolerancia, sobre todo al mezclado y a la fermentación. Deben poder soportar un ligero sobremezclado y, con un pequeño exceso de fermentación, las masas no deben volverse demasiado flojas o pegajosas. La tolerancia de las harinas está relacionada con la calidad del gluten.

3.5.1.2.3. ABSORCIÓN

La absorción de las harinas panaderas es un factor de calidad muy importante. Siempre se desean los valores superiores de absorción. De esta manera, aumenta el rendimiento de la masa y también se ejerce una acción favorable sobre la vida de anaquel de los productos.

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

La absorción de las harinas depende en gran parte de su contenido proteico. Sin embargo, la calidad de las proteínas también afecta a la absorción. Esto explica el por qué dos harinas con el mismo contenido proteico no presenta el mismo valor de absorción óptimo.

3.5.1.2.4. CONTENIDO DE HUMEDAD.

Los diferentes métodos de análisis para determinar el contenido de humedad, se basan en el secado de la muestra, determinándose su peso antes y después de haber evaporado el contenido de humedad. Uno de los procedimientos más simples consiste en exponer a la harina al calor de una lámpara de infrarrojo, empleando una balanza de humedad. En otros se seca la muestra en un horno. El contenido de humedad de la harina se expresa en porciento.

3.5.1.2.5. CONTENIDO DE PROTEÍNAS

Las proteínas de la harina de trigo, gracias a la formación del gluten, le imparten a la harina su característica única de formar una masa, que retendrá los gases desprendidos durante la fermentación y que, después del horneado, producirá un pan ligero y aireado.

El contenido de proteínas se determina generalmente, mediante el método Kjeldahl. El método realmente determina la cantidad de nitrógeno en la muestra de harina. El valor así obtenido se multiplica por el factor 5.7 para establecer el porcentaje de proteína. El factor se deriva del contenido de nitrógeno de las proteínas del trigo, que es de 17.5% ($100/17.5 = 5.7$). El valor de proteínas se reporta en por ciento, sobre una base de 14% de humedad.

3.5.1.2.6. ACTIVIDAD DIASTÁSICA (O AMILÁSICA)

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

Existen numerosas pruebas para determinar la actividad amilásica. La mayoría expresan los miligramos de maltosa producidos, a una temperatura y un pH adecuado, a partir de 10 gramos de harina. Las harinas con un valor de 250 mg. de maltosa presentan una actividad amilásica reducida, los valores de 440 g. de maltosa indican una elevada actividad diastásica.

3.5.1.2.7. CONTENIDO DE CENIZAS.

Las cenizas son el residuo mineral, que resulta del calentamiento (o calcinación de la harina) bajo condiciones controladas, hasta que se haya destruido todo el material orgánico, pero sin provocar la volatilización de los componentes no combustibles. Para tal efecto, generalmente se emplean muflas eléctricas, con temperaturas entre los 550° y 590 °C.

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

3.5.2 AGUA

El agua ocupa, junto con la harina, la levadura y la sal, la posición de ingrediente principal de la masa. Sin agua no sería posible la formación de una masa, pues representa aproximadamente un 40% del total de ésta. Es por esta razón que, aún

cantidades relativamente pequeñas de materiales activos disueltos en ella, pueden ejercer un efecto pronunciado sobre las propiedades de la masa y la calidad del pan.

El agua, como cualquier otro ingrediente, debe ser de calidad uniforme, para que los productos resultantes también sean uniformes. Las principales variables que deben de ser verificadas son la dureza total y el pH, así como su calidad sanitaria.

Las funciones del agua en productos de fermentación son muchas. La primera es que hace posible la formación del gluten.

El gluten, componente estructurante muy importante para las masas de fermentación, se forma gracias a la hidratación y acción mecánica sobre las proteínas de la harina al mezclarse ésta con agua. El gluten forma la pared de las celdillas, retiene el gas leudante y determina en gran medida el volumen y características de estructura del producto final.

Cuando el almidón se cuece en presencia de agua, los gránulos comienzan a hincharse a una temperatura entre 63° y 71°C. Este fenómeno se conoce como gelatinización. Al aumentar la temperatura, los gránulos continúan hinchándose y absorben más agua hasta que alcanzan un tamaño máximo alrededor de los 88°C. En este momento se encuentra totalmente cocido el almidón. Los gránulos hinchados son responsables del poder espesante del almidón. El almidón gelatinizado forma una pasta, que se vuelve más firme durante el enfriamiento y que contribuye en forma importante a la estructura de los productos de fermentación, impartiendo rigidez.

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

A pesar de que las mezcladoras para masas de fermentación llevan chaqueta de refrigeración, es necesario emplear el agua a la temperatura apropiada (en la mayoría de los casos muy fría) para que la masa adquiera la temperatura final de mezclado deseada. Las masas deben vaciarse de la mezcladora con una temperatura óptima (alrededor de 26°-28°C), para promover la correcta actividad de la levadura. Las masas calientes se sobrefermentarán y las frías tardarán más tiempo en crecer en la prueba final.

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

El agua en la tierra contribuye a mantener la humedad y a regular la temperatura. Además, el agua es el medio por el que se transportan los nutrientes y los gases. El agua también regula el clima y el ciclo de vida de los organismos.

El agua determina la capacidad, resistencia y elasticidad de los tejidos que son determinadas por la humedad del ambiente.

Aunque el agua es un agente estructurante al permitir la formación del almidón también es un agente suavizante. Al agua durante el cocinado y al ser absorbida por este, se inhibe en cierto grado la gelatinización completa del almidón, lo que resulta en un efecto suavizante de la estructura del producto.

3.5.3 LEVADURA

La levadura es un organismo unicelular que se reproduce asexualmente. Es responsable de la fermentación y de la producción de alcohol y gases.

La levadura es un organismo unicelular que se reproduce asexualmente. Es responsable de la fermentación y de la producción de alcohol y gases. La levadura es un organismo unicelular que se reproduce asexualmente. Es responsable de la fermentación y de la producción de alcohol y gases.

La levadura es un organismo unicelular que se reproduce asexualmente. Es responsable de la fermentación y de la producción de alcohol y gases.

La levadura logra esta acción mediante el rompimiento de los azúcares a través de procesos metabólicos, que son una parte esencial del proceso de vida de las células de levadura.

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

En la presencia de oxígeno (tal como en el momento inmediato después del laminado y modelado) la levadura utilizará el azúcar en la masa para producir más células de levadura. Sin embargo, las actividades metabólicas de la levadura pronto consumen todo el oxígeno disponible en la masa y de esta manera crean condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno) dentro de la masa. En esta situación, la levadura comenzará a fermentar los azúcares de la masa, produciendo principalmente CO₂ y alcohol, acompañados de sólo una cantidad relativamente pequeña de crecimiento celular.

El proceso de fermentación por parte de la levadura produce tres cambios principales en la masa. El primero es la generación de CO₂, lo cual resulta en un producto ligero y aireado, lo que mejora la comestibilidad de todos los productos leudados con levadura.

En segundo lugar, los subproductos de la fermentación están formados por compuestos saborizantes y precursores del sabor. Estos solamente desarrollarán su potencial saborizante después de transformarse con el calor del horno. Las

cetonas, aldehídos, alcoholes y ácidos, todos contribuyen al sabor del pan de esta manera. Los productos que no se someten a una fermentación adecuada no producen suficientes de estos compuestos para resultar en productos de buen sabor.

Por último, el proceso de fermentación "inadura" o "desarrolla" a la masa. Este proceso es complejo y muchos factores contribuyen a él. Algunos de estos factores son la disminución del pH de la masa, la producción de alcohol y el estiramiento físico de la masa. Cada uno ayuda a desarrollar la madurez deseada.

3.5.4 SAL

El cloruro de sodio o sal común es un ingrediente que en los productos de fermentación cumple con varias funciones.

3.5.4.1. SABOR.

La función más importante de la sal es el mejoramiento del sabor del pan. El sabor de la misma sal no es deseable por lo general, pero es bien sabido que tienen la propiedad de acentuar otros sabores. La sal actúa como estimulante de las terminaciones nerviosas localizadas en la lengua y así hace resaltar y notar los sabores, que de otra manera pasarían desapercibidos. Los panes en los que se ha omitido la sal, tienen un sabor insípido, que provoca que los panes no sean adecuados para su venta.

3.5.4.2. INHIBICIÓN SOBRE LA FERMENTACIÓN

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

Este efecto se debe a la presión osmótica que ejerce la sal sobre la célula de levadura. El fenómeno se explica de la siguiente manera: la concentración de sal del interior de la célula de levadura tiende a igualarse con la concentración de sal del agua de la masa. Al ser esta mayor, sale agua del interior de la célula de levadura hacia el agua de la masa, deshidratándose la levadura y perdiendo así su poder de gasificación. Esta acción de la sal puede ser deseable en condiciones donde se tiene un control inadecuado de la temperatura, procediendo de otra forma la fermentación de manera errática. La sal previene una acción excesiva de la levadura, especialmente en masas de fermentación prolongada. El efecto de la sal es indeseable cuando se desea una mayor rapidez de fermentación, bajo condiciones controladas de temperatura. La sal tiene también, en cierto grado, un efecto inhibitorio sobre la actividad de otros microorganismos, inhibiendo la acción de las bacterias productoras de ácido.

3.5.4.3. EFECTO FORTALECEDOR SOBRE EL GLUTEN DE LA MASA.

A concentraciones adecuadas, la sal tiene un efecto fortalecedor y apretador sobre el gluten de la masa, debido en parte a la inhibición de las proteasas, pero de manera más importante por una interacción directa de la sal con las proteínas de la

harina. La sal influencia la tenacidad, plasticidad y otras características de la masa. La sal estabiliza el gluten, impartiendo al pan un mejor grano y una miga más blanca. Este efecto fortalecedor muestra ser especialmente deseable en circunstancias donde se enfrentan aguas muy suaves, o donde se tenga que procesar harinas con maduración inadecuada. En estas condiciones, el uso de una máxima cantidad de sal ayudará a vencer las posibles dificultades encontradas con masas flojas y pegajosas. La acción astringente de la sal sobre la masa evita su excesiva adherencia. Las masas sin sal serán muy flojas, pegajosas y difíciles de maquinar.

3.5.4.4. BRILLO A LA CORTEZA

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

3.5.5 GRASA

El lardo, la mantequilla, las mantecas vegetales y animales, la margarina, etc., se emplean en los productos de panificación. Todos los siguientes productos difieren en la clase de manteca más adecuada para su preparación: panes, pasteles, corteza para pay, masas dulces, galletas, pastas hojaldradas, etc. En el caso de panes la grasa de mayor uso es la manteca vegetal, generalmente de algodón.

Los panes leudados deben muchas de sus propiedades a la estructura del gluten de la masa. Con los panes modernos, es necesario que el carácter firme y elástico del gluten se compense con otros materiales que posean un efecto suavizante. La manteca se usa en las masas de pan para lubricar las tiras de gluten y para suavizar la corteza de la hogaza final. Su uso aumentará el volumen del pan, disminuirá la firmeza de la corteza, producirá una más brillante estructura de la miga y mejorará materialmente la calidad de conservación del pan.

La adición de manteca a la masa de pan, produce un mejoramiento notable del volumen de la hogaza con cada incremento en la cantidad de manteca hasta un máximo de 3 a 4% (en base harina). Por consecuencia, la cantidad de manteca usada en panes es variable, debido a que las harinas más fuertes requieren una mayor cantidad de manteca mientras que las harinas panaderas más débiles requieren una menor cantidad.

Un buen pan puede elaborarse a partir de masas que contengan un mínimo de 2 a 3% de manteca basado en el peso total de la harina, hasta un máximo de 10 a 12% de manteca en el caso de algunos panes especiales. La cantidad promedio de manteca utilizada en panes modernos es de alrededor de 4%, basado en el peso total de la harina. El lardo extraído en cazos abiertos es la manteca panadera preferida debido a su sabor placentero.

El poder lubricante de las mantecas causa que parezca que las masas de pan fermenten más rápidamente. Las masas elaboradas con mantecas llegan al punto de elevación máximo 15 a 20 minutos antes que las masas similares que no contienen manteca. No existe evidencia alguna que pruebe que la manteca estimula la

actividad de las levaduras, pero se cree que el crecimiento más rápido se debe a mejores propiedades de lubricación en la estructura de la masa.

3.5.6 AZÚCAR

Los azúcares tienen diferentes propiedades que los hacen necesarios para la elaboración de productos de fermentación.

La función principal de los azúcares es la de proporcionar alimento a la levadura para leudar la masa. También se desarrollan por esta misma acción ácido y aldehídos volátiles que realzan el sabor y aroma del pan.

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

Algunos azúcares tienen la propiedad de ser reductores, ya que tienen la habilidad de reducir químicamente a ciertos compuestos. La glucosa y fructosa son azúcares reductores. En la sacarosa se encuentran bloqueados los grupos carbonilo, por lo que esta no es reductora.

La higroscopicidad es la habilidad de una sustancia para absorber el contenido de humedad y retenerlo. Algunos azúcares son más higroscópicos que otros. La sacarosa y dextrosa monohidratada son los menos higroscópicos, mientras que la fructosa, miel, azúcar invertido y jarabe de maíz son muy higroscópicos. Esta

propiedad permite elevar el nivel de agua en las masas, y mejorar la suavidad del producto terminado.

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

Los azúcares reductores, cuando se calientan en presencia de proteínas reaccionan con sus aminoácidos y forman compuestos oscuros llamados melanoidinas. Las reacciones de Maillard son complejas. En las primeras etapas, las melanoidinas se asemejan a los caramelos en su color, olor y sabor. Las reacciones posteriores y últimas provocan su transformación en sustancias negras, amargas e insolubles.

De todos los azúcares mencionados, la sacarosa es el único que no puede participar en estas reacciones de oscurecimiento, por ser un azúcar no reductor. Tanto la caramelización, como las reacciones de oscurecimiento son importantes, ya que determinan el color del producto horneado. Las reacciones de Maillard también forman muchos compuestos que imparten el característico aroma al pan horneado y mejoran el sabor.

Aunque la producción adecuada de CO₂ se puede sostener con el 2% a 3% de sacarosa (base harina) comúnmente se usan niveles más altos (aproximadamente de 8%). Las razones que justifican lo anterior son: volumen del producto, color de la corteza, sabor, comestibilidad, vida de anaquel, etc. Los niveles altos de azúcar aseguran el mantener la fermentación a una alta velocidad de producción de gas

durante el tiempo de prueba final, que se requiere para los sistemas de producción a gran escala.

La adición de azúcares en exceso a la masa, con respecto a la cantidad que pueda fermentar la levadura, produce varios efectos durante el proceso de masas, horneado y en el producto final. Por ejemplo, el adecuado desarrollo de la masa durante el mezclado, requerirá de mayor trabajo mecánico, ya que la hidratación del gluten sería deficiente. Las masas dulces con niveles de azúcar del 20% al 25% (base harina) se tiene que mezclar un 50% más que una masa normal, para mantener un volumen y demás cualidades en el producto terminado.

El tiempo de prueba final también se ve afectado por aumentar la presión osmótica en la masa, por lo que se requieren mayores porcentajes de levadura. Los azúcares que permanecen sin fermentar por la levadura, aparecen como azúcares residuales en el producto final, donde ejercen un efecto significativo en la calidad del producto.

3.5.7. GLUTEN DE TRIGO VITAL

La harina, cuando se humedece con agua y se amasa forma un material elástico duro que se conoce como masa. Aproximadamente el 80% de la proteína de trigo, está formada por un grupo complejo de proteínas del cual la gliadina y la glutenina son las más dominantes. Este grupo de proteínas forma el gluten y es responsable de la típica estructura de celdas de la masa. En la elaboración del gluten de trigo vital, la proteína de la harina se separa del almidón mediante el amasado de la harina de trigo con agua. Las buenas harinas de calidad se mezclan para formar

masas flojas y acuosas, que contienen de 80 a 90 kilogramos de agua por 100 kg. de harina.

Después de hidratar uniformemente la harina, la masa se lava y amasa en varias ocasiones con agua adicional. El gluten permanece como una masa dura parecida al hule y se decanta el almidón junto con el agua en exceso. Las harinas promedio producen alrededor de 15 kg. de gluten y 50 kg. de almidón por cada 100 kg. de harina. El resto de la harina permanece en el agua de lavado como pequeños gránulos solubles de almidón y salvado. En este momento, el gluten contiene más o menos 30 partes de gluten por 70 partes de agua. El gluten al igual que otras proteínas se desnaturaliza fácilmente por el calor, particularmente en presencia de grandes cantidades de agua, de manera que se tiene que mantener un cuidadoso proceso de secado para mantener su vitalidad. Un análisis típico de gluten de trigo vital se proporciona en la TABLA 3.

TABLA 3
GLUTEN DE TRIGO VITAL

ANÁLISIS TÍPICO	%
Humedad	6.00
Proteína (base seca)	75.50
Cenizas	1.00
Grasa(extracto etérico)	1.20

Pyler, Baking Science and Technology. Siebler Publishing Co., 1973

3.5.7.1. UTILIZACIÓN DE GLUTEN DE TRIGO

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

En la producción industrial de pan blanco, el gluten de trigo vital es benéfico al constituir paredes laterales más fuertes y prevenir que el pan horneado colapse. Como guía en estas aplicaciones, la adición de 1% de gluten de trigo vital (por ciento panadero) a una fórmula incrementa el contenido proteico de la mezcla harina/gluten en un 0.6%. Además, al agregar un kg. de gluten a 100 kg. de harina que contiene 12% de proteína, se produce una mezcla de 12.6% de proteína. Los usos típicos del gluten de trigo vital se proporcionan en la TABLA 4.

TABLA 4
USOS DE GLUTEN DE TRIGO

PRODUCTO	% DE GLUTEN VITAL (Por ciento Panadero)
Bollos y medias noches	1-2
Pan blanco	1-2
Pan negro y de centeno	1-4
Pan dulce	1-2
Pan con fibra (fibras naturales de grano)	4-7
Pan francés e italiano	1-2

Dobois and Cottle, Amer. Soc. Bakery Engrs. Bull. 1969

3.5.8. OXIDANTES

Ya que el tema central de este proyecto es la sustitución de un ingrediente oxidante, este punto se tratará con mayor amplitud y profundidad.

3.5.8.1 OXIDANTES DE LA MASA

El efecto global de los oxidantes es esencialmente un mejoramiento en las características físicas de las masas de fermentación, que resulta en un pan con mayor volumen, grano más fino, textura más suave y una mejor simetría.

La acción de los oxidantes, sin embargo, no es idéntica. Deberá seleccionarse el agente oxidante más apropiado para los diferentes tipos de harina, las diversas prácticas de mezclado y fermentación.

3.5.8.2. BROMATO DE POTASIO

Es un agente oxidante de acción relativamente lenta. Los principales efectos mejoradores sobre las masas, los ejerce durante las últimas etapas del procesamiento. Fortalece a las masas durante los últimos momentos del período de prueba final y durante los primeros minutos de horneado.

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

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

3.5.8.3. YODATO DE POTASIO

Es un agente oxidante de acción muy rápida. Después de mezclar una masa bajo condiciones normales, ya no se podrá detectar yodato residual. Esta acción temprana provoca el notable incremento en la retención de gas que sufren las esponjas elaboradas con alimento de levadura, que contenga yodato como oxidante. Las esponjas resultantes alcanzan un mayor volumen y son más "vivas". El efecto oxidante se presenta tempranamente durante la fermentación, donde ayuda a establecer un patrón básico del grano, que resultará finalmente en una estructura de miga más fina y uniforme que la obtenida solamente con el uso de bromato.

El empleo de yodato de calcio ha aminorado un poco este problema. Contiene una mayor cantidad de oxígeno por molécula y tiene una rapidez en disolución más lenta, de manera que libera oxígeno más lentamente en la masa.

La disipación temprana de la acción oxidante del yodato (debido a que tiene un efecto muy rápido), produce masas que en etapas posteriores del proceso estarán desprovistas, de la resistencia necesaria al abuso mecánico.

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

3.5.8.4. PERÓXIDO DE CALCIO

Ejerce un efecto diferente sobre las propiedades de la masa al de los otros tipos de oxidantes. Su reacción en la masa al parecer también es diferente. Se incluye en la masa, en vez de en las esponjas. Reacciona rápidamente, fortaleciendo al gluten y produciendo masas más secas. Permite así un incremento en la absorción y una reducción en la cantidad de harina de polveo durante el maquinado.

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

El peróxido de calcio no puede emplearse en prefermentos, ya que comienza a reaccionar al tener contacto con la humedad y su actividad se disiparía antes de que se llegara a mezclar la masa.

3.5.8.5. AZODICARBONAMIDA (ADA)

Es un oxidante de acción rápida, que en este aspecto se parece al yodato, pero su actividad prevalece durante un mayor lapso de tiempo. Cuando el ADA substituye al yodato en sistemas de mezclado continuo, disminuye los requerimientos de mezclado de la masa actualmente, con la finalidad de obtener un pan más suave, se han probado algunas mezclas de ADA con enzimas y peróxido de calcio. Esto ayuda a desaparecer los bromatos de fórmula y nos trae como consecuencia que las masas resultantes presenten una gran tolerancia a los "golpes mecánicos" cuando la masa ya ha sido leudada, (a la salida de la cámara).

3.5.8.6. ÁCIDO ASCÓRBICO

A pesar de que el ácido ascórbico es un agente reductor cuando se adiciona a las harinas que serán empleadas en sistemas continuos de mezclado (en las cuales el desarrollo de la masa tiene lugar en ausencia de oxígeno), adicionado a las masas desarrolladas convencionalmente, con adecuado acceso de oxígeno atmosférico, su acción mejoradora es la de un agente oxidante.

La harina es casi inmune a una sobredosis de ácido ascórbico. Los efectos con tratamientos de 30 a 120 ppm son casi constantes. En los sistemas de mezclado convencional, el ácido ascórbico es un mejorador de acción rápida, parecida al yodato, sin embargo provee una mayor resistencia contra el sobremezclado.

El ácido ascórbico nunca deberá formar parte del alimento para levadura, ya que este ingrediente se adiciona a las esponjas. En las esponjas se crea un ambiente anaerobio, por lo que el ácido ascórbico actuará como agente reductor. Suavizará excesivamente a las proteínas de la harina, obteniéndose una masa muy debilitada que provocará problemas de estabilidad en el proceso. Cuando se busque acción oxidante, el ácido ascórbico debe emplearse como aditivo directo a las masas,

3.5.8.7 ENZIMAS

3.5.8.7.1 AMILASAS

3.5.8.7.1.1 IMPORTANCIA DE LAS AMILASAS EN PANIFICACIÓN.

Las amilasas son la llave para la producción de gas en todos los productos leudados con levadura. Las amilasas solamente actúan sobre el almidón dañado, ya sea durante la molienda o durante la gelatinización por el calor del horno. Aproximadamente del 5 a 7% del almidón en una harina panadera tiene rota la pared celular exterior (resultado de la molienda) y este es el almidón que se utiliza durante las primeras etapas de la fermentación. Esta etapa es importante por dos razones: durante la fermentación de una esponja no se añade azúcar, por lo que la levadura debe depender de la conversión del almidón para obtener los carbohidratos que fermentará. En segundo lugar, los gránulos de almidón dañados o rotos absorberán y retendrán más agua que el almidón no dañado. Conforme el almidón disponible se convierte a azúcares durante la fermentación de la esponja, el agua absorbida durante el mezclado se libera, resultando en un sistema de masa más fluido.

La harina sólo presenta cantidades muy pequeñas de mono y disacáridos (0.5 a 1.0%). Estos niveles de azúcares fermentables no son suficientes para mantener la vigorosa actividad de las levaduras, que se necesita para desarrollar a la esponja. La adición de sacarosa a la esponja no resuelve este problema, ya que la velocidad de producción de gas debe coincidir con la capacidad de la esponja para retenerlo. La adición de azúcar en el período inicial de fermentación de la esponja provocará una liberación demasiado rápida del gas, antes de que la esponja esté preparada para retenerlo. Gracias a la actividad de la alfa-amilasa, las cadenas de almidón van hidrolizándose lentamente, dando tiempo así a que la esponja cuente con una estructura capaz de retener el gas.

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

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

Para que se puedan dar estas reacciones debe existir suficiente amilasa, tanto beta como alfa-amilasa. Si la cantidad de amilasas es insuficiente, muy poco almidón se convertirá en dextrinas y maltosa, lo que resultará en un volumen bajo de hogaza, cortezas huecas y pálidas. Si la masa contiene una cantidad excesiva de amilasas, se transformará una cantidad excesiva de almidón a dextrinas y maltosa, y se tendrá como resultado una masa pegajosa, difícil de manejar y un producto de

fermentación con una textura gomosa y pegajosa. Las dextrinas se caracterizan por absorber y retener mucha agua.

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

3.5.8.7.1.2. USO DE LAS AMILASAS

Las harinas de trigo contienen normalmente suficiente cantidad de beta-amilasa para la conversión de las cadenas largas de amilosa o maltosa, pero son deficientes en alfa-amilasa natural. Esta condición se ha corregido mediante la práctica común de complementar a la harina con concentrados de alfa-amilasa durante la molienda. Esta complementación provee una harina con concentrados de alfa-amilasa durante la molienda. Esta complementación provee una harina que generalmente contiene suficiente alfa y beta-amilasa para la mayoría de los procesos de fermentación. Existen muchas panificadoras que prohíben al molinero la complementación de su harina con amilasas y prefieren complementarla ellos durante sus procesos.

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

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

3.5.8.7.2. PROTEASAS

La acción de las proteasas es más compleja que la de las amilasas. Las proteasas provocan el rompimiento de los enlaces peptídicos en las proteínas y producen un efecto de suavizamiento sobre las masas. Las harinas entregadas por los molineros no contienen proteasas añadidas, tan sólo incluyen las que forman parte de los complementos amilásicos. Muchos productos de fermentación requieren de un complemento de proteasas para facilitar su procesamiento.

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

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

En sistemas esponja-masa, la proteasa tendrá tiempo suficiente para la acción proteolítica, y el efecto será la reducción en el tiempo de mezclado de la masa, además de otros beneficios de suavizamiento durante etapas de fermentación posteriores. En estos sistemas puede reducirse el tiempo de mezclado de la masa hasta en un 25%, cuando las proteasas se añaden a las esponjas.

3.5.8.7.3. HEMICELULASAS

El término pentosa y hemicelulosa son en el lenguaje panadero utilizadas indistintamente y se emplean para describir a los polisacáridos no almidonosos presentes en la harina. Son el grupo funcional menos entendido en la química de los cereales. Las pentosanas son polímeros de pentosas y hexosas usualmente ligadas a una molécula proteica. En la harina panadera las pentosanas se encuentran de un 2 a 4% de las cuales la mitad son solubles. La fracción insoluble es similar a las pentosanas solubles, pero tienen un mayor grado de ramificación. La hemicelulosa actúa como arena rugosa en un sistema de masa al separar la

matriz de gluten resultando en menor retención de gas y masa débil, lo cual da un volumen más bajo al producto terminado.

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

El uso de pentosanas en la industria de la panificación es reciente. Su función original era modificar los filamentos de pentosanas para mejorar la elasticidad del pan de centeno y reducir el "greñado" durante el horneado. Cuando se utilizan en pan de caja, atacan a las pentosanas, aumentando la fracción soluble. La cohesión de la masa se reduce y se vuelve más fluida, permitiendo una mejor maquinabilidad, mayor resistencia a los efectos del manejo de la divisora y un más volumen por el aumento de retención de gas.

3.5.8.8 EFECTOS DEL NIVEL DE OXIDACIÓN SOBRE LA MASA Y LA CALIDAD DEL PAN

Resulta evidente de la explicación anterior de las características de los oxidantes, que el nivel de oxidación es crítico y que podemos tener masas sobreoxidadas o deficientes en oxidación. Por consiguiente, deberán ajustarse apropiadamente las cantidades de oxidantes para producir masas con las características deseadas y productos de la más alta calidad. También debe mantenerse el balance apropiado

matriz de gluten resultando en menor retención de gas y masa débil, lo cual da un volumen más bajo al producto terminado.

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

El uso de pentosanas en la industria de la panificación es reciente. Su función original era modificar los filamentos de pentosanas para mejorar la elasticidad del pan de centeno y reducir el "greñado" durante el horneado. Cuando se utilizan en pan de caja, atacan a las pentosanas, aumentando la fracción soluble. La cohesión de la masa se reduce y se vuelve más fluida, permitiendo una mejor maquinabilidad, mayor resistencia a los efectos del manejo de la divisora y un más volumen por el aumento de retención de gas.

3.5.8.8 EFECTOS DEL NIVEL DE OXIDACIÓN SOBRE LA MASA Y LA CALIDAD DEL PAN

Resulta evidente de la explicación anterior de las características de los oxidantes, que el nivel de oxidación es crítico y que podemos tener masas sobreoxidadas o deficientes en oxidación. Por consiguiente, deberán ajustarse apropiadamente las cantidades de oxidantes para producir masas con las características deseadas y productos de la más alta calidad. También debe mantenerse el balance apropiado

entre los oxidantes de acción rápida y los de acción lenta. Los índices de calidad para masas y panes con una sobreoxidación o falta de oxidación se muestran en la TABLA 6.

Las masas sobreoxidadas se tornan excesivamente tenaces, se resisten a la acción de modelado y se rasgan fácilmente. Las masas pueden fracturarse durante la prueba, debido a la resistencia a la expansión que presenta el gluten. El pan elaborado con estas masas es de volumen reducido, esquinas redondeadas, corteza áspera y desagradablemente greñada. La miga presenta celdillas rotas, puede contener agujeros grandes, la textura es pesada y áspera. Las masas faltas de oxidación presentan los defectos del empleo de harinas débiles.

TABLA 6
PROBLEMAS DE OXIDACIÓN DURANTE LA PRODUCCIÓN DE PAN

FALTA DE OXIDACIÓN	SOBREOXIDACIÓN
MASA	
Débil	Dura
Extensible	Apretada
Suave	Firme
Poca Maquinabilidad	Dura para maquinar
PAN	
Grano disparejo	Grano denso
Volumen pequeño	Volumen pequeño
Corteza débil	Textura áspera
Simetría mala	Greña loca

Manual de Panificación. Grupo Industrial Bimbo, 1993

3.5.8.9 OTROS FACTORES QUE AFECTAN LA OXIDACIÓN

Los ingredientes que contienen grupos sulfhídrico y los agentes reductores interactúan con los oxidantes y aumentan los requerimientos de oxidación. A continuación se enumeran los factores que afectan la oxidación.

1. Sistemas de procesamiento de la masa.

2. Ingredientes:

Células muertas de levadura

Germen de trigo

Harinas diferentes a las de trigo

Agentes reductores

Tipos de harina de trigo

Leche no tratada con calor

Sulfato de hierro

El efecto negativo de la adición de germen se debe en su mayor parte al glutatión presente en el germen. El glutatión aporta grupos sulfhídrico al gluten, debilitador a la masa, provocando su adherencia y su difícil maquinado. Cuando a una masa se agrega más del 5% de germen, es recomendable usar una harina con alto contenido protéico y con una buena tolerancia a la fermentación, ya que el germen suavizará a cualquier masa.

Las células muertas de levadura liberan glutatión, agente reductor que debilitará excesivamente a las masas. Por tanto, siempre se recomienda usar levadura fresca.

La leche no tratada con calor se manifiesta con volúmenes menores en el pan y una masa de consistencia más floja, similar a la obtenida con la adición de cisteína y glutatión. La acción debilitadora de la leche no tratada con calor sugiere que se debe a los grupos sulfhídrico de la cisteína presente en la leche, que con el tratamiento con calor se oxidan a puentes disulfuro más estable.

El sulfato de hierro, sal mineral que se incluye a menudo con la mezcla de adición de nutrimentos a la masa, también exhibe un poder reductor.

El empleo de harinas diferentes a las de trigo requiere ajustes en los niveles de oxidación. Al usarse harinas de soya se debe aumentar el nivel de oxidación.

Las harinas fuertes requerirán un menor nivel de oxidación que las harinas débiles.

3.5.8.10 CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD DEPENDIENTES DE LA OXIDACIÓN

3.5.8.10.1. MEJORA EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS MASAS

Mediante el empleo de agentes oxidantes se fortalecen las masas en varios puntos críticos del proceso. Las masas se vuelven más elásticas, más apretadas, menos pegajosa y exhiben mayor "vida" que otras masas. Asimismo se mejora la retención de gas y la tolerancia contra el colapsamiento debido al abuso físico que sufren las masas durante el proceso. Las masas presentan en general mejores características de maquinado.

3.5.8.10.2. MEJORA LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL.

Gracias a la acción mejoradora de los agentes oxidantes sobre el gluten y las características físicas de las masas, las hogazas resultantes poseerán un mayor volumen, un grano más fino y uniforme, una textura más suave y una mejor simetría.

3.6 LEGISLACIÓN SOBRE OXIDANTES

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

En la legislación de Estados Unidos de América, el "Code of Federal Regulations" (Código de Regulaciones Federales) Título 21 referente a alimentos y medicinas menciona en el apartado 137.155 restricciones para harinas con bromato de potasio. Fija el límite máximo en 50 partes por cada millón de harina. En el apartado 136.110 inciso 14 i referente a productos de panificación, se fija el límite

máximo para el bromato de potasio, bromato de calcio, yodato de calcio, peróxido de calcio o cualquier combinación de alguno de estos en 75 partes por millón de harina, incluyendo la cantidad empleada en la harina. En el inciso 14 ii fija el límite de azodicarbonamida (ADA) en 45 partes por millón de harina.

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

En el proyecto de norma para panificación por parte de la Dirección General de Normas, se contempla la posibilidad de no permitir el uso de bromato de potasio, por las alegaciones de que es una sustancia cancerígena.

Como parte de la estrategia de las empresas de panificación en México está la de penetrar el mercado Estadounidense. Para lo cual es necesario cumplir las normas que se fijan por el CFR, entre las cuales se encontrará la prohibición de uso de bromato de potasio.

Por estas razones es necesario buscar un ingrediente o sistemas de ingredientes que substituyan de manera eficaz al bromato de potasio en productos de fermentación.

4.0 DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 MÉTODOS Y FORMULACIONES

Para el presente proyecto, se utilizará como producto de trabajo, el pan de una (1) libra, el cual debe su nombre al peso final del producto, es de tipo *open top*, es decir, no lleva tapa en el molde durante el horneado, y no lleva ningún tipo de carga (ingredientes que no contribuyen a formar la estructura del producto)

El sistema de producción que se utilizará para este proyecto es el de esponjas líquidas, utilizando la siguiente fórmula experimental.

ESPONJAS

INGREDIENTE	PESO [Kg.]
Harina	1020.000
Agua	1173.000
Levadura	23.130
Sal	3.305
Fosfato Monocálcico	6.630
Cloruro de Amonio	1.650
Bromato de Potasio	0.082

MASAS

INGREDIENTE	PESO [Kg.]
Harina	185.000
Espanja	402.000
Fructosa	28.000
Sal	8.350
Manteca	8.500
Propionato de Sodio	1.000
Datem + enzimas	1.500
Levadura	0.000
Bromato de Potasio	0.035
Gluten	7.000

4.1.1 SISTEMA DE OXIDACIÓN EN FORMULACIONES EXISTENTES

Actualmente las fórmulas que se utilizan en los procesos de fabricación, utilizan el bromato de potasio como único agente oxidante, ya que a la fecha a sido el único ingrediente que ha demostrado ser funcional.

4.1.2 CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD

Los aspectos de calidad del pan están sujetos al cumplimiento de los requerimientos legales, consideraciones en la higiene y las características que influyen en la aceptación del consumidor. Los factores que contribuyen a la calidad del pan están determinados por las características de la materia prima, así como por el proceso de panificación; tanto por la fórmula utilizada como por las condiciones operacionales y de maquinaria y equipo utilizado en las diversas etapas de éste.

Las características del pan que contribuyen a la aceptación del consumidor incluyen lo siguiente:

- 1) Volumen de la hogaza
- 2) Apariencia externa - Forma, color de la corteza
- 3) Textura de la corteza- Suavidad, consistencia.
- 4) Estructura de la miga- Simetría y tamaño de las celdas de la miga
- 5) Textura de la miga- Suavidad o dureza. Prueba, al tacto del consumidor, de la suavidad del producto.
- 6) Color de la miga
- 7) Superficie de la miga uniforme, sin cavernas o túneles
- 8) Sabor
- 9) Rapidez de envejecimiento

Estas características no siempre pueden ser referidas a mediciones objetivas por lo tanto, su evaluación debe ser hecha por comparaciones subjetivas o sensoriales, donde la apreciación del evaluador es fundamental para el análisis de los resultados, partiendo de un "ideal" hipotético de hogaza. Por tanto dividiremos estas características en dos tipos fundamentales, las *Características de Calidad Mesurables*, o *Verdaderas* y las *Características de Calidad Subjetivas o Sensoriales*.

I. Las Características de Calidad Mesurables o Verdaderas pueden ser realizadas a través de instrumentos o equipos que permiten obtener resultado numéricos concretos, estas características son, fundamentalmente:

- *Volumen de la hogaza.* Referida siempre como volumen específico, se trata de la medición del volumen final alcanzado por la hogaza después del horneado en relación con el peso de la pieza. Esta prueba es el punto de partida de cualquier evaluación, ya que el peso influye directamente en el resto de las características, donde un peso mayor al especificado contribuirá a tener mayores volúmenes, celdas de miga cerradas y uniformes, simetría uniforme, etc. por otro lado pesos menores contribuirán en el sentido opuesto.
- *Suavidad de la miga.* Definida como la compresibilidad y recuperación de la miga ante la aplicación de un peso conocido a una velocidad definida; para llevar a cabo esta medición, se cuenta con equipos especiales, tal como el Instron Texture Analyzer o el compresómetro Baker, utilizado en el presente trabajo (según método AACC 7410)
- *Grado de envejecimiento.* Se entiende por éste, las variaciones en la suavidad y humedad del producto terminado, con respecto al tiempo.

II Características de Calidad Sensoriales.

- *Color de la miga.* Establecida a través de la comparación del producto con un estándar que puede ser fotografía o pantón, la comparación de color de la miga con patrones, depende de las condiciones de iluminación del área donde se realiza la evaluación.
- *Estructura de la miga.* Referida al tamaño de las celdas de aire que conforman la miga pueden ser medidas físicamente, sin embargo, en la práctica se realiza a través de la evaluación a la vista, donde se busca una estructura uniforme y

simétrica, agradable. Se puede considerar dentro de este punto, la ausencia de hoyos, túneles y cavernas en la superficie del pan.

4.1.3 SISTEMAS DE EVALUACIÓN DE CALIDAD

En conocimiento de las características de calidad anteriormente mencionadas, y tomando en cuenta aquellas que son influidas directamente por la adición de bromato de potasio o de cualquier otro oxidante. A partir de la investigación bibliográfica y de la experiencia en campo, consideramos los siguientes puntos a evaluar:

- **Volumen Específico.** Esta medición se realiza por desplazamiento de semillas de mostaza, dentro de una cámara en la cual ha sido previamente colocada la pieza a medir. La cámara cuenta con una columna de diámetro reducido (3 cm.) en la cual se ubica una escala en cm. Finalmente el peso (en gramos) se divide entre el volumen obtenido (cm³).
- **Color de la corteza.** Se evalúa por comparación del producto contra el intervalo de colores establecido en la especificación de Pan Blanco de Libra (Grupo Industrial Bimbo, 1990), considerando únicamente dos posibles resultados, aceptable si se encuentra dentro y no aceptable si esta fuera de este intervalo.
- **Grano.** Se compara contra la especificación de Pan Blanco de Libra (ibídem), otorgando dos calificaciones: aceptable y no aceptable.
- **Calificación.** Se obtiene considerando estas y otras características contempladas en el procedimiento de evaluación sensorial (Grupo Industrial Bimbo 1988) que contempla una escala arbitraria del 0 al 5, donde se penalizan las diferentes fallas de calidad, según puntuación establecida, dando al final un valor

numérico. De estos valores se obtiene la media aritmética considerando el número de muestras para cada repetición de una sola corrida. Es decir:

$$C_n = 5 - \sum f$$

en donde C_n = calificación por pieza

f = puntos penalizados según criterio de evaluación sensorial
(0.2-1.0)

por lo que:

$$\text{Prom}C_n = (\sum C_n) / n$$

en donde $\text{Prom}C_n$ = Promedio aritmético para una corrida

n = número de muestras por corrida

de tal forma que:

$$\text{Calificación} = (\sum \text{Prom}C_n) / k$$

en donde k = número de corridas por prueba

4.2 MODELO EXPERIMENTAL

- Tomando en cuenta que las principales fallas de calidad que se resaltan en los productos sin bromato de potasio, son:

Producto asimétrico

Corteza manchada o pálida

Estructura de miga poco uniforme

Se establece como constante para todos los sucedáneos a probar las siguientes condiciones:

- La calidad de las harinas, el cual como ya vimos es un punto fundamental dentro del presente proyecto, se toma como harina de prueba la Cargill panadera Tipo I de alta proteína (13 % de proteína) y con 5 días de reposo. Se tomará harina del mismo lote para cada prueba y se harán en una sola tarde, para que se tenga el mismo tiempo de reposo en todas las pruebas.
- Los niveles de fermentación de la harina, tanto la proporción de harina fresca:harina fermentada (1:1), como las condiciones de fermentación, a saber:

PARÁMETRO	VALOR
Tiempo	180 min
pH final	4.80
pH inicial	6.50

- Las condiciones de proceso se mantendrán para el caso del laboratorio constantes, a fin de establecer criterios de actuación que se reflejen en la planta piloto.

- Se establecen como condiciones de proceso fijas, para evitar sesgos en los resultados, las siguientes variables:

VARIABLE	VALOR ESPECIFICADO
Peso de masa por pieza	480 g
Tiempo de cámara (min)	65 minutos máx.
Temperatura de prueba final	45 °C
Tiempo de horneado	21 minutos
Temperatura de emboisado	36 °C

4.2.1 INGREDIENTES A EVALUAR

Se realizó una investigación bibliográfica de los productos existentes en el mercado, así como una consulta con nuestros principales proveedores de acondicionadores de masas, identificándose que los diferentes productos se podían resumir en principios activos.

Los ingredientes se presentan bajo nombres arbitrarios asignados, cuando se trata de productos originales, ya que se considera que su publicación es derecho reservado de la empresa.

Principio Activo	Dosificación
Ácido Ascórbico + ADA	27 ppm
	33 ppm
	55 ppm
Ácido Ascórbico + Alfa Amilasas	0.50
	0.60
	1.00
Datem + Enzimas Gamma	0.30%
	0.50%
	0.75
Azodicarbonamida	85 ppm
	100 ppm
	200 ppm
Ácido Ascórbico recubierto	60 ppm
	100 ppm
	200 ppm
Ácido Ascórbico	100
	150
	200
Datem + Monoglicéridos.	0.30%
	0.40%
	0.50%
Datem + Enzima Gamma 2	0.25%
	0.50%
	0.75 %
KBrO3 (Control)	65 ppm
S/Bromato (Testigo)	0
Enzima Beta	25
	35
	55

4.2.2 LABORATORIO

4.2.2.1 DISEÑO DE PRUEBAS

- Se realizarán 4 panes de cada prueba y 2 repeticiones para tener un total de ocho piezas a evaluar.

- Las pruebas se realizarán siguiendo el orden del panel de pruebas, una vez terminado el total de pruebas, se correrán las repeticiones.
- Las dosificaciones utilizadas son las recomendadas por los fabricantes de los diversos ingredientes a utilizar, ya que la experiencia en su manejo es casi nula.
- Los ingredientes utilizados deberán presentar certificado de calidad de origen, a fin de establecer las características de calidad desde el inicio, por lo cual al final del proyecto se deberán presentar especificaciones y solicitar alta en el catálogo de ingredientes autorizados.

4.2.2.2 RESULTADOS

Los resultados obtenidos después de realizar las pruebas de laboratorio son:

RESULTADO DE PRUEBAS DE LABORATORIO					
Producto	Dosificación	Grano	Color	Vol. Espec. g/cm. ³	Calificación
Ácido Ascórbico + azodicar- bonamida	27 ppm	No aceptable	No aceptable	5.33	3.69
	33 ppm	No aceptable	No aceptable	5.41	3.25
	55 ppm	No aceptable	Aceptable	6.33	2.35
Enzima Beta 2	0.50	Aceptable	Aceptable	5.90	3.91
	0.60	Aceptable	Aceptable	5.70	3.85
	1.00	Aceptable	Aceptable	5.60	3.20
Datem + Enzimas Gamma	0.30%	Aceptable	Aceptable	6.45	4.10
	0.50%	Aceptable	Aceptable	6.71	4.63
	0.75	No Aceptable	Aceptable	5.23	2.35
Azodicarbonamida	85 ppm	No Aceptable	Aceptable	5.95	3.96
	100 ppm	Aceptable	Aceptable	6.67	3.14
	200 ppm	Aceptable	Aceptable	6.30	3.31
Ácido Ascórbico recubierto	60 ppm	No Aceptable	No Aceptable	5.91	3.87
	100 ppm	Aceptable	Aceptable	7.35	4.38
	200 ppm	Aceptable	No Aceptable	5.78	4.03

RESULTADO DE PRUEBAS DE LABORATORIO					
Producto	Dosificación	Grano	Color	Vol. Espec. g/cm ³	Calificación
Ácido Ascórbico	100	No Aceptable	No Aceptable	5.99	3.86
	150	Aceptable	Aceptable	6.15	3.21
	200	Aceptable	Aceptable	6.04	3.92
DATEM + Monoglicéridos.	0.30%	No aceptable	No aceptable	5.86	3.92
	0.40%	No aceptable	No aceptable	5.94	3.52
	0.50%	No aceptable	No aceptable	5.95	3.24
DATEM + Enzima Gamma 2	0.25%	Aceptable	Aceptable	6.45	3.6
	0.50%	Aceptable	Aceptable	6.23	3.08
	0.75 %	Aceptable	Aceptable	6.59	3.05
KBrO3 (Control) S/Bromato (Testigo)	65 ppm	Aceptable	Aceptable	6.13	5
	0	No aceptable	No aceptable	5.89	3.56
Enzima Beta	25	Aceptable	Aceptable	7.27	4.09
	35	Aceptable	Aceptable	7.65	4.02
	55	Aceptable	Aceptable	6.81	3.15

4.2.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de la tabla de resultados anterior, podemos concluir lo siguiente:

- El pan con bromatos presentó un buen aspecto en relación con el resto de los panes, lo cual refleja que se tuvo representatividad en las pruebas, ya que por otro lado el pan sin bromatos presentó mala calidad.
- Se encontró que el producto con mejor calificación y volumen es el obtenido con Datem + enzimas Gamma, en sus dos presentaciones, excepto para la

dosificación máxima (0.75%) por lo cual se puede pensar en un riesgo de sobre dosificación, el cual provoca un pan con bajo volumen y color ligeramente variado. Esto debido probablemente en la excesiva oposición de la masa al crecimiento, por la rigidez de la estructura que se logra.

- El siguiente producto que se considera adecuado o de alta calificación es el obtenido con ácido ascórbico recubierto, el cual produjo un pan consistente a lo largo de las tres dosificaciones, presentando resultados notables sobre todo para una dosificación media (100 ppm), en el caso de dosificaciones mayores se presenta el riesgo de tener masas duras a la salida de la mezcladora, lo cual "enmascara" el nivel de desarrollo de las masas, así como presentar problemas de modelado y depositado debido a que la masa es tenaz y se opone a la formación del camote, dando como resultado hogazas asimétricas. Es relevante, también, el hecho de que se tiene que ser cuidadoso en el control de las temperaturas de la masa a la salida de la mezcladora, y durante la prueba final, ya que temperaturas elevadas hacen que reaccione anticipadamente el ácido, provocando que se agote en etapas tempranas del proceso y no se tenga el efecto de reforzamiento cuando más se requiere, (etapa última de la cámara de vapor e inicio del horneado).
- El pan con ácido ascórbico regular, es decir sin recubrir, no produjo un jalón en el horno similar al obtenido con Datem + enzimas, con su similar recubierto o con bromato de potasio, esto debido a que se ha agotado completamente antes de la entrada a la cámara, debido a que su temperatura de actuación es baja, reaccionando antes de que se requiera el refuerzo adicional. Cantidades superiores presentan el inconveniente bien conocido del ácido ascórbico de formar masas de difícil modelado, es decir, tenaces.

- La Enzima Beta en sus dos presentaciones demostró ser funcional, sin embargo, se debe optimizar la dosificación, los resultados fueron lo suficientemente satisfactorios, para llevarlos a planta, ya que el pan presenta una calidad aceptable en todos los puntos evaluados.
- Por otro lado, el Azodicarbonamida dio buenos resultados, sin llegar a ser excelentes, por tanto se tratará de desarrollar con los proveedores un programa de pruebas para optimizar su uso, ya que dan un resultado razonablemente aceptable, aunque quizá la falta de uso de este ingrediente pueda
- Se descartó el Datem + Monoglicéridos, debido a que no se recomienda para panes, ya que incluye el suavizante en su formulación, y por tanto requiere de un desarrollo más complejo de nivel suavizante-reforzador, y puesto que el Datem + enzimas es un producto muy similar, se continuará utilizando éste como ingrediente de referencia, y posteriormente se pueden hacer.
- El ácido ascórbico mas azodicarbonamida tuvo resultados no aceptables en prácticamente todos los puntos evaluados

De tal forma, se llevará a planta los siguientes ingredientes:

ENZIMA BETA

ENZIMA BETA 2

DATEM + ENZIMAS GAMMA

DATEM + ENZIMAS GAMMA 2

ÁCIDO ASCORBICO RECUBIERTO

4.2.3 PLANTA

4.2.3.1 DISEÑO DE PRUEBAS

El siguiente paso fué probar los ingredientes en un proceso a gran escala, ya que las condiciones bajo estas circunstancias son mas severas. Los parámetros de proceso empleados, siguen siendo los mismos que los especificados para las pruebas en laboratorio. La evaluación seguirá siendo bajo el mismo procedimiento.

Como la población a medir es muy grande (1,200 piezas por prueba), se realiza un muestreo que sea representativo, es decir, que la muestra que se ha escogido contenga la naturaleza de la población (en número y características). Se seleccionó un método de muestreo sistemático, el cual consiste en dividir el número de piezas a muestrear entre el tiempo en que se producen. El tiempo en que se elabora una masa de pan de una libra es de 15 minutos.

En este caso se realizaron 2 repeticiones, por limitación en el tiempo disponible en la línea, y se tomaron 40 muestras de cada una, obteniendo el número de muestras a partir de la siguiente fórmula, considerando que trabajamos con una población con distribución normal:

$$n = [z (\alpha/2) \sigma / E]^2$$

En donde: n = No. de muestras
 z = Distribución de densidad normal tipificado
 σ = Desviación estándar

α = Probabilidad de error

E = Máximo error estimado

De donde, para $z (\alpha/2) = 1.96$ (de tabla de distribución normal)

E = 0.25 (Error máximo)

$\alpha = 0.05$ (para una confiabilidad del 95 %)

$\sigma = [(Xi - Xprom) / (i - 1)]^2 = 0.78$ (1)

$i = 1,200$ piezas

n = 38 piezas

por lo tanto, si:

$\theta = t / n$

θ = Tiempo entre muestras

t = Tiempo total de producción de la población

n = número de piezas a muestrear

entonces para. $n = 40$ piezas

t = 900 seg.

$\theta = 22.5$ seg

Nota (1) La desviación estandar del volumen específico para la línea de Panes en Marinela de Baja California es un parámetro conocido. Se determina cuando se pone en marcha la línea y se monitorea el primer año de producción, tiempo durante el cual se realizó este trabajo.

4.2.3.2 RESULTADOS

Después de realizar las pruebas en planta se obtuvieron los siguientes resultados:

RESULTADOS DE PRUEBAS EN PLANTA					
Ingrediente	Dosificación	Grano	Color	Volumen [g/cm. ³]	Calificación
Enzima Beta	25 ppm	Aceptable	No aceptable	5.9	3.5
Enzima Beta	50 ppm	Aceptable	No aceptable	5.8	3.5
Enzima Beta	75 ppm	Aceptable	Aceptable	5.9	3.9
Enzima Beta 2	20 ppm	No aceptable	No aceptable	5.6	3.4
Enzima Beta 2	40 ppm	Aceptable	No aceptable	5.9	3.5
Enzima Beta 2	60 ppm	Aceptable	No aceptable	6.1	3.6
Datem + Gamma 2	0.5 %	Aceptable	No aceptable	5.1	4.2
Datem + Gamma 2	0.6%	No aceptable	No aceptable	5.5	4.1
Datem + Gamma 2	0.75%	No aceptable	No aceptable	5.8	3.9
Datem + Gamma	0.5 %	No aceptable	No aceptable	6.2	4.1
Datem + Gamma	0.6 %	No aceptable	No aceptable	6.5	3.9
Datem + Gamma	0.75 ppm	No aceptable	No aceptable	6.1	3.9
Ac. Ascorbico Rec.	100 ppm	No aceptable	No aceptable	6.0	4.5
Ac. Ascorbico Rec.	150 ppm	Aceptable	Aceptable	6.1	4.6
Ac. Ascorbico Rec.	200 ppm	Aceptable	Aceptable	6.3	4.8

4.2.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos en planta piloto, se puede concluir lo siguiente:

- El ácido ascórbico recubierto, demostró ser la alternativa más funcional como sustituto de bromato, ya que cumple satisfactoriamente con las funciones de éste ingrediente, su precio es superior, aunque es promedio dentro de lo que se tiene para sustitutos, se puede tomar como una alternativa el combinarlo con enzima beta, para abatir el costo, ya que la enzima beta se utiliza en menor proporción.

- El Datem + Enzimas, cumple con su función de reforzador, sin embargo no ha demostrado ser una buena alternativa para el uso de Bromato de Potasio, lo que si se puede afirmar, es que seguramente se requerirá utilizar este ingrediente como reforzador de fórmulas en las que no esta autorizado, como es el caso del pan blanco.

- La enzima enzima beta, no ha demostrado ser una buena alternativa al Bromato de Potasio, la palidez del pan es excesiva, sin embargo, esta situación se cree que se debe a una sobre dosificación, ya que esta enzima trabaja sobre los azúcares, oxidándolos y esto inhibe la reacción de caramelización provocando manchas blancas en la corteza del pan, probablemente una mezcla de glucosa oxidasa, mas pentosanasa y ácido ascorbico regular, puedan ser una alternativa mas viable, sin embargo, se requiere de una investigación a fondo al respecto, ya que no existe un producto en el mercado con esta mezcla.

5 CONCLUSIONES

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

La solución de problemas enfocados hacia el mejoramiento de los productos que se presentan a los consumidores representan un reto tecnológico; la industria panificadora, siendo un campo tradicionalmente manejado en forma artesanal, se enfrenta a un reto mayúsculo al tener que sustituir aditivos cuya influencia en la salud del consumidor es actualmente cuestionada.

En este contexto, la inclusión de profesionistas altamente capacitados y la investigación bajo una metodología científica, es una oportunidad a la vez que una necesidad imperante.

En el desarrollo de este trabajo se tuvo que conjugar la experiencia pragmática tanto de maestros panaderos, como de profesionistas con la visión suficiente para abstraer esta experiencia y encuadrarla en un marco técnico para obtener resultados altamente funcionales en el campo y de validez universal.

Las restricciones que se encontraron durante el desarrollo de este proyecto, son normalmente las que plantea la elaboración de pruebas representativas y reproducibles, a la par de mantener una producción continua y oportuna; los costos de este tipo de investigación, mas que enfocados hacia el aspecto económico que representan la repetición constante de pruebas y el posible fracaso de éstas son los que se tendrían al no contar con un resultado óptimo y oportuno. Es posible encontrar soluciones fáciles, de primera instancia proporcionada por proveedores o literatura, sin embargo, cada sistema tiene condiciones específicas, tanto por la variación en las materias primas utilizadas, como por las condiciones de maquinaria, equipo, e inclusive ambientales.

La investigación bibliográfica, proporcionó la suficiente información para detectar la acción dentro del proceso de panificación así como el status legal del bromato de potasio y esto fue el punto de partida para establecer las características del ingrediente que pudiera sustituirlo.

El desarrollo experimental enfrentó serias dificultades, al tener que ser rápido y representativo a la vez, la elaboración de pruebas en laboratorio, constituyeron una herramienta básica para comprender el probable comportamiento del ingrediente alterno en planta, más como una proyección que como encontrar las condiciones reales de trabajo en planta, es decir se debe de observar y analizar el desarrollo en laboratorio, para después en la planta aplicar esta experiencia. Hay pequeños detalles en el laboratorio que en la planta se pueden convertir en grandes problemas, la habilidad del investigador en la correlación de estas observaciones, pueden marcar la diferencia entre un resultado óptimo y seguir el camino difícil.

De la experiencia en planta, es conveniente hacer notar que el rigor estadístico estado por las condiciones en que se encuentre la línea, primero debemos contar con un proceso controlado, que nos permita la reproducción de resultados y posteriormente conocer los factores estadísticos propios de la línea, los cuales son establecidos al arranque, el no contar con estos datos se puede provocar que el número de repeticiones sea un factor importante, ya que como se mencionó anteriormente, no es fácil detener la operación por períodos prolongados.

El resultado obtenido e implementado, para la sustitución del bromato de potasio como oxidante en la fórmula de pan blanco, es ampliamente satisfactorio. El ácido ascórbico recubierto, ha representado una alternativa que tolera las variaciones

normales a las que esta sometido el proceso de panificación bajo diferentes condiciones y a la vez cumple con la necesidad de tener un ingrediente que esta dentro de la normatividad internacional.

En resumen la adecuación de las condiciones de trabajo como tiempo, materias primas, formulación, etc., al método de trabajo seleccionado será la parte fundamental y el punto sobre el cual girará la validez universal de los resultados obtenidos. La estrechez exagerada en la concepción del método científico puede ser tan nociva para los resultados como el abuso del pragmatismo, sobre todo en un área como la panificación, en donde se inicia la convergencia de la ciencia con el trabajo meramente artesanal.

Finalmente, este trabajo pretende demostrar que el profesionista en el área de la Química cuenta con las suficientes herramientas y habilidades para ser parte fundamental en el desarrollo de la industria nacional en esta época en la que se requieren cambios radicales, firmes y rápidos.

6 BIBLIOGRAFIA

(1) Pomeranz, Y: Wheat: Chemistry and Technology Vol I, Tercera Edición 1988, American Association of Cereal Chemists, Inc. 1-2

(2) Cal A: El mejoramiento de harinas. Pan 1990; (443 Septiembre): 40-43.

(3) Ranhotra G: Contribution of wheat to human nutrition. AIB Technical Bulletin 1992; 14(2): 1-7.

(4) Pyler, E.J. Baking Science & Technology, Siebel Publishing Company 1973,

(5) Matz, Samuel A. Formulas and processes for bakers, 1987

Regulatory Impact Analysis Statement

Regulatory Proposal For Withdrawal Of Permissionfor Use Of Potassium Bromate
In Foods Sold In Canada.

Bcc Oficial Representatives, May 6, 1993

Current Status On The Use Of Bromate In Flour And Bread.

Technical Bulletin, Atochem Elf-Aquitaine

Guide To U.S. Food Labeling Law

April 1993, Extract, Pp 119-120

Aib Technical Bulletins

A) Replacement Of Potassium Bromate In White And Variety Breads

Ranhotra Gur, Vol. Xii, Issue 7, July, 1991

B) Oxidation In Baking Processes

Dubois, Donald, Vol. Iii Issue 6 June, 1981

Aib Reports

Comparison Of Three Forms Of Ascorbic Acid In White Pan Bread

Additives: Changing Status

**State And Federal Actions Are About To Impact On The Regulatory Position
Of Commonly Used Baking Additives**

Suit For Suitable Potassium Bromate Replacement Reviewed At A.S.B.E. Meet

Milling And Baking News, March 17, 1992

Higher Assay Grade Of Calcium Peroxide Improves Properties Of Dough

Robert E. Tieckelmann Et Al, Food Technology, January 1991

Oxidation Update

Tomas F. Spooner, Baking & Snack, December 1991

Applications Of Glucose Oxidase

Scott, Don, Enzymes In Food Processing, 2° Edition , 1975 Academic Press Inc.

Adios Al Bromato

Editorial, Noticias Techipan, Año III, No 143, Febrero De 1992

Report On The Review Of The Use Of Potassium Bromate In Food

Fdac/Rep/7, 1989, Food Advisory Committee, Ministry Of Agriculture Fisheries & Food

Pentosans In Wheat Flour And Their Effect In Baking

Hvh/Brl, 10.03.92, Grindsted Technical Paper