

300627
20
24



UNIVERSIDAD LA SALLE

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

**" DETERIORO DEL PAN. PROPIEDADES
FISICOQUIMICAS."**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICO FARMACEUTICO BILOGO
P R E S E N T A :
ARMANDO MALDONADO TAPIA

MEXICO, D. F.,

1987



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

| | Página |
|---|--------|
| INTRODUCCION | 1 |
| REVISION BIBLIOGRAFICA | 4 |
| I. El Pan. Generalidades | 4 |
| 1. Componentes del Pan y su Funcionalidad | 4 |
| A. Carbohidratos | 5 |
| B. Proteínas | 5 |
| C. Lípidos | 7 |
| 2. Agentes Acondicionadores de la Masa | 9 |
| A. Oxidantes | 9 |
| B. Surfactantes | 12 |
| C. Agentes Mejorantes | 15 |
| D. Enzimas | 16 |
| 3. Propiedades Reológicas | 18 |
| A. El Mezclado | 18 |
| B. Farinógrafo | 20 |
| C. Mixógrafo | 21 |
| II. El Deterioro del Pan | 24 |
| 1. Firmeza | 24 |
| 2. Efecto de la Temperatura de Almacenamiento | 27 |
| 3. Cambios en el Almidón Durante el Deterioro | 28 |
| 4. Efecto de la Proteína | 31 |
| 5. Efecto de las Enzimas | 32 |
| 6. Efecto de los Surfactantes | 34 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| MATERIALES Y METODOS | 36 |
| 1. Materia Prima | 36 |
| 2. Preparación de Mezclas | 37 |
| 3. Propiedades Reológicas | 38 |
| A. Mixografía | 38 |
| B. Farinografía | 40 |
| C. Absorción de Agua | 40 |
| 4. Elaboración del Pan | 42 |
| A. Formulación | 42 |
| B. Método de Panificación | 43 |
| 5. Evaluación de Peso y Volumen | 44 |
| 6. Almacenamiento | 44 |
| 7. Medición de Firmeza | 44 |
| 8. Análisis Químico | 45 |
| A. Humedad | 46 |
| B. Proteína | 46 |
| C. Cenizas | 46 |
| 9. Análisis Estadístico | 46 |
| RESULTADOS Y DISCUSION | 48 |
| CONCLUSIONES | 72 |
| BIBLIOGRAFIA | 74 |

LISTA DE CUADROS

Página

| | |
|--|----|
| 1.- Efecto de la adición de diferentes agentes en los parámetros mixográficos..... | 49 |
| 2.- Análisis químico de las harinas control y sus mezclas con gluten..... | 51 |
| 3.- Volumen específico de los panes control y sus tratamientos..... | 52 |
| 4.- Efecto de la adición de diferentes agentes en los parámetros farinográficos..... | 54 |
| 5.- Análisis químico de los panes control y panes con gluten..... | 57 |
| 6.- Valores de firmeza para el pan Sansón..... | 63 |
| 7.- Valores de firmeza para el pan Rosa B..... | 64 |

LISTA DE FIGURAS

Página

- 1.- Diagrama esquemático mostrando las medidas de un mixograma..... 39
- 2.- Diagrama esquemático mostrando las medidas de un farinograma..... 41
- 3.- Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el deterioro de pan en harinas Sansón y Rosa B..... 59
- 4.- Efecto de la adición de proteína, surfactante y mejorante sobre el aumento en firmeza para pan Rosa B. a 20°C..... 61
- 5.- Efecto de la adición de proteína, surfactante y mejorante sobre el aumento en firmeza para pan Rosa B. a 5°C..... 62
- 6.- Influencia de la adición de proteína a la harina Sansón y Rosa B. sobre el aumento en firmeza de pan a 20°C..... 66
- 7.- Efecto de la adición de surfactante, proteína y mejorante sobre el aumento en firmeza para pan Sansón a 20°C..... 69
- 8.- Efecto de la adición de surfactante, proteína y mejorante sobre el aumento en firmeza para pan Sansón a 5°C..... 70

INTRODUCCION

Todos los productos horneados de panificación que poseen un migajón esponjoso sufren una progresiva disminución en calidad, que afecta el aroma, sabor y textura, esto es debido a una serie de complejos cambios fisicoquímicos que en conjunto producen el deterioro no microbiológico del pan.

Este deterioro es de gran importancia económica ya que, en el caso de una producción de pan en forma mecanizada, el pan blanco presenta como máximo, una vida de anaquel de dos días. Mientras que en las panaderías artesanales como la mayoría de las que existen en nuestro país, la vida de anaquel es de sólo un día, después del cual ya no es aceptado por el consumidor, ésto implica grandes pérdidas para los productores de pan.

Las características referentes a la textura del pan y los cambios en la firmeza de la miga durante el almacenamiento han sido objeto de numerosos estudios, principalmente con lo referente al fenómeno del deterioro y para ello se han aplicado diversas técnicas e instrumentos que hacen muy difícil la comparación de los resultados publicados.

El problema del deterioro del pan, aun cuando se ha investigado repetidamente, es objeto de controversias y especulaciones, además ninguna teoría sobre este proceso se ha aceptado por la mayoría de los investigadores. Por lo tanto existen diferencias

en la interpretación de resultados, principalmente aquellos que involucran la influencia del almidón y la proteína sobre el deterioro.

Como consecuencia de la dificultad que presenta el estudiar a los componentes aislados que forman parte del pan y sus interrelaciones, se han conseguido relativamente pocos progresos en la solución de este problema y los avances se centran en retardar la velocidad de endurecimiento mediante el uso de agentes ablandadores, temperaturas de almacenamiento y materiales de empaque que ayuden a una mejor conservación del pan. Se ha indicado que factores como la formulación e incluso el método de elaboración del pan influyen en la velocidad de endurecimiento por lo cual un pan bien formulado y elaborado correctamente tenderá a presentar un menor deterioro en comparación con un pan mal elaborado.

Las propiedades reológicas de la masa, se han utilizado como parámetro útil para determinar la calidad de las harinas y evaluar los ingredientes añadidos para mejorar la masa. Estas propiedades son importantes ya que ayudan a predecir las características del producto final bajo las condiciones de experimentación.

Por lo tanto, el presente estudio pretende cumplir con los siguientes,

Objetivos:

- Determinar el efecto de la adición de un surfactante, mejorante y de gluten en la formulación de pan blanco, medido sobre su deterioro como aumento en firmeza, a dos temperaturas de almacenamiento.
- Evaluar la influencia que tienen los agentes antes mencionados sobre las propiedades reológicas de la masa y de esta manera determinar las condiciones óptimas de mezclado, en cada harina utilizada, para lograr desarrollar una buena masa para panificación.
- Establecer si existe una relación entre el mejoramiento de las propiedades reológicas de la masa y la disminución en firmeza del pan durante su almacenamiento.

REVISION BIBLIOGRAFICA .

I. El Pan. Generalidades.

El pan básicamente es el resultado del horneado de una masa que se ha fermentado previamente, y contiene por lo menos los siguientes ingredientes: harina de trigo, agua, levadura y sal.

Para poder obtener un pan de buena calidad, en cuanto a las características aceptadas por el consumidor como lo son el color, el volumen, el sabor y el aroma principalmente, es necesario lograr una buena interacción entre los componentes de la harina y esto es posible mediante un mezclado correcto que conduce al desarrollo óptimo de la masa panificable.

Debido a las características propias de los ingredientes de la harina es importante saber que función desempeñan cada uno en el proceso de la panificación.

1. Componentes del Pan y su Funcionalidad.

Los principales constituyentes de la harina de trigo que juegan un papel importante en panificación son: los carbohidratos, las proteínas y los lípidos.

A. Carbohidratos.

Almidón.- El almidón es el mayor componente de la harina de trigo, su rango está comprendido entre el 65 y 70%. El gránulo de almidón consiste de dos compuestos: amilosa y amilopectina, en una relación 1:3. La amilosa es esencialmente una cadena lineal, pero la amilopectina es altamente ramificada (74).

Las propiedades del almidón son muy importantes en los productos de panificación (71). El almidón proporciona al pan maltosa mediante la acción de las amilasas para la fermentación, proporciona también una superficie adecuada para lograr una fuerte unión con el gluten, proporciona flexibilidad para la expansión de la hogaza mediante la gelatinización parcial. Durante el horneado se establece la estructura de la hogaza al formar una malla rígida que previene el colapso de la misma al enfriarse (74).

B. Proteínas.

La característica que poseen las harinas de trigo al ser mezcladas con agua para formar una masa viscoelástica que en el horno es transformada en pan, depende principalmente de las propiedades fisicoquímicas de sus proteínas. Durante el mezclado con agua, las proteínas se hidratan y se asocian con ellas mismas y con otros componentes de la harina como carbohidratos y lípidos para formar la matriz del gluten; la cual da la estructura de la masa. Las características importantes en el pan como son la textura y el grano de la miga dependen de la habilidad del gluten

para formar la estructura de las celdas de gas, que son fijadas en la forma rígida de la hogaza mediante el calor durante el horneado (14).

El potencial panadero de una harina de trigo depende tanto del contenido como de la calidad de las proteínas, dicho contenido es referido como la "fuerza" de una harina y es una medida de la capacidad de la misma para producir un pan bien definido y de buen volumen.

Dentro de una misma variedad de trigo, el volumen del pan es directamente relacionado con el contenido de proteína, es decir, a mayor contenido de proteína en la harina, se obtendrá un mayor volumen en el pan (14, 15, 65).

Las proteínas de trigo se clasifican en base a su solubilidad en cuatro clases: solubles en agua (albúminas), solubles en solución salina (globulinas), solubles en alcohol (gliadinas) y las solubles en ácido y álcali (gluteninas) (15,22). Las principales proteínas que forman al gluten son la gliadina y la glutenina (15).

- Grupos Sulfhidrilo y Disulfuro.

Dentro de los grupos reactivos de las proteínas que forman el gluten, los más importantes son los grupos sulfhidrilo y disulfuro. Esta importancia se basa en el hecho de que su presencia puede ser alterada en cuanto a cantidades mayores o menores de uno de los dos grupos, lo cual ofrece un medio para controlar el desarrollo de la masa durante el mezclado y la subsecuente realización del máximo potencial de volumen en el pan (14). Los grupos SH- se encuentran principalmente en las

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

La calidad del gluten parece estar basada en su estructura molecular: los enlaces cruzados y el enroscamiento de las largas cadenas de moléculas de proteína ó sus agregados proveen la elasticidad necesaria mientras que la fluidez viscosa se debe al agua, a los lípidos y a la proporción del intercambio reversible de uniones en la estructura conectada (60). Durante el mezclado, los grupos SH- facilitan el desarrollo de la masa por contribución a la fluidez mediante la iniciación de reacciones de intercambio por medio de la reducción de grupos S-S de la glutenina (14).

C. Lípidos.

Los lípidos presentes en la harina de trigo se encuentran en concentraciones de 1.4 a 2% y se dividen en polares y no polares en cantidades aproximadamente iguales (64).

Otra clasificación de los lípidos se basa en su solubilidad, y pueden ser lípidos libres ó lípidos ligados (principalmente ligados a proteínas). Los lípidos libres pueden ser extraídos con

solventes no polares como el éter, los lípidos ligados se extraen con solventes polares como una mezcla de cloroformo-metanol-agua (65).

Los lípidos polares presentan propiedades surfactivas y promueven la formación de espumas mediante un efecto estabilizador de éstas, mientras que los lípidos no polares son inhibidores de las espumas.

Una de las teorías que describen la función de los lípidos en la elaboración de pan, es el modelo de Grosskreutz (32); en este modelo las cadenas de proteína se encuentran unidas mediante sus grupos básicos con los grupos ácidos de los fosfolípidos. Los lípidos polares ayudan a integrar a los lípidos no polares en la red del gluten, proporcionando de ésta manera una especie de lubricación en esta estructura, haciéndola más extensible y por lo tanto mayormente capaz de mantener la estructura de la masa del pan en las operaciones de moldeo, recuperación y horneado.

El complejo de gluten bien desarrollado, es de naturaleza membranosa y contiene lípidos como parte integral de su estructura (60). El simple humedecimiento de la harina aumenta la unión de los lípidos principalmente a las proteínas y el subsecuente mezclado para desarrollar la masa fortalece esa unión (22). Durante el mezclado, el tamaño de los agregados protéicos disminuye (85), al mismo tiempo los lípidos que normalmente pueden ser extraídos de la harina con solventes no polares se encuentran ligados (93). La cantidad de lípidos libres disminuye como conse-

cuencia inmediata de agregar agua a la harina aun sin trabajo mecánico (mezclado) (24), la unión de los lípidos aumenta al irse mezclando la masa hasta su óptimo desarrollo (23).

Está ampliamente aceptada (65) la importancia de la interacción almidón-lípido-proteína, sin embargo la complejidad del sistema ha limitado su conocimiento. Durante el desarrollo de la masa los lípidos interactúan principalmente con el gluten, promoviendo de esta manera la retención de gas en la masa. Durante el horneado, los lípidos interactúan principalmente con el almidón, lo cual gobierna en amplio grado la retención de la frescura en el pan horneado (66).

Las interacciones parecen ser el secreto de la efectividad en las propiedades funcionales de los lípidos polares en panificación. Para que existan esas interacciones, los lípidos deben tener la ayuda de una proteína de buena calidad (66).

2. Agentes Acondicionadores de la Masa.

A. Oxidantes.

El principal propósito del uso de agentes oxidantes en la masa, es regular la extensibilidad y propiedades de retención de gas del gluten como una forma de obtener un producto con el máximo volumen posible sin dañar la finura del grano de la miga (79). El gluten puede presentar características fisicoquímicas muy variadas dependiendo de la naturaleza de las proteínas y de los tipos de enlaces existentes en ellas.

Las uniones disulfuro proporcionan a la masa las características de buena elasticidad y cohesión, mientras que los grupos sulfhidrilo contribuyen a la alta extensibilidad y poca resistencia. Durante el proceso de mezclado se produce la ruptura de los enlaces disulfuro a grupos sulfhidrilo, estos grupos facilitan el desarrollo de la masa al contribuir a la fluidez. Cuando la estructura de la masa se ha desarrollado hasta su punto óptimo, debe ser estabilizada removiendo los grupos sulfhidrilo, esto se logra agregando a la masa los agentes oxidantes (14).

Jackel (37) indicó que es la forma oxidada de los diversos agentes oxidantes, el compuesto activo que realiza el proceso oxidativo en las harinas. Generalmente se desprende oxígeno que reacciona con los grupos sulfhidrilo de las proteínas del gluten y provoca su oxidación, lo cual da origen a nuevos enlaces disulfuro intermoleculares, esto le proporciona más fuerza a la estructura y mejora las propiedades de resistencia y elasticidad de la masa. La sensibilidad de la malla de proteína a la oxidación es un factor importante en la calidad del pan, la conversión del aminoácido cisteína en cistina, con la formación de enlaces disulfuro adicionales entre las cadenas de las moléculas de proteína en la malla, es una explicación lógica para la rigidez de la masa inducida por los agentes oxidantes de harina (10).

La presencia de cierta proporción de grupos SH- se requiere para obtener un levantamiento satisfactorio de la masa durante el tiempo de recuperación de la misma y en las fases iniciales del horneado (39,96).

- Aspectos químicos de la oxidación.

El mecanismo de acción de algunos de los agentes químicos oxidantes utilizados en panificación es el siguiente:

A) Bromato de potasio.- el bromato de potasio actúa fundamentalmente en las últimas etapas del proceso de panificación, una vez que la levadura ha realizado su acción fermentativa y que el pH ha alcanzado un valor cercano a 5.5 favoreciendo así su activación. Reacciona lentamente en condiciones ambientales, sin embargo en el horno se activa intensamente formando bromuro de potasio y liberando oxígeno, el cual provoca la oxidación de los grupos SH- del gluten.

B) Acido ascórbico.- aunque el ácido ascórbico químicamente es un reductor, actúa como oxidante en la masa debido a su conversión a ácido dehidroascórbico por la acción del oxígeno y la enzima ascórbico-oxidasa presente en forma natural en la harina de trigo. El ácido dehidroascórbico no se emplea directamente como agente oxidante de harinas debido a que es muy inestable (80).

C) Otro agente oxidante que actúa indirectamente es la enzima lipoxigenasa, usualmente añadida en forma de enzima activa en la harina de soya (7). Originalmente esta enzima era utilizada para blanquear los pigmentos amarillos de la harina, proporcionando así una miga mas blanca, pero se encontró que también contribuía a proporcionar mas fuerza a la masa y mayor tolerancia al sobremezclado. Este efecto ha sido comprobado experimentalmente y se ha propuesto un mecanismo (35), que se centra básicamente en la habilidad de la lipoxigenasa para reaccionar con

linoleato (de los lípidos de la harina) y oxígeno para generar hidroperoxilinoato, el cual posteriormente se rompe para formar varias moléculas de radicales libres (25). Las reacciones de los radicales libres son un tanto especulativas, sin embargo uno de los productos de reacción, el radical hidroperoxilo, genera peróxido de hidrógeno el cual puede participar en las reacciones de oxidación de la masa (ibid).

También se han llegado a usar juntos dos tipos de agentes oxidantes en las masas para panificación. Tsen (84) y Meredith (58) reportaron efectos sinérgicos cuando se usa el ácido ascórbico en combinación con el bromato de potasio.

B. Surfactantes.

El uso de los surfactantes en el pan es una práctica bien establecida en la industria de panificación. Los surfactantes utilizados en panificación, no actúan básicamente con el clásico sistema aceite on agua, agua en aceite (48,70). Generalmente estos aditivos son polifuncionales en la masa y el pan, las funciones primarias son: la habilidad para formar complejos químicos principalmente con el almidón, el reforzamiento del gluten (fortalecimiento) y la incorporación de aire en el mezclado. Los surfactantes forman un complejo con las porciones de gluten y almidón de la harina para fortalecer la película extensible de gluten-almidón antes de que ésta se estabilice por el calor (26).

Los surfactantes que presentan un mayor efecto de acondicionamiento en la masa son bastante hidrofílicos, pudiendo ser aniónicos o presentar una larga cadena lateral polioxietilónica (80), los dos surfactantes más comúnmente usados y que representan estas dos divisiones son el estearoil lactilato de sodio (SSL) y el monoestearato de sorbitán poli(20)oxietilénico (Poli-sorbato 60). El estearoil lactilato de sodio, se obtiene haciendo reaccionar al ácido esteárico con ácido láctico en presencia de NaOH, cuando la base usada es hidróxido de calcio se obtiene el lactilato de calcio, la dispersibilidad en agua es más marcada en la sal de sodio que en la de calcio.

Existen varias teorías acerca de la forma de actuar de los surfactantes, una de ellas indica que la parte hidrofílica del surfactante interactúa con las partes hidrofílicas de las moléculas del gluten, cubriendo así esa parte de la estructura del gluten y permitiendo que el extremo hidrofóbico del surfactante pueda unirse a otras partes hidrofóbicas de las moléculas del gluten, extendiendo la estructura supramolecular (21).

DeStefanis y colaboradores (26) encontraron que surfactantes como el SSL y monoglicéridos succinilados se hallaban ligados a las proteínas del gluten durante el mezclado y fuertemente ligadas al almidón por complejos formados con las fracciones amilosa y amilopectina en el pan. Concluyeron que durante el horneado las uniones gluten-surfactante se debilitan al aumentar la temperatura de la masa (desnaturalización de la proteína), como el almidón gelatiniza a temperaturas mayores que la de desnaturalización,

los surfactantes que se encuentran débilmente ligados a las proteínas fácilmente pueden formar un fuerte complejo con el almidón y son por lo tanto, translocados de la proteína al almidón.

Se ha señalado (22) que el SSL acelera la unión de los lípidos polares para formar un complejo almidón-lípidos-proteína. Haciendo referencia a las interacciones surfactante-gluten, Aidoo y Tsen (3), indicaron la formación de un complejo glutenina-surfactante-gliadina. Surfactantes en la forma de estearoil lactilatos (de sodio ó calcio) interactúan con las proteínas del gluten en una forma similar al modelo lípido-proteína de Grosskreutz (82), la formación del complejo gluten-SSL fué visualizada mediante el uso del microscopio electrónico por Tu y Tsen en 1978 (88).

Una de las propiedades mejoradoras de los surfactantes, es la de aumentar el volumen del pan. Se ha demostrado que el SSL dá mejores efectos en ese sentido que los surfactantes no iónicos (monoglicéridos etoxilados) (40).

Los surfactantes no sólo afectan las características del producto final (el pan), sino que también modifican las propiedades reológicas de la masa, como se ha indicado en estudios sobre el efecto de los surfactantes en pruebas de mezclado usando el mixógrafo y el farinógrafo. Tsen y Weber (87) utilizaron el farinógrafo para estudiar los efectos de surfactantes como el SSL y monoglicéridos etoxilados sobre las propiedades de absorción, tiempo de desarrollo y estabilidad de la masa. Ellos encontraron que en cantidades de 0.5% los surfactantes no modifican la absor-

ción de la harina, el tiempo de desarrollo fué aumentado considerablemente en harinas con SSL y monoglicéridos estoxilados, mientras que la estabilidad fué incrementada con el uso del SSL. Junge y colaboradores (40) en pruebas con el mixógrafo mostraron que el SSL (al 0.5%) retarda el tiempo óptimo de desarrollo (requerimiento de mezclado) y que la estabilidad también se incrementa. Lorenz (51) reportó resultados similares sobre estudios en mixografía. En investigaciones más recientes, Watson y Walker (90) confirmaron que la absorción de las harinas no se modifica por la adición de surfactantes como el SSL, y en pruebas usando el mixógrafo indicaron que el SSL tiende a aumentar el tiempo de mezclado al incrementar su concentración de 0.5% hasta aproximadamente 1.3% en donde comienza a disminuir el tiempo. En las pruebas de farinografía, estos autores indicaron que la incorporación de SSL en la harina tiende a disminuir el tiempo de desarrollo y dicho efecto es más marcado al aumentar la concentración de SSL hasta un 1% aproximadamente. La estabilidad ó resistencia al mezclado disminuye al agregar SSL, lo cual se contrapone a lo indicado por Tsen y Weber (87).

C. Agentes Mejorantes.

Un agente mejorante para panificación consta de varios ingredientes que en conjunto producen un pan de mayor calidad. Un mejorante completo, en general, es una mezcla de cuatro grupos de productos que se utilizan normalmente: surfactantes, materias grasas, azúcares, enzimas y en algunas ocasiones también se les adiciona alimento para levadura y oxidantes (68). El surfactante

ayuda a repartir al mejorante en toda la masa, permitiendo así una acción rápida e intensiva, además por su efecto espumoso capta un máximo de oxígeno desde el amasado. Las materias grasas forman una fina película alrededor de las estrías del gluten. La lubricación de éstas les proporciona flexibilidad lo que influye favorablemente en todo el proceso de panificación. Los azúcares que posee el mejorante son directamente asimilables por la levadura, con lo cual se acelera la fermentación. Las enzimas del mejorante son generalmente amilasas que transforman parte del almidón en dextrinas. Después de la fermentación, se encuentra una cantidad suficiente de azúcares debido a la acción de los ingredientes del mejorante, que ayuda a dar una buena coloración al pan y mejorar el sabor del producto final. Los agentes oxidantes del mejorante ayudan a la formación de una estructura más rígida de la proteína para mejorar la retención del gas (80). En resumen se puede decir que la labor de un mejorante completo es: reforzar el gluten, lubricar la masa, alimentar la levadura y regular la fermentación, lo que logra las siguientes características en el producto terminado: hacer más fina la textura del pan, aumentar el volumen, mejorar el sabor y prolongar su conservación.

D. Enzimas.

Los componentes de la masa del pan, como lo son las proteínas y el almidón, son sensibles a modificaciones producidas por acciones enzimáticas, que son fundamentales para el proceso de panificación. La producción de gas durante la fermentación del

pan es influenciada por la disponibilidad de nutrimentos para la levadura, y las enzimas son necesarias para proporcionar algunos de ellos. La fuente principal de las enzimas son la harina y la levadura; la harina de trigo contiene a la alfa y beta amilasas, la acción primaria de la alfa amilasa es "romper" las moléculas de almidón en múltiples unidades poliméricas de glucosa llamadas dextrinas, el gránulo de almidón entero puede ser atacado, pero la degradación es más rápida y severa si los gránulos se encuentran rotos, dañados ó gelatinizados (55). Es deseable que exista degradación del almidón por parte de la alfa amilasa durante las fases iniciales del horneado para crear una óptima fluidez y permitir una correcta expansión de la masa, esta actividad continúa durante el horneado hasta el punto en el que se desnaturaliza la enzima por el calor. Una actividad inadecuada de la alfa amilasa puede disminuir el volumen del pan, mientras que un exceso de enzima puede producir un aumento indeseable en su volumen, con tendencia a formar cavidades en las paredes de la hogaza.

Las dextrinas formadas por la acción de la alfa amilasa, son degradadas a maltosa por la beta amilasa, esta maltosa es la forma en la que el almidón proporciona el requerimiento de carbohidratos para la levadura. La enzima maltasa se encuentra presente en la levadura y es la responsable de la conversión de la maltosa en glucosa, mientras que la enzima invertasa (proveniente también de la levadura) convierte la sacarosa en glucosa y fructosa, finalmente la actividad enzimática se ve completada por la acción de una mezcla compleja de enzimas presentes en la levadu-

ra, este sistema llamado zimasa, convierte a la glucosa y fructosa en dióxido de carbono, alcohol y compuestos de sabor. En el momento en que las enzimas se desnaturalizan por el calor del horno, la fermentación cesa y la estructura semirrígida se forma mediante la gelatinización del almidón (27).

3. Propiedades Reológicas.

La reología se ha definido como la ciencia de la deformación de la materia (75). Los estudios reológicos se basan en la deformación en relación a la fuerza y el tiempo.

Las pruebas físicas que se realizan en la masa son un paso intermedio entre el material crudo y el producto final, dichas pruebas son muy importantes ya que sirven como un método para saber si el material crudo es apropiado y tiene la calidad necesaria (25). La masa de harina de trigo, especialmente para panificación, ha recibido probablemente mas atención por todos los reologistas de alimentos que ningún otro material alimenticio (20).

Las propiedades reológicas de la masa son primariamente dependientes de las cualidades inherentes de cada tipo de harina, por lo cual las pruebas reológicas son una importante herramienta para probar harinas en su funcionamiento durante la panificación (25).

A. El Mezclado.

Tres materiales están principalmente involucrados en el mezclado: agua, proteínas y lípidos (80). Cuando se inicia el mezclado, el agua interactúa con la proteína y el almidón a nivel

molecular para desarrollar una masa coherente y de apariencia homogénea.

El agua agregada a la harina hace que la porción superficial de la proteína se hidrate, volviéndose suave y algo pegajosa. La acción de mezclado desplaza por fricción la capa suave exponiendo más proteína para ser hidratada, este proceso se repite hasta que toda la proteína se ha hidratado (80). La acción de mezclado altera la estructura de la proteína por desdoblamiento de las moléculas propiciando los enlaces cruzados vía formación de enlaces disulfuro. Esto resulta en la formación de una red o malla de macromoléculas lineales constituyendo la fase continua de la masa (13,34), dispersos en esta fase continua están los gránulos de almidón, las células de levadura y las burbujas de aire (9).

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

Un aspecto importante en el mezclado de la masa, es la incorporación de aire. Al volverse cohesiva la masa comienza a incorporar aire y decrece en densidad (36). En el punto óptimo de mezclado aproximadamente la mitad de la cantidad total de aire se ha incorporado (40). El aire, particularmente el nitrógeno, es importante en los productos de panificación ya que produce las celidas de gas en las cuales el dióxido de carbono difunde (19,53). Debido a que la levadura no puede producir nuevas

celdas (27), el grano de la miga será muy grueso, si no existen las suficientes.

Los estudios reológicos se han enfocado principalmente al comportamiento de la masa durante el proceso de mezclado y en las propiedades reológicas esenciales para desarrollar una masa con óptima retención de gas. Los resultados de las medidas reológicas son usualmente dados en términos y unidades empíricas, su interpretación se basa en correlaciones establecidas entre esas unidades y el desarrollo en el horneado del material utilizado (25). Los dos instrumentos comúnmente usados para probar las harinas durante el mezclado son el farinógrafo y el mixógrafo.

B. Farinógrafo.

El farinógrafo es esencialmente un mezclador de masa que mide la movilidad de la misma bajo un mezclado relativamente suave a temperatura constante. La resistencia de la masa a las espas mezcladoras es transmitida a un dinamómetro conectado con un sistema mecánico de grabación, que imprime la curva (farinograma) en una carta marcada en Unidades Brabender (U.B.) (77). Los farinogramas proporcionan información acerca del tiempo óptimo de mezclado y estabilidad de la masa en un mezclado prolongado. La absorción de agua en el farinógrafo se determina mediante una "titulación" de la harina, dicha absorción es la cantidad de agua necesaria para una óptima consistencia estándar de la masa de 500 U.L. (56). El tiempo de desarrollo de la masa y la estabilidad son parámetros usados para la evaluación de la fuerza de la harina. En general, mientras más grandes sean estos

valores, más fuerte será la harina (25). Los siguientes parámetros pueden ser determinados de un farinograma:

Tiempo de llegada.- es el tiempo requerido para que la parte superior de la curva alcance las 500 U.B. después de que se ha iniciado el mezclado y agregado el agua. Este valor es una medida de la velocidad de absorción del agua por la harina. Generalmente para una variedad dada de trigo, el tiempo de llegada aumenta al incrementarse el contenido de proteína.

Desarrollo de la masa.- es el tiempo desde la adición de agua y mezclado hasta el tiempo de máxima consistencia (500 U.B.) de la masa, este valor es también llamado "tiempo a pico" (1).

Estabilidad.- es la diferencia en tiempo, entre los tiempos de salida y de llegada. Es generalmente aceptado que a mayor estabilidad de la masa, más tolerancia presenta al mezclado.

Tiempo de salida.- es el tiempo transcurrido desde la adición del agua hasta cuando la curva deja la línea de 500 U.B.; tiempos largos de salida indican una harina con buena tolerancia al mezclado (77,78).

C. Mixógrafo.

El mixógrafo es un instrumento usado para determinar la calidad de una harina y predecir las características del pan elaborado con dicha harina, características como: volumen, absorción de agua, requerimiento de mezclado, tolerancia al mezclado y requerimiento de oxidación. El tiempo necesario para desarrollar un pico de máxima altura (tiempo a pico ó requerimiento de mezclado), se ha aceptado como un indicador de la cantidad de tiempo de

mezclado necesario para desarrollar una masa de óptima consistencia. Se ha encontrado que la altura del pico se incrementa directamente con un aumento en el contenido de proteína e inversamente al aumentar la absorción (12). El mixógrafo consta de un recipiente de mezclado (para 35 ó 10 g. de harina), el cual se fija bajo la cabeza de mezclado, la cual tiene dos planetarios cada uno de ellos con dos "pernos" que rotan en un patrón específico alrededor de tres "pernos" fijos dentro del recipiente de mezclado. Cada mixograma se corre generalmente por un tiempo de 7 minutos, mientras que la resistencia de la masa se graba en una gráfica (mixograma). Al irse mezclando la masa, disminuye su movilidad y se aumenta la fuerza de los "pernos" revolviendo a través de la masa, esto se imprime en un papel marcado con arcos a intervalos de un minuto (1,29).

Los siguientes parámetros son evaluados de un mixograma:

Requerimiento de mezclado.- son los minutos necesarios para que la masa forme un pico de máxima altura, es el punto de máxima plasticidad. El tiempo de mezclado disminuye al aumentar el contenido de proteína hasta un 12% y posteriormente tiende a incrementarse nuevamente al aumentar el contenido de proteína (38).

Absorción de agua.- el ancho de la curva es un indicador de la absorción. Una curva muy ancha indica que la masa está seca y dura (baja absorción), mientras que una curva estrecha indica una masa floja con poca resistencia (alta absorción).

Tolerancia al mezclado ó estabilidad.- es la inclinación de la curva después del pico máximo. La movilidad de la masa aumenta

después del punto de máxima plasticidad y la curva comienza a descender dependiendo del grado de rompimiento mecánico del gluten. La estabilidad es medida por el ángulo que forman las líneas ascendente y descendente del mixograma. Ángulos grandes indican un mayor rango en la tolerancia al mezclado, este ángulo tiende a disminuir al aumentar la proteína. Las masas con alto contenido protéico sufren un mayor daño por sobremezclado (29).

Máxima altura a pico.- es la distancia desde la base de la gráfica hasta el punto medio del pico máximo. Esta medida es una indicación de la fuerza de la harina y está relacionada con el contenido de proteína, principalmente con la calidad de ésta.

Uno de los problemas existentes en el uso del mixógrafo y el farinógrafo es la interpretación adecuada de los datos obtenidos y su significancia en relación con las características panaderas de la harina ó masa. Debido a las diferencias en acción y velocidad de mezclado, principalmente, entre los dos aparatos, se pueden producir diferencias marcadas en las curvas, lo cual lleva a discusiones sobre cuál de ellos debe ser utilizado (34). La aplicación del farinógrafo para determinar la absorción de agua se ha presentado como una ventaja sobre el mixógrafo (25,90), sin embargo Hosney y Finney (34) indicaron que existe poca evidencia para una relación directa entre la absorción del farinógrafo y la cantidad de agua requerida para un óptimo desempeño en panificación, ya que el escoger una consistencia arbitraria (500 U.B.) como la óptima cantidad de agua que se debe añadir, es de suponer que el agua es el único factor que afecta la consistencia ó que otros factores sean constantes para todas las harinas.

II. El Deterioro del Pan.

El pan blanco tiene una de las vidas de anaquel mas cortas que existen en productos de uso diario, ya que después de dos días se retira de la venta al público por la disminución de sus cualidades, originada por un complejo fenómeno fisicoquímico conocido como deterioro del pan (42,52). El término "deterioro" es referido a todos los cambios que le ocurren al pan después del horneado (63). El deterioro del pan se ha definido (45) como "un término que indica una disminución en la aceptación del consumidor a los productos de panificación por cambios en la miga, diferentes a los resultantes por la acción de microorganismos". Los cambios característicos que sufre el pan debido al proceso de deterioro son: cambio en el sabor y aroma, aumento de firmeza en la miga, aumento en la cristalización del almidón en la miga, disminución de la capacidad de absorción, miga desmoronable, disminución en la cantidad de almidón soluble y también el almidón presenta menor susceptibilidad al ataque enzimático (45).

1. Firmeza.

La firmeza de la miga del pan que acompaña al deterioro es reconocida como uno de los factores más importantes que reducen la aceptabilidad del producto por parte de los consumidores (91), por lo cual es generalmente considerada como el índice más importante del deterioro (69). El aumento en firmeza que sufre la

miga del pan es frecuentemente confundida con la pérdida de humedad, pero desde 1852 Boussingault demostró que la miga del pan podía sufrir deterioro sin pérdida de humedad y que el pan en ese estado podría volver a una frescura inicial por calentamiento a 70°C. (56,63).

La textura del pan, referida como suavidad, es un indicador de la frescura por parte del consumidor, por lo cual la importancia de las características de textura en la determinación de la aceptabilidad del pan ha recibido mucha atención (11). El deterioro del pan es evidente en cambios medidos como la suavidad y firmeza de la miga. La suavidad es determinada por la deformación del pan bajo una carga constante durante un predeterminado período de tiempo, mientras que la cantidad de fuerza requerida para comprimir la miga a una deformación constante es una medida de firmeza de la miga (5).

Estudios de investigación han ilustrado que la firmeza del pan es influenciada por una variedad de factores, incluyendo la formulación (83). Lorenz y Disalver (50) mostraron que el grosor de la rebanada de pan y la temperatura de almacenamiento afecta la compresibilidad. Short (76) y MacDermott (57) encontraron que la firmeza de la miga varía dentro de la posición en la hogaza, siendo la miga más firme aquella que se encuentra en el centro. Ponte y colaboradores (67) reportaron que las rebanadas centrales del pan poseían una miga más firme que las rebanadas cercanas a los extremos.

Se han utilizado diversos instrumentos para medir la firmeza del pan, entre ellos podemos mencionar al penetrómetro, compresímetro y el Instron. Bashford y Hartung (8) reportaron una buena correlación entre las evaluaciones sensoriales de la frescura del pan y medidas realizadas con el Instron de la deformación mecánica durante la compresión. Las máquinas de pruebas universales como el Instron se han usado en años recientes para medir el deterioro del pan ya que producen un porcentaje reproducible y constante de deformación (5). La ventaja del uso de instrumentos como el Instron es que las relaciones de fuerza-tiempo pueden ser directamente convertidas a curvas fuerza-compresión y los rangos de deformación son reproducibles (89). En un estudio sobre los efectos antideterioro de varios surfactantes (41) se encontró una satisfactoria relación entre los datos obtenidos y la proporción del deterioro empleando el Instron y el compresímetro.

El Instron se ha usado en la industria de los alimentos para una variedad de aplicaciones, la evaluación de la firmeza de la miga del pan es de particular interés para la industria de panificación. Las ventajas de este aparato son la variedad de aditamentos, un alto grado de flexibilidad en la operación y una compresión uniforme sobre la pieza de prueba a una velocidad constante (5). Como resultado de la flexibilidad en la operación del Instron no existe un método estándar para la determinación de firmeza; se debe seleccionar una apropiada velocidad del cabezal, grado de compresión, geometría del accesorio para compresión y grosor de la muestra ya que cada uno de esos factores independientes afecta la fuerza de compresión. Baker y colabora-

dores (6) en un estudio para desarrollar un método en la evaluación de la firmeza del pan con el Instron, recomendaron los siguientes parámetros: 25% de compresión en una rebanada de pan de 25 mm. de espesor, una velocidad del cabezal de 100 mm/min. (aunque encontraron que la velocidad del cabezal no es un factor crítico que afecte la fuerza) y un accesorio para compresión con un área del disco de aproximadamente 1000 mm² (aproximadamente 36 mm de diámetro).

2. Efecto de la Temperatura de Almacenamiento.

En estudios hechos sobre el efecto de la temperatura en el deterioro del pan, Cornford y colaboradores (18) demostraron que la velocidad del deterioro tiene un coeficiente de temperatura negativo, es decir que el deterioro aumenta al disminuir la temperatura. Resultados semejantes fueron obtenidos por Rowe y colaboradores (69), quienes experimentaron los efectos de la temperatura de almacenamiento sobre la firmeza del pan y concluyeron que al disminuir la temperatura aumenta la firmeza. Esto sugiere que las temperaturas de refrigeración son las que incrementan la firmeza del pan mientras que las altas temperaturas (40-50°C.) retardan este cambio, sin embargo no se debe olvidar que estas temperaturas aceleran el crecimiento microbiano y la formación de sabores indeseables por lo cual es probable que la temperatura ambiente sea la más indicada para el almacenamiento de los panes (69). Kim y D'Appolonia (42) estudiaron el efecto de la temperatura en el almidón del pan durante el deterioro, ellos demostraron que la retrogradación del almidón contribuye

aproximadamente al 93, 50 y 20% de firmeza total de la miga a 21°, 30° y 35°C respectivamente, durante 5 días de almacenamiento (42).

3. Cambios en el Almidón Durante el Deterioro.

Los cambios que sufre el almidón durante el almacenamiento y el subsecuente deterioro se han indicado como los principales causantes de la firmeza del pan. El cambio más importante que ocurre en el almidón es la retrogradación (61), la cual es caracterizada por las modificaciones en la cristalización del almidón durante el almacenamiento (48). Senti y Dimer (73) indicaron que en ausencia de una fuente externa de calor, como ocurre después del horneado, existe una tendencia por parte del almidón gelatinizado, a pasar del estado amorfo a uno cristalino, ya que esto representa un menor estado de energía, en donde existen contactos laterales entre las moléculas adyacentes de polímeros. normalmente estas regiones cristalinas representan aproximadamente un 15% del almidón, sin embargo ese almidón cristalino es bastante rígido e insoluble, por lo que puede influenciar la rigidez del gel completo de almidón mediante las uniones internas de las cadenas de amilosa. Pomeranz (63) indicó que durante la retrogradación del almidón mucha de la hidratación es perdida y se vuelve más difícil el hidratar la cadenas de almidón que los gránulos originales, también señaló que en la retrogradación las cadenas lineales disueltas de las moléculas de almidón se asocian por fuerzas de atracción ó uniones de hidrógeno a las cadenas adyacentes, una lenta retrogradación produce un precipitado

insoluble, mientras que una rápida dá como resultado un gel rígido. La amilosa de trigo puede ser casi completamente retrogradada después de 24 horas a temperatura ambiente; la amilopectina sufre un cambio similar pero más lentamente.

Existen controversias en cuanto a las teorías que explican cuál de las dos fracciones del almidón (amilosa o amilopectina) son la principal causa de la firmeza del pan al sufrir retrogradación. Se ha indicado (63) que la amilosa se retrograda casi completamente durante el horneado y cambia poco en el deterioro del pan, mientras que la amilopectina se encuentra aparentemente parcialmente retrogradada en la miga, al envejecer el pan la solubilidad y el poder de hinchamiento de la amilopectina disminuye y tiene lugar una gradual retrogradación, por lo que se indica a la amilopectina como principal factor del endurecimiento del pan.

Schoch. (72) propuso que durante el horneado del pan parte de la amilosa difunde fuera del gránulo de almidón y se retrograda durante el enfriamiento, de esta manera los gránulos hinchados se encuentran embebidos en un gel firme de amilosa que al estar retrogradado no puede participar en el subsecuente endurecimiento, por lo que el cambio durante el envejecimiento se debe a la amilopectina la cual tiene sus ramificaciones extendidas en el horneado y pan fresco, mientras que al envejecer el pan, las ramificaciones gradualmente se doblan y asocian causando la rigidez.

Kim y D'Appolonia (42) citan los trabajos de Hollo y colaboradores (33) en donde indican que la retrogradación de la amilosa se divide en tres estados; en el primero las cadenas sufren un alargamiento por el rompimiento de uniones intermoleculares que mantienen la conformación helicoidal, en el segundo estado ocurre una pérdida de agua ligada, seguida de una reorientación apropiada de las moléculas y en el último estado hay formación de uniones de hidrógeno entre las moléculas adyacentes. González-León (31) encontró que la cantidad de amilosa soluble se correlaciona mas con el deterioro del pan, medido como firmeza, que la cantidad total de almidón soluble. Kim y D'Appolonia (44) encontraron que la fracción recuperada del almidón soluble en el pan fresco era predominantemente amilopectina la cual iba progresivamente disminuyendo durante el tiempo de almacenamiento, la cantidad de amilosa en el almidón soluble es pequeña sin embargo ésta disminuye considerablemente durante el primer día de almacenamiento, además indicaron que el papel de la amilosa en el deterioro disminuye al aumentar el contenido de proteína. En trabajos posteriores estos mismos autores (44) encontraron que la cristalización de los geles de almidón se caracteriza por la retrogradación de ambas fracciones; amilosa y amilopectina durante el primer día de almacenamiento, después la amilopectina sola controla la retrogradación. Collins (17) indicó también que en los geles la amilosa y la amilopectina son intermezclados y pueden probablemente retrogradarse juntos en regiones donde las

moléculas de amilosa y ramificaciones exteriores de amilopectina son apropiadamente orientadas para la formación de uniones de hidrógeno.

4. Efecto de la Proteína.

Es generalmente aceptado (43,44,54) que un aumento en el contenido de proteína en las harinas resulta en un producto más suave y es menor el endurecimiento durante el almacenamiento, las causas que se atribuyen al efecto del incremento de proteína se han señalado por Willhoft (92) como un efecto directo de dilución de la cantidad de almidón presente en la harina y el efecto que tiene el enriquecimiento con gluten en el volumen del pan, lo que proporciona suavidad. Los panes con alto volumen son generalmente más suaves que los de volumen reducido (4). Erlander y Erlander (28) propusieron que la retrogradación del almidón puede ser inhibida por la formación de un complejo con la proteína del pan. También indicaron que los grupos amida de la gliadina y glutenina (y posiblemente albúmina) son unidos a los grupos hidroxilo del almidón mediante enlaces de hidrógeno. Concluyeron que la relación almidón-proteína en la masa es crítica en la determinación del endurecimiento y que algún deterioro siempre ocurrirá no importando cuanta proteína esté presente. La proteína hidratada de la miga sufre una moderada transformación durante el horneado y subsecuente almacenamiento (42), esa transformación puede estar asociada con un incremento en el grado de desnaturalización de la proteína y posiblemente involucre una modificación configuracional en la proteína, por lo

que el deterioro del pan incluye en adición a la retrogradación del almidón, una modificación irreversible en la estructura del gluten hidratado, esta modificación podría resultar en un aumento de rigidez ya que el gluten forma la matriz continua de la miga.

Otro efecto de la adición de proteína (gluten) con respecto al deterioro del pan, es el que implica una relación entre la proteína y la amilosa, Kim y D'Appolonia (44) encontraron que el efecto de la amilosa durante el deterioro, disminuye al aumentar el contenido de proteína. También indicaron que el efecto primario de la proteína en reducir el deterioro es la dilución del almidón y no la calidad de la proteína, mientras que Maleki y colaboradores (54) indicaron que la calidad de la proteína podría afectar el deterioro del pan; usando harinas reconstituidas, demostraron que el factor que afecta la firmeza es atribuible a los componentes del gluten.

5. Efecto de las Enzimas.

Otra forma que se ha encontrado para retardar la firmeza del pan es la incorporación de enzimas en la formulación. Las alfa amilasas han demostrado producir una alta retención de la suavidad en el pan, comparadas con un pan sin suplementación enzimática (59) el grado del efecto de las enzimas depende de su estabilidad térmica. La enzima bacteriana parcialmente sobrevive a la temperatura del horneado por lo que presenta mayor actividad suavizante al actuar aun después de horneado el pan, la amilasa de cereales (trigo y cebada) se inactiva durante el horneado pero tiene suficiente tiempo para actuar sobre el almidón gelati-

nizado durante las fases iniciales de este proceso. La enzima fungal es menos resistente al calor y pierde su actividad antes de que el almidón gelatinice.

La forma en que actúa la enzima para ablandar el pan es el efecto hidrolítico sobre el almidón, lo que resulta en la formación de fragmentos de bajo peso molecular, lo cual retarda el endurecimiento (52). Osman (62) indicó que la amilasa no disminuye la cristalinidad pero sí la rigidez de la miga al romper algunas de las cadenas de almidón en las regiones amorfas incrementando así la flexibilidad de la estructura.

Frazier y colaboradores (30) investigaron el efecto de la lipoxigenasa en la firmeza de la miga utilizando el Instron para medir firmeza y harina de soya como fuente de la enzima, como resultado encontraron que la adición de la harina de soya afecta el endurecimiento; mediciones de firmeza una hora después del horneado no mostraron diferencias entre el pan con enzima y el control, sin embargo después de 10 horas de almacenamiento los panes comenzaron a mostrar variaciones en la firmeza, después de 4 días los panes con la enzima eran considerablemente más suaves que los panes control. Frazier concluyó que la acción de la lipoxigenasa implica una modificación en las áreas hidrofóbicas del gluten durante el tiempo de desarrollo de la masa en el mezclada (30).

6. Efecto de los Surfactantes.

Las características antideterioro de los surfactantes son explicadas por su habilidad para formar complejos helicoidales insolubles en agua con la amilosa y su limitada interacción con la amilopectina, además de su efecto fortalecedor en las masas por la interacción con las proteínas (47,48). La hélice es estabilizada por la cadena hidrocarbonada de ácido graso que llena los requerimientos de solvatación hidrofóbica de ésta (47).

Carlson y colaboradores (16) mostraron que la conformación de la cadena hidrocarbonada dentro de la hélice de amilosa parece ser ordenada como en el estado cristalino y que el grupo polar no se encuentra incluido en la hélice. Lagendijk y Pennings (49) encontraron una buena relación entre la cantidad de monoglicérido unido a la amilosa y el efecto antifirmeza en el pan medido por compresibilidad de las rebanadas. Ellos propusieron que debido a la reducida flexibilidad del complejo amilosa-surfactante, la habilidad para la formación de puentes de hidrógeno entre las cadenas de amilosa y entre la amilosa-amilopectina es reducida, lo cual retarda la firmeza del pan. Cuando son añadidos monoglicéridos en forma cristalina a la masa del pan, éstos son adsorbidos en la superficie del gránulo de almidón durante el mezclado, en el horneado los cristales forman una fase líquido-cristalina, en esa forma los monoglicéridos son activos en la formación de complejos con la amilosa, esto tiene lugar a temperatura de aproximadamente 500C antes de que el almidón gelatinice, lo que provoca que el hinchamiento de los gránulos de almi-

dón en el pan sea retardado y la cantidad de amilosa libre sea disminuída por la reacción con surfactantes dando como resultado una estructura de la miga mas suave (46).

El reducido hinchamiento de los gránulos de almidón hace que haya más agua disponible para el gluten, ésto puede influenciar indirectamente la distribución de humedad entre el almidón y gluten (92). Schuch (72) atribuyó la acción de los surfactantes a su habilidad para formar complejos con la amilosa dentro del gránulo de almidón, previniendo la formación del gel rígido de amilopectina que rodea el gránulo de almidón según su teoría del efecto de la amilosa-amilopectina en la retrogradación, esto resulta en una miga con una suavidad inicial mayor, es decir que los panes con surfactantes son mas suaves desde el inicio, que los panes sin estos compuestos, hasta que la amilopectina se asocia lo suficiente para hacer rígido el grano de la miga.

MATERIALES Y METODOS

1. Materia Prima.

Para este estudio se utilizaron dos tipos de harinas de uso exclusivo para panificación y que fueron obtenidas directamente en los molinos productores. Dichas harinas eran de la marca Sansón y La Rosa B., la harina Sansón es producida comercialmente y distribuida directamente a las panaderías artesanales ya que es la preferida por los "maestros panaderos". La Rosa B. es una harina elaborada para llenar las especificaciones para la producción de pan blanco por una compañía local elaboradora de productos de panificación; estas dos harinas se usaron como control.

La levadura empleada para la elaboración del pan, fué levadura seca instantánea de la marca Nevada (Saf-Mex México, D.F.), esta levadura fué seleccionada de entre las demás existentes en el mercado como lo son la levadura fresca en barra y la levadura seca granular, ya que en pruebas preliminares de elaboración de pan, realizadas en el laboratorio, mostró mejores cualidades; mayor actividad en el mismo tiempo de acción, facilidad de manejo al no tener que activarse y mejor conservación de la actividad durante el almacenamiento.

El surfactante utilizado en las pruebas fué Estearoil Lactilato de Sodio (SSL) marca Patco (México, D.F.) y la cantidad que se utilizó fué de un 0.5% en base al peso de la harina.

El gluten empleado (proteína: 69.18% b.h., cenizas: 1.15% b.h.) fué de la marca Amil (Mexicali, B.C.), la cantidad utilizada fué la necesaria para aumentar el contenido de proteína de las harinas en aproximadamente 2% , mediante cálculos teóricos.

En el estudio se incluyó también un agente mejorante de pan, de marca comercial Magimix-40 (Saf-Mex), que consta de los siguientes ingredientes según la etiqueta: harinas de soya y trigo, lecitina, amilasa, ácido ascórbico y bromato de potasio.

La cantidad utilizada fué de 0.1% en base al peso de la harina, esta cantidad se fijó mediante pruebas preliminares de elaboración de pan, realizadas en el laboratorio, ya que el fabricante sugería utilizar un 1% , sin embargo se encontró que esta cantidad no era la más indicada para las harinas control.

2. Preparación de Mezclas.

Para lograr una buena homogeneidad de las mezclas harina-gluten y harina-surfactante, se pesaron las cantidades correspondientes de cada ingrediente, colocándose éstos en una mezcladora marca Hobart modelo A-200 T, donde se mezclaron por un tiempo de 15 minutos en la velocidad 1 y 15 minutos en la velocidad 2. Las mezclas al igual que las harinas se colocaron en bolsas dobles de polietileno y dentro de recipientes de plástico con tapadera, para ser almacenados a una temperatura aproximada de 25°C hasta el momento de ser utilizadas.

En el caso del mejorante Magimix-40 no se realizó una mezcla previa sino que se añadió a la harina en el momento del mezclado, para evitar una actividad enzimática que se desarrollaría durante el almacenamiento de la mezcla.

3. Propiedades Reológicas.

A las harinas se les determinaron sus propiedades reológicas y el efecto que producen los compuestos agregados (mezclas) en la masa desarrollada. Estas propiedades se determinaron mediante el uso del mixógrafo y el farinógrafo.

A. Mixografía.

Se utilizó un mixógrafo (National Manufacturing Co., Lincoln NE), y se siguió el método 54-40 de la AACC (1); se utilizaron 35 g. (14% humedad) de harina en cada determinación.

Las siguientes lecturas fueron tomadas como datos a evaluar de las curvas mixográficas:

1) Requerimiento de mezclado (RM), en minutos.- tiempo necesario para desarrollar el pico máximo. Distancia A-B (Fig. 1)

2) Máxima altura a pico (MAP), en centímetros.- altura medida desde la línea base del mixograma hasta el punto medio del pico máximo desarrollado. Distancia C-B (Fig. 1)

3) Tolerancia al mezclado, en grados.- Ángulo formado por las líneas ascendente y descendente del mixograma, antes y después de la máxima altura a pico (MAP). Ángulo entre los puntos DBE (Fig.1)

El tiempo dado para cada mixograma fué generalmente de siete minutos según la técnica anteriormente citada ó hasta que se desarrollara un pico máximo, seguido de una línea descendente. Todas las pruebas se hicieron por triplicado y a una temperatura constante de 25°C.

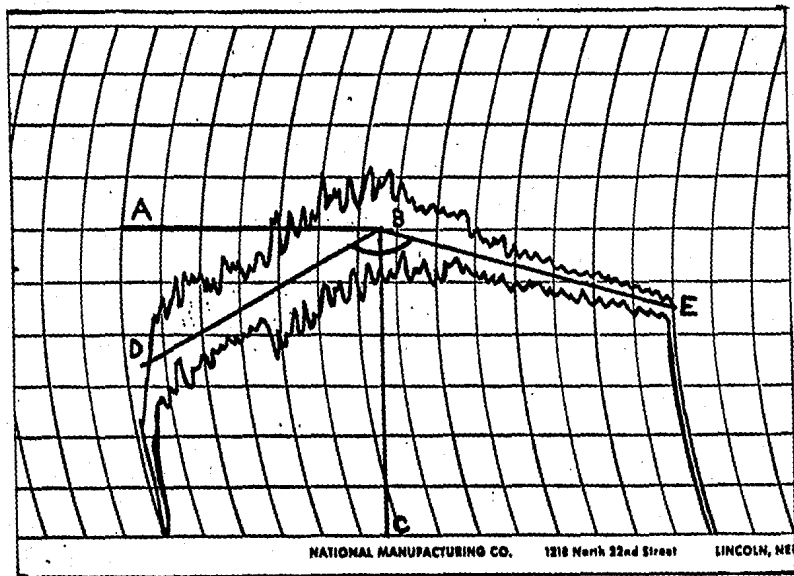


Figura 1. Diagrama esquemático mostrando las medidas obtenidas de un Mixograma.

B. Farinografía.

Se utilizó el farinógrafo (C.W. Brabender Instruments Inc., South Hackensack, NJ) y el procedimiento descrito por el método 54-21 de la AACC (1) para un peso constante de harina. Se empleó el recipiente de mezclado para 300 g. (14% humedad) de harina.

Se tomaron las siguientes lecturas de los farinogramas:

1) Tiempo de llegada (en min.).- tiempo que tarda la curva en tocar la línea de las 500 U.B. Punto C (Fig. 2)

2) Tiempo de desarrollo (en min.).- tiempo que tarda la curva en formar un pico de máxima altura. Distancia A-B (Fig.2)

3) Tiempo de salida (en min.).- tiempo que tarda la curva en bajar de la línea de las 500 U.B. Punto D (Fig.2)

4) Estabilidad (en min.).- diferencia en tiempo, entre los tiempos de salida y de llegada. Distancia C-D (Fig.2)

Los farinogramas fueron desarrollados durante el tiempo necesario para permitir que la curva saliera de la línea de las 500 U.B., sin tener un tiempo determinado para cada muestra.

Todas las pruebas se hicieron por triplicado y con una temperatura constante del termostato a 30°C.

C. Absorción de Agua.

La absorción de agua utilizada para la mixografía, fué calculada conforme al método descrito por la AACC (1). Se hicieron pruebas comparativas entre la absorción calculada por el método del mixógrafo (1) y la absorción necesaria para llevar la

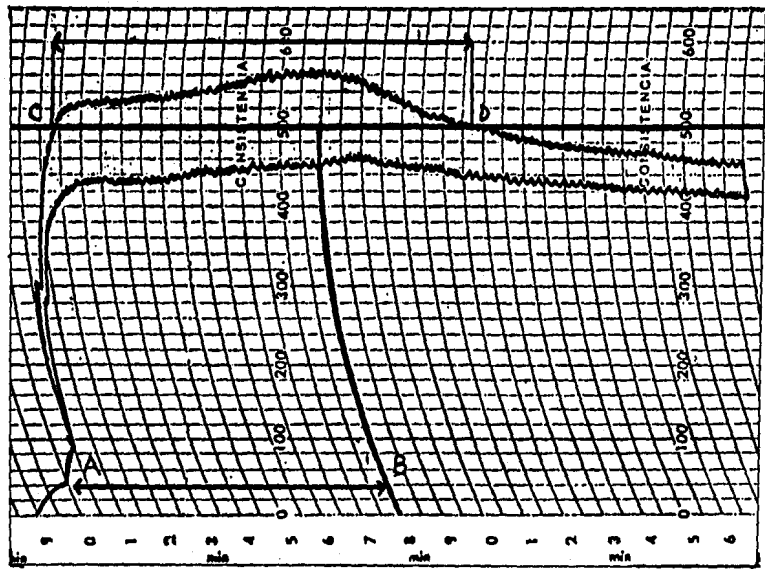


Figura 2. Diagrama esquématico mostrando las medidas obtenidas de un Farinograma.

curva hasta la línea de máxima consistencia (500 U.B.) en el farinógrafo (1), sin que existieran diferencias importantes entre ambas absorciones.

Como no hubo diferencia entre las dos formas de fijar las absorciones, se decidió utilizar la absorción marcada por el farinógrafo para ambas pruebas (mixografía y farinografía).

Se fijaron las absorciones para las harinas de panificación (harinas control) y esa misma absorción (60% para la harina Sansón y 61% para la harina La Rosa B.) se mantuvo constante para los demás tratamientos, excepto en el caso de las mezclas con gluten en donde la absorción tuvo que ser aumentada por el incremento en el contenido de proteína (62% harina Sansón y 63% harina La Rosa B.).

4. Elaboración del Pan.

A. Fermentación.

La cantidad y los ingredientes utilizados para una partida (4 panes), fueron los siguientes:

300 g. de harina (14% humedad)

9 g. de manteca vegetal

2.8 g. de levadura seca instantánea

3 g. de sal

15 g. de azúcar

Agua (variable según la absorción de la harina)

La sal y el azúcar se añadieron a través de 75 ml. de una solución acuosa al 20% de azúcar y 4% de sal preparada previamente, la cantidad de agua añadida se calculó tomando en cuenta la

absorción de la harina y se dedujo el agua añadida en la solución azúcar-sal (25 ml de solución equivalen a 21.5 ml de agua (1)).

B. Método de Panificación.

El método empleado para la elaboración de pan, fue el del amasado directo Método 10-10 de la AACC (1), con las siguientes modificaciones: cada pan se hizo con 75 g. (14% humedad) de harina, se amasaron un total de 4 panes (300 g. de harina) por partida, en una mezcladora modelo 100-200 A (National Mfg. Co., Lincoln, NE).

El tiempo de mezclado para cada harina fue fijado tomando principalmente como base el requerimiento de mezclado (RM) indicado por el mixógrafo, sin embargo este tiempo fue modificado al hacerse pruebas preliminares de panificación por no ser el más adecuado. Los tiempos de mezclado para la harina Sansón y todas sus mezclas, fue de 2 minutos; mientras que para la harina La Rosa B. y sus mezclas, fue de 4 minutos.

La masa se mantuvo en una cámara de fermentación (National Mfg. Co. Mod. #505-88-2/3, Lincoln, NE) durante 30 minutos, transcurrido ese tiempo se le dió el primer golpeo en el golpeador-moldeador (National Mfg. Co., Lincoln, NE) con una distancia entre rodillos de $9/32$ de pulgada. Después de otros 30 minutos en la cámara de fermentación, se procedió a pesar la masa y dividirla en 4 partes, a las cuales se les dió el segundo golpeo con una distancia entre rodillos de $3/16$ de pulgada, para después ser moldeados mecánicamente. Se les dió un tiempo de recuperación de 60 minutos en la cámara de fermentación. Los

panes se hornearon a una temperatura de 250°C durante 10 minutos, en un horno marca National Mfg. Co., Lincoln, NE, con movimiento rotatorio interno.

Se hicieron lotes de 28 panes para cada tipo de harina y para cada mezcla utilizada.

5. Evaluación de Peso y Volumen.

Los panes recién salidos del horno fueron sacados del molde y se dejaron enfriar por un lapso de 2 horas, después de ese tiempo se pesaron en una balanza granataria (Ohaus). La medición del volumen se realizó por medio del desplazamiento de semillas de nabo utilizando un medidor de volumen modelo "pup size" marca National Mfg. Co., Lincoln, NE.

6. Almacenamiento.

Una vez obtenidos los valores de peso y volumen para cada pan, se procedió a guardarlos en bolsas dobles de polietileno que fueron cerradas manualmente para evitar la pérdida de humedad. La mitad de los panes de cada lote, se almacenó en una cámara a una temperatura constante de 20°C, mientras que la otra mitad fue almacenada en una cámara de refrigeración a una temperatura de 5°C. El tiempo de almacenamiento total fue de cuatro días, escándose 4 panes al azar diariamente de cada lote para la evaluación de firmeza.

7. Medición de Firmeza.

Se tomaron 4 panes de cada tratamiento, dejándoseles alcanzar la temperatura ambiente (25°C) antes de ser cortados. El corte de los panes se realizó manualmente utilizando un cuchillo

eléctrico y un molde hecho para obtener rebanadas de 2.2 cm. de grosor. De cada pan se cortaron las dos rebanadas centrales para medirles la firmeza. La firmeza se definió como la fuerza necesaria (en gf.) para lograr el porcentaje de deformación requerido.

La medición de firmeza para los distintos tratamientos de panes elaborados, se llevó a cabo utilizando la máquina universal para pruebas de textura Instron modelo 1132 (Instron Corp., Canton, MA).

Los parámetros utilizados para llevar a cabo la prueba fueron: velocidad del cabezal de 5 cm/min., la velocidad de carta de 20 cm/min., se empleó una celda de 2000 g. usando el rango 0-1000 g., se utilizó el accesorio para compresión consistente en un émbolo con diámetro de 3.6 cm.

Las rebanadas de pan fueron comprimidas a un 25% del espesor original (25% de deformación). Para cada tratamiento, por día, se hicieron ocho mediciones, obteniéndose para cada caso la curva fuerza-desplazamiento. La fuerza necesaria para lograr la compresión del 25% fué registrada en una computadora Microcon II procesadora de datos, obteniéndose de ésta; la media, la desviación estándar y el coeficiente de variabilidad, para cada tratamiento.

Las mediciones de firmeza para cada tratamiento se siguieron durante un tiempo de almacenamiento de 4 días.

B. Análisis Químico.

Las muestras de pan fueron molidas en un procesador de alimentos marca Sunbeam Mod. 14021, antes de realizar los análisis. Todos los análisis químicos se hicieron por triplicado para cada muestra.

A. Humedad.

Las determinaciones de humedad se hicieron diariamente en los panes completos, para determinar cambios durante el almacenamiento. Se utilizó el método de secado descrito en el AOAC (2), bajo el procedimiento Num. 14.004, utilizando una estufa de convección forzada marca VWR Mod. 1630. El mismo método se empleó para las harinas y materia prima.

B. Proteína.

Se determinó el contenido de proteína a las muestras (panes y materia prima) de acuerdo al método oficial Kjeldahl Num. 2.057 del AOAC (2), en un aparato marca Labconco. Se calculó el contenido de proteína utilizando el factor $N \times 5.7$

C. Cenizas.

Las cenizas se determinaron por incineración de la muestra (panes y materia prima) en una mufla marca Sybron F-1700 a una temperatura de 550°C, según el método directo Num. 14.006 del AOAC (2).

9. Análisis Estadístico.

Los resultados de los experimentos fueron sometidos a análisis estadístico. Se determinó la homogeneidad de varianzas con la prueba de Bartlett. Para varianzas homogéneas se determinó la igualdad de medias con el análisis de varianzas; la diferencia significativa entre medias se analizó por el método de Duncan (61).

Para las varianzas no homogéneas, la igualdad de medias se probó con el método de Kruskal-Wallis (94); la diferencia significativa entre medias se analizó por el método de comparaciones múltiples no paramétricas tipo Tukey (94).

RESULTADOS Y DISCUSION

Pruebas Reológicas.

Mixografía.

Los resultados obtenidos de las pruebas mixográficas se muestran en el Cuadro 1. Se puede observar que el requerimiento de mezclado en la harina Sansón disminuye ligeramente con la adición de gluten mientras que el SSL lo aumenta, el mejorante Magimix-40 no muestra ningún efecto en el tiempo de mezclado. Para la harina Rosa B. el SSL también aumenta el tiempo óptimo de mezclado, así como el gluten pero en menor grado, el mejorante Magimix-40 disminuye el tiempo para que la masa alcance su máxima plasticidad.

Para ambas harinas el SSL aumenta el requerimiento de mezclado, esto es debido a un efecto de fortalecimiento en la masa que hace que se produzcan mayores tiempos de mezclado, lo cual concuerda con las observaciones hechas por Watson y Walker (90) y Lorenz (51) en donde encontraron que el efecto del surfactante SSL sobre las harinas estudiadas era reflejado por un aumento en el requerimiento de mezclado de las pruebas mixográficas.

El efecto que produce aumentar el contenido de proteína a las dos harinas es diferente puesto que el requerimiento de mezclado para la harina Sansón suplementada con gluten presenta una disminución mientras que la harina Rosa B. muestra un aumento en

Cuadro 1. Efecto de la adición de diferentes agentes en los parámetros mixográficos.

| Harina | Requerimiento de Mezclado (min) | Máxima Altura a Pico (cm) | Tolerancia al Mezclado (grados) |
|----------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| SANSON | | | |
| Control | 4.1 | 6.3 | 132.0 |
| Gluten | 3.8 | 9.2 | 119.0 |
| SSL | 5.5 | 7.1 | 145.0 |
| Magimix-40 | 4.1 | 6.7 | 139.5 |
| ROSA B. | | | |
| Control | 6.4 | 6.4 | 136.0 |
| Gluten | 7.2 | 7.0 | 132.3 |
| SSL | 9.0 | 7.0 | 149.0 |
| Magimix-40 | 6.0 | 6.8 | 138.5 |

este parámetro. Al adicionar gluten a la harina Sansón el contenido de proteína se incrementa hasta un 12.58% b.h. (Cuadro 2), en la harina Rosa B. el aumento en proteína es hasta un 13.34 % b.h. Johnson y colaboradores (38) señalaron que al aumentar el contenido de proteína en una misma harina hasta un 12% el requerimiento de mezclado tiende a disminuir y después de rebasada esta concentración de proteína el requerimiento de mezclado vuelve a incrementarse, aunque para esto último otros autores han indicado (29) que el tiempo óptimo de mezclado tiende a permanecer aproximadamente constante con incrementos del contenido protéico superiores al 12%.

El valor de máxima altura a pico es una indicación de fuerza de la harina y del potencial para producir un pan de buena calidad. Ambas harinas presentan un valor igual indicando que tienen semejantes características de fuerza y potencialidad panadera, lo cual es también corroborado con el hecho de que las dos harinas producen una hogaza de pan de igual volumen específico (Cuadro 3) aún cuando el contenido de proteína para la harina Rosa B. sea mayor en 1% que la harina Sansón. El valor de máxima altura a pico en las dos harinas control se vé afectado por los tres agentes usados; para la harina Sansón el gluten incrementa la altura en mayor grado, seguido del SSL y en menor proporción el Magimix-40. En la harina Rosa B. la adición de gluten y SSL producen el mismo efecto aumentando la máxima altura a pico, la adición de Magimix-40 aumenta también este valor casi en la misma magnitud en que lo hacen los otros dos agentes. La harina Sansón es mas sensible que la harina Rosa B. a los agentes usados ya que

Cuadro 2 . Análisis Químico de las Harinas Control y sus Mezclas con Gluten.

| Harina | Proteína % b.h. | Cenizas % b.h. | Humedad % |
|---------|--------------------|-------------------|--------------|
| Sansón | 10.52 | 0.60 | 10.87 |
| Gluten | 12.58 | 0.61 | 11.90 |
| Rosa B. | 11.42 | 0.63 | 11.36 |
| Gluten | 13.34 | 0.66 | 11.70 |

Composición de la mezcla Sansón-gluten:

Harina 96.59 % Gluten 3.41 %

Composición de la mezcla Rosa B.-gluten :

Harina 95.54 % Gluten 3.46 %

Cuadro 3 . Volumen Especifico* de los Panes Control y sus Tratamientos.

| Muestra | Volumen Especifico (cm ³ /g) |
|----------------|---|
| SANSON | |
| Control | 4.4 b |
| Gluten | 4.5 b |
| SSL | 4.9 a |
| Magimix-40 | 4.5 b |
| ROSA B. | |
| Control | 4.3 c |
| Gluten | 4.9 a |
| SSL | 5.1 a |
| Magimix-40 | 4.7 b |

* Cada valor es el promedio de 28 mediciones, medias con la misma letra no son significativamente diferentes (P<0.05).

presenta comportamientos diferentes para cada uno de ellos, mientras que la harina Rosa B. presenta una variación mínima de comportamiento con los tres agentes, lo que indica que no todas las harinas responden de la misma manera a los agentes acondicionadores de masa en cuanto a este parámetro.

La tolerancia al mezclado, medida como ángulo de debilitamiento se relaciona con la sensibilidad de la masa al sobremezclado (51), es decir, es un índice de estabilidad y depende del grado de rompimiento mecánico del gluten. Para ambas harinas la adición de SSL aumenta la tolerancia al sobremezclado en forma considerable, el Magimix-40 muestra un efecto similar pero en menor grado y esto es más marcado para la harina Sansón. La adición de gluten disminuye la estabilidad (valor de tolerancia) en las dos harinas lo cual es acorde a la teoría (29) que dice que las harinas con mayor contenido de proteína son más susceptibles al sobremezclado. La harina Sansón se ve más afectada que la harina Rosa B. con la adición de proteína.

Farinografía.

Los resultados obtenidos de las pruebas farinográficas se muestran en el Cuadro 4. La adición de SSL y Magimix-40 a los porcentajes utilizados, no tienen ningún efecto sobre la absorción, ya que los farinogramas de harinas control, harinas con SSL y Magimix-40 llegan a la línea de las 500 U.B. con la misma cantidad de agua (absorción) y esto concuerda con lo indicado por Toen y Weber (87) y Watson (90).

Cuadro 4 . Efecto de la adición de diferentes agentes en los parámetros farinográficos.

| Harina | Tiempo de Llegada (min) | Tiempo de Desarrollo (min) | Tiempo de Salida (min) | Estabilidad (min) |
|----------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------|
| SANSON | | | | |
| Control | 1.33 | 7.67 | 13.67 | 12.33 |
| Gluten | 2.50 | 10.75 | 16.25 | 13.75 |
| SSL | 1.25 | 12.75 | 20.58 | 19.33 |
| Megimix-40 | 1.50 | 8.25 | 12.50 | 11.00 |
| ROSA B. | | | | |
| Control | 2.33 | 12.25 | 16.83 | 14.50 |
| Gluten | 6.17 | 16.25 | 27.00 | 20.83 |
| SSL | 1.83 | 17.75 | 26.58 | 24.75 |
| Megimix-40 | 3.50 | 14.25 | 19.00 | 15.50 |

El tiempo de llegada es disminuído ligeramente por la adición de SSL, mientras que el Magimix-40 y el gluten tienden a incrementarlo con respecto a las harinas control. El gluten muestra el efecto más marcado en el aumento del tiempo de llegada lo que es de esperarse según la literatura (7B) que dice que al aumentar el contenido de proteína dentro de una misma variedad aumenta este parámetro, también se observa que el aumento es más grande para el caso de la harina Rosa B. que para la harina Sansón.

El tiempo de desarrollo se incrementó con la adición de todos los agentes con respecto al control, lo que indica un reforzamiento de la masa aunque en diferente grado, mostrando el mayor efecto el surfactante SSL.

En el farinógrafo el tiempo de salida se usa para definir la estabilidad de la masa por diferencia con el tiempo de llegada. La estabilidad al mezclado se encuentra considerablemente aumentada al adicionar SSL para ambas harinas. La adición de proteína también aumenta la estabilidad para ambas harinas aunque en menor grado que el surfactante. El Magimix-40 presenta diferente forma de actuar en las dos harinas, ya que en la Rosa B. mejora la estabilidad mientras que en la Sansón la disminuye, esto puede ser debido a las diferencias en los componentes de cada harina, principalmente proteína y almidón sobre los cuales actúan los ingredientes del mejorante (agentes oxidantes y enzimas).

Existen diferencias entre los dos aparatos usados en cuanto a los parámetros ó índices que definen la estabilidad y el tiempo de mezclado óptimo para desarrollar la masa. Las razones que pueden ser atribuibles a estas diferencias son la distinta velocidad y acción de mezclado entre el mixógrafo y farinógrafo.

Deterioro del Pan.

El contenido de humedad de los panes, en el tiempo de almacenamiento, se mantuvo sin cambios significativos en todos los tratamientos, de esta manera se eliminó la posibilidad de un aumento en firmeza por pérdida de humedad, ya que esto puede acelerar las reacciones de deterioro y por lo tanto afectar las mediciones de firmeza.

La composición química de los panes control y los panes con gluten se muestra en el Cuadro 5, donde se puede apreciar el aumento tanto en el contenido de proteína en el pan suplementado, como en la humedad ya que las mezclas con gluten tuvieron una absorción mayor en la formulación.

Los valores para proteína, cenizas y humedad de todos los panes se encuentran dentro de las normas para pan blanco establecidas por la Dirección General de Normas (DGN), que marca los siguientes rangos: Proteína mínimo 7%, Cenizas máximo 2.5% y Humedad mínimo 30%- máximo 38% .

Los panes obtenidos para la evaluación de firmeza presentaron el volumen específico indicado en el cuadro 3. Para la harina Sansón solamente el surfactante SCL tuvo un efecto significativo

Cuadro 5 . Análisis Químico de los Panes Control y Panes con Gluten.

| Muestra | Proteína % b.h. | Cenizas % b.h. | Humedad % |
|---------|--------------------|-------------------|--------------|
| Sansón | 7.08 | 1.02 | 35.89 |
| Gluten | 8.53 | 1.05 | 36.74 |
| Rosa B. | 7.82 | 1.09 | 35.59 |
| Gluten | 9.12 | 1.10 | 36.55 |

de mejora en el volumen específico, el gluten y Magimix-40 no presentaron diferencias significativas entre ellos y el control. En la harina Rosa B. todos los agentes acondicionadores utilizados producen un aumento significativo en el volumen específico con relación al control, siendo el BSL y gluten los de mayor efecto, entre los cuales no se encontró diferencia significativa en volumen específico. También se puede notar que los valores de volumen específico para los panes control de las dos harinas son similares.

El deterioro del pan, medido como firmeza en el texturómetro Instron, fue evidente ya que durante el tiempo de almacenamiento los valores de firmeza fueron incrementándose. El comportamiento en el aumento de firmeza para los dos panes control (Rosa B. y Sansón) fue básicamente el mismo a las dos temperaturas de almacenamiento (Figura 3). Como puede observarse en esta misma figura el valor de firmeza es mayor a la temperatura de 5°C, esto se cumple para todos los tratamientos de las dos harinas y demuestra que el efecto de aumento en firmeza es mayor a la temperatura de refrigeración, lo anterior se ha reportado como un coeficiente negativo de temperatura; a menor temperatura, mayor deterioro (18). Este efecto de la temperatura sobre la firmeza puede ser debido a que la cristalización del almidón es mayor a bajas temperaturas y contribuye a la rigidez del pan en menor tiempo (42).

En la Figura 3 puede apreciarse que el cambio más drástico en firmeza ocurre dentro de las primeras 24 horas de almacenamiento y a la temperatura de 5°C para ambas harinas.

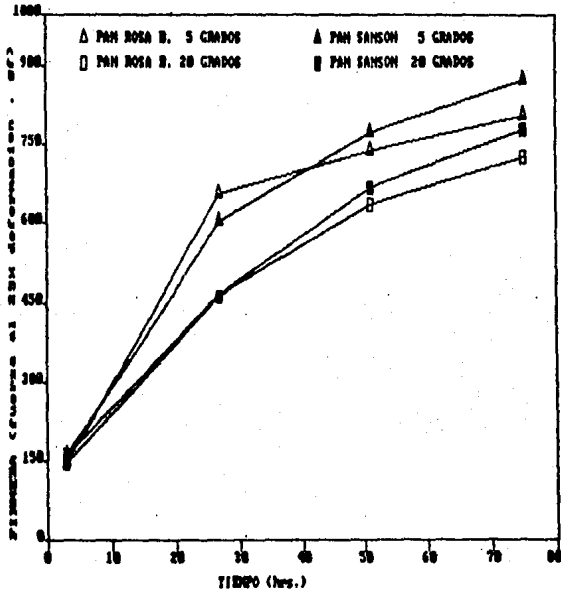


Figura 3. Efecto de la Temperatura de Almacenamiento sobre el Deterioro de Pan en harinas Sanabn y Rosa B.

Lo anterior queda también ilustrado al comparar las Figuras 4 y 5 donde se muestra el comportamiento del aumento en firmeza de la harina Rosa B. y sus tratamientos a las dos temperaturas de almacenamiento empleadas.

Se hicieron análisis estadísticos de los valores de firmeza, por día para cada tratamiento y a las dos harinas, estos resultados se muestran en los Cuadros 6 y 7. En general puede decirse que el efecto antideterioro que produce la adición de gluten y Magimix-40 es similar ya que los valores de firmeza para ambos no presentaron diferencias significativas la mayoría de los días de almacenamiento.

El surfactante SBL muestra los valores mas bajos en firmeza, en comparación con los otros tratamientos y el control.

Todos los agentes utilizados producen un pan que registra valores de firmeza menores que el control después de las primeras 24 horas de almacenamiento.

Todas estas observaciones anteriormente citadas son aplicables para las dos harinas control.

Se puede observar que para el día 3 existe cierta tendencia en los valores de firmeza a presentar igualdades estadísticas entre los tratamientos, por ejemplo; en el pan Rosa B. a 20°C el gluten y Magimix-40 son iguales estadísticamente, asimismo el gluten y SBL presentan otra igualdad de valores. En el pan Sansón a 20°C las igualdades estadísticas se encuentran entre el control y Magimix-40, gluten y Magimix-40, gluten y SBL; por lo cual puede esperarse que a un tiempo mayor de almacenamiento todos los

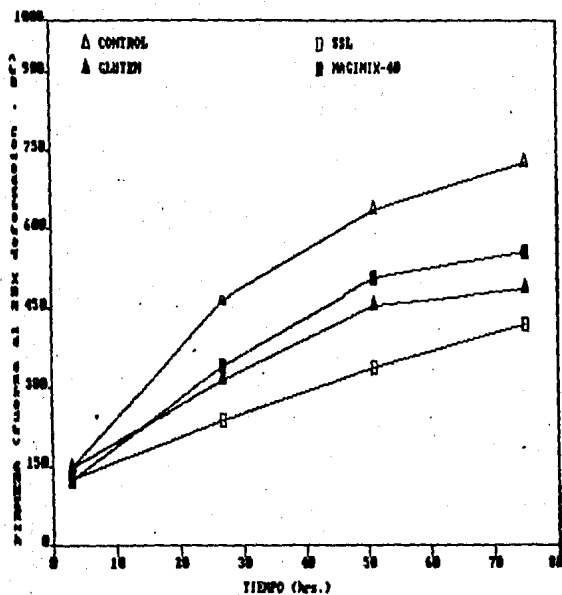


Figura 4. Efecto de la adición de Proteína, Surfactante y Mejorante sobre el aumento en Firmeza para Pan Rosa B. a 20°C.

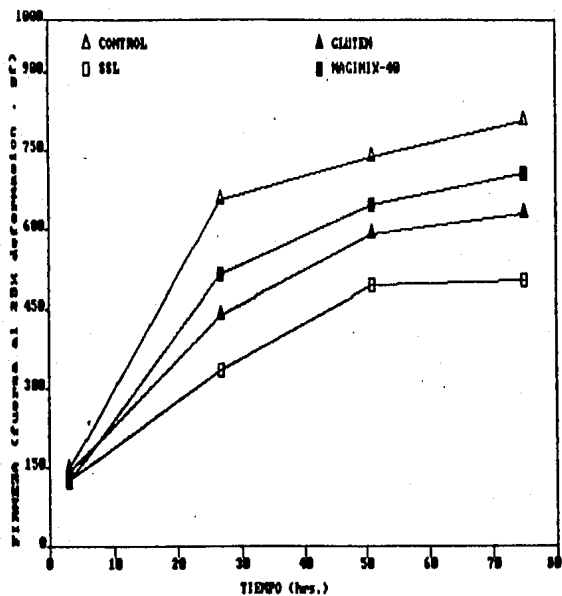


Figura 5. Efecto de la adición de Proteína, Surfactante y Mejorante sobre el aumento en Firmeza para Pan Rosa B. a 5°C.

Cuadro 6 . Valores de Firmeza para el Pan Sanson * .

| | Temperatura 20 grados. | | | |
|------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | Dia 0 | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 |
| Control | 160.3 a | 466.3 a | 668.0 a | 780.6 a |
| Gluten | 140.2 a | 392.9 b | 548.1 b | 596.4 b,c |
| SSL | 144.5 a | 296.0 c | 437.8 c | 496.3 c |
| Megimix-40 | 136.2 a | 400.5 b | 497.1 d | 661.8 a,b |
| | Temperatura 5 grados. | | | |
| Control | 160.3 a | 602.7 a | 773.2 a | 873.4 a |
| Gluten | 140.2 a | 532.0 b | 677.4 b | 715.1 b,c |
| SSL | 144.5 a | 400.1 c | 572.9 c | 626.3 b |
| Megimix-40 | 136.2 a | 566.0 a,b | 639.1 b,c | 793.2 a,c |

* Cada valor es el promedio de 8 mediciones, medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) en una misma columna y a la temperatura indicada.

Cuadro 7 . Valores de Firmeza para el Pan Rosa B * .

| | Temperatura 20 grados. | | | |
|------------|------------------------|---------|---------|-----------|
| | Dia 0 | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 |
| Control | 147.2 a | 464.9 a | 635.1 a | 726.9 a |
| Gluten | 142.6 a | 314.4 b | 455.7 b | 484.3 b,c |
| SSL | 126.8 a | 237.5 c | 339.1 c | 421.2 c |
| Magimix-40 | 123.2 a | 341.1 b | 506.0 b | 556.8 b |
| | Temperatura 5 grados. | | | |
| Control | 147.2 a | 656.0 a | 736.8 a | 804.5 a |
| Gluten | 142.6 a | 438.7 b | 591.1 b | 629.6 b |
| SSL | 126.8 a | 335.6 c | 493.6 c | 503.0 c |
| Magimix-40 | 123.2 a | 516.1 d | 646.6 b | 691.0 b |

* Cada valor es el promedio de 8 mediciones, medias con la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) en una misma columna y a la temperatura indicada.

valores para los diferentes tratamientos vuelvan a ser estadísticamente iguales ya que se alcanzará un valor de firmeza final pero a distintas velocidades para cada tratamiento.

El contenido inicial de proteína de las harinas control, no tiene influencia sobre la velocidad de aumento en firmeza ya que los panes horneados con harina Sansón (10.52% proteína b.h.) y Rosa B. (11.42% proteína b.h.) presentaron igual comportamiento en los valores de firmeza a las dos temperaturas de almacenamiento como se indicó anteriormente. Sin embargo al aumentar el contenido de proteína en ambas harinas a la misma proporción, con gluten, el comportamiento del deterioro es muy diferente; los panes producidos con harina Rosa B. suplementada con gluten presentan una velocidad de firmeza mucho menor que los panes producidos con harina Sansón mas gluten (Figura 6).

Kim y D'Appolonia (44) y Willhoft (9) sugirieron que el efecto del aumento en el contenido de proteína es de diluir la cantidad de almidón en el pan, si esto fuera el caso, puesto que el grado de dilución es el mismo, el deterioro debería ser retardado para las dos harinas en la misma magnitud; en base a los resultados obtenidos se puede concluir que el mecanismo de acción de la proteína en el fenómeno del deterioro implica una interacción entre gluten y almidón, y no es una simple dilución de éste último.

Se ha estudiado mucho respecto al volumen específico del pan y su relación con el deterioro del mismo, llegándose a estipular que a mayor volumen específico se tiene menor velocidad del

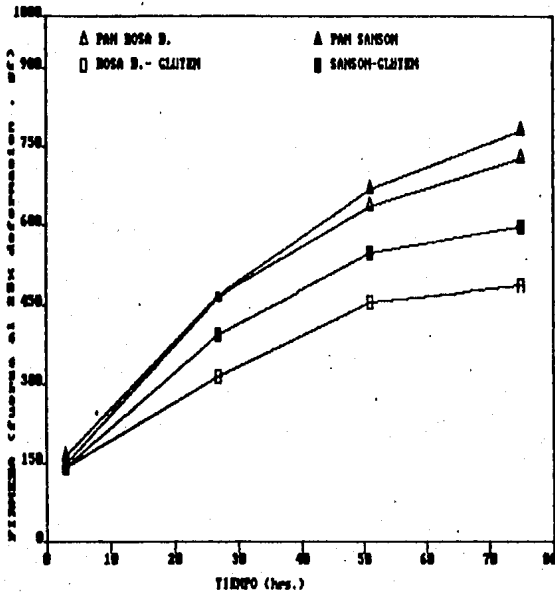


Figura 6. Influencia de la adición de Proteína a la harina Sansón y Rosa B. sobre el aumento en Firmeza de Pan a 20°C.

deterioro (4), también se ha señalado que la influencia absoluta del volumen específico en la velocidad de aumento en firmeza no puede ser claramente determinada (52).

Los resultados obtenidos en este estudio indican que para la harina Rosa B. los volúmenes específicos de los tratamientos con gluten y SSL son iguales estadísticamente y en la harina Sansón no existe diferencia significativa de volumen específico entre el control y los tratamientos con gluten y Magimix-40 (Cuadro 3), a pesar de estas igualdades en volumen específico, la velocidad de deterioro es diferente, pudiéndose concluir que no hay una relación bien definida entre velocidad de aumento en firmeza y volumen específico sino que el mecanismo de deterioro se ve más afectado por la forma específica en que actúan los diferentes agentes empleados.

La determinación de firmeza inicial del pan fresco (3 horas después de horneado), de las harinas control y sus tratamientos son iguales estadísticamente ($P < 0.05$). Podría esperarse un pan más blando inicialmente para los tratamientos con surfactante en su formulación ya que se ha estipulado que estos agentes producen un pan más suave. Este hecho refuerza la conclusión hecha por Ponte y Titcomb (67) de que el efecto del surfactante en retardar la velocidad de aumento en firmeza es más importante que la de producir una miga más blanda en el pan recién horneado.

Se puede observar de las Figuras 7 y 8 que el surfactante SSL es el agente más efectivo para retardar la cinética del

deterioro a las temperaturas de almacenamiento de 20°C y 5°C respectivamente, al presentar menores valores de aumento en firmeza.

Se piensa que la forma en que actúa el surfactante BBL para disminuir la velocidad de deterioro, es la formación de un complejo con la fracción helicoidal de amilosa evitando así que se formen asociaciones entre sus cadenas, fenómeno conocido como retrogradación al que se le atribuye principalmente el endurecimiento de la miga.

Es probable que la acción del Magimix-40 en la disminución de firmeza se deba a las enzimas que contiene en su formulación ya que se ha demostrado (59) que la inclusión de alfa amilasa en los panes ayuda en la retención de suavidad, además el hecho de que otros compuestos como los oxidantes están presentes en la formulación del Magimix-40, al mejorar las propiedades reológicas de la masa, ayudan a producir un pan que se conserva mejor durante el tiempo de almacenamiento.

Analizando los resultados obtenidos de las propiedades reológicas y la medición de firmeza (deterioro del pan) se puede encontrar una relación, entre los agentes que mejoran los valores de Máxima Altura a Pico (índice de fuerza) en el mixógrafo, Tiempo de Desarrollo (consistencia óptima de la masa) en el farinógrafo y la efectividad de estos mismos agentes en la reducción de firmeza en el pan, ya que se encontró que todos los agentes utilizados aumentan los valores de Máxima Altura a Pico y Tiempo de Desarrollo (Cuadros 1 y 3) indicando un efecto de fortalecimiento en la masa que también se ve reflejado en un pan

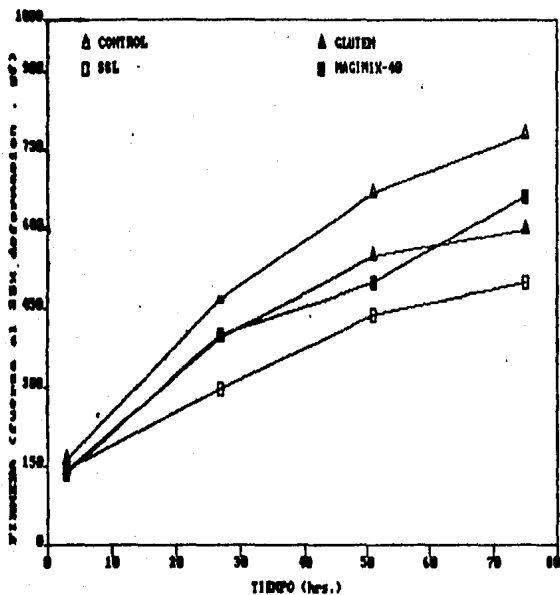


Figura 7. Efecto de la adición de Surfactante, Proteína y Mejorante sobre el aumento en Firmeza para Pan Sansón a 20°C.

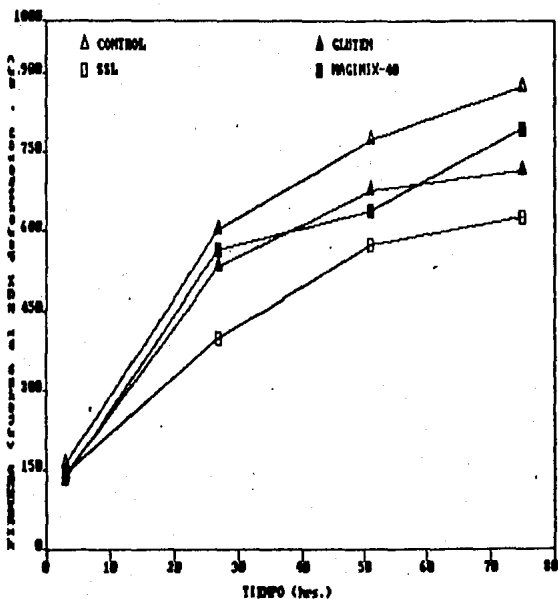


Figura B. Efecto de la adición de Surfactante, Proteína, y Mejorante sobre el aumento en Firmeza para Pan Sansón a 50°C.

que tiene valores de firmeza menores en relación con el control. En resumen se puede decir que los agentes que logran mejorar los valores de Máxima Altura a Pico y Tiempo de Desarrollo producen un pan con mejor conservación al retardar la firmeza.

CONCLUSIONES

1.- La adición de los agentes utilizados mejoran las propiedades reológicas referentes a la fuerza de la harina, indicando que existe un reforzamiento estructural por parte de éstos al ser incorporados al sistema de mezclado.

2.- No existe una clara relación entre un aumento de volumen específico y una disminución en la velocidad de aumento en firmeza ya que panes con igual volumen presentan diferentes grados de endurecimiento.

3.- La firmeza se ve afectada por la temperatura de almacenamiento, siendo mayor el deterioro a la temperatura de refrigeración (5°C). El cambio mayor en la firmeza se desarrolla dentro de las primeras 24 horas de almacenamiento a esta temperatura de refrigeración.

4.- Las harinas control presentan propiedades semejantes como igual aumento en firmeza y producción de pan con volumen específico igual, sin embargo al añadir los diferentes agentes, estas propiedades varían para cada harina lo que indica que la forma en que actúa cada agente depende de las características particulares de los componentes de cada harina.

5.- De los agentes empleados para retardar la firmeza, el SSL es el más efectivo. El gluten y Magimix-40 presentan valores semejantes entre sí y también disminuyen la firmeza en relación con el control.

6.- La acción del surfactante consiste en retardar la velocidad del deterioro y no en producir un pan más suave con la misma cinética de deterioro que un pan sin surfactante.

7.- El deterioro del pan, medido como firmeza, no solamente depende de la cristalización del almidón sino que existe una contribución al aumento en firmeza por parte de la proteína.

8.- Se encontró una cierta relación entre los agentes que proporcionan fortalecimiento estructural a la masa y su efectividad para reducir el aumento en firmeza del pan, ya que al aumentar los parámetros reológicos de fuerza disminuye la velocidad de firmeza con los agentes utilizados en este estudio.

La experiencia obtenida en este estudio permite hacer las siguientes,

Recomendaciones:

- Utilizar agentes acondicionadores en la formulación de pan blanco ya que éstos mejoran las propiedades de la masa y ayudan a disminuir la velocidad de aumento en firmeza.
- Realizar una investigación sobre el efecto de combinación de dos ó mas agentes acondicionadores y el posible sinergismo en la disminución de firmeza.
- Investigar a fondo el efecto de la cristalización del almidón sobre el deterioro del pan y las interrelaciones con el contenido de proteína.

BIBLIOGRAFIA.

- 1) AACC Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 7 ed. Published by Am. Association of Cereal Chem. Inc. Vol. I,II. St. Paul, Minn. 1976
- 2) AOAC Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14 ed. Edited by Sidney Williams. Chap. 14. pp. 249. Arlington, Virginia. 1984
- 3) Airon, E.S., Tsou, C.C. Surfactant-protein interactions in model system. *Cereal Sci. Today*. 18:301. 1973
- 4) Anford, D.W.E., Colwell, K.H., Cornford, S.J., Elton, G.A.H. Effect of loaf specific volume on the rate and extent of staling in bread. *J. Sci. Food Agric.* 19:95. 1968
- 5) Baker, A.E., Doerry, W.T., Kemp, K. Instron factors involved in measuring crumb firmness. *Cereal Foods World*. 31(2):193-195. 1986
- 6) Baker, A.E., Doerry, W.T., Kemp, K. Graphical presentation of instron factors on crumb firmness. *Cereal Foods World*. 31(3):262-268. 1986
- 7) Barrett, F.F. Enzyme uses in the milling and baking industries. Eq: *Enzymes in Food Process*. 2nd Ed., Ed. Academic Press., pp. 301, New York. 1975
- 8) Bashford, L.L., Hartung, T.E. Rheological properties related to bread freshness. *J. Food Sci.* 41:446. 1976
- 9) Bloksma, A.H. Rheology of wheat flour doughs. *J. Texture Studies*. 3:3-17. 1972
- 10) Bloksma, A.H. Thiol and disulfide groups in dough rheology. Eq: *Rheology of wheat products: a symposium*. pp. 170. Montreal, Canada. 1974
- 11) Brady, P.L., Mayer, S.M. Correlations of sensory and instrumental measures of bread texture. *Cereal Chem.* 62(1):70-71. 1985
- 12) Bruinsma, B.L., Anderson, P.D., Rubenthaler, G.L. Rapid method to determine quality of wheat with the mixograph. *Cereal Chem.* 55(5):732-735. 1978

- 13) Bushuk, W., Tsen, C.C., Hlynka, I. The function of mixing in breadmaking. *Bakers Dig.* 42(4):36-40. 1968
- 14) Bushuk, W. Functionality of wheat proteins in dough. *Cereal Foods World.* 29(2):162-164. 1984
- 15) Bushuk, W. Flour proteins: structure and functionality in dough and bread. *Cereal Foods World.* 30(7):447-451. 1985
- 16) Carlson, T.G.L., Larsson, K., Dinh-Nguyen, N., Krog, N. A study of the amylose-mono-glyceride complex by Raman spectroscopy. *Stærke* 31:22. 1979
- 17) Collins, R. Ed: Starch and its derivatives. Ed. by J.A. Radley, Chapman & Hall LTD. pp. 194. London, England. 1968
- 18) Cornford, S.J., Axford, D.W.E., Elton, G.A.H. The elastic modulus of bread crumb in linear compression in relation to staling. *Cereal Chem.* 41:216. 1964
- 19) Chamberlain, N., Collins, T.H. The chorleywood bread process: the roles of oxygen and nitrogen. *Bakers Dig.* 53(1):18. 1979
- 20) Charm, S.E. The nature and role of fluid consistency in food engineering applications. Ed: *Advances in Food Research.* Vol. II. Academic Press. New York. 1962
- 21) Chung, O.K., Tsen, C.C., Robinson, R.J. Functional properties of surfactants in breadmaking. III. Effects of surfactant and soy flour in lipid binding in breads. *Cereal Chem.* 58:220-225. 1981
- 22) Chung, O.K. Lipid-protein interactions in wheat flour, dough, gluten and protein fractions. *Cereal Foods World.* 31(3):242-256. 1986
- 23) Daniels, N.W.R., Richmond, J.W., Russel Eggitt, P.W. Lipids of flour. Lipid binding in breadmaking. *J. Sci. Food Agric.* 17:20. 1966
- 24) Davies, R.J., Daniels, N.W.R., Geenshields, R.N. An improved method of adjusting moisture in studies on lipid binding. *J. Food Technol.* 4:117. 1967
- 25) DeMann, J.M., Voisey, F.W., Rasper, V.F., Stanley, D.W. Texture of dough, pasta and baked products. Ed: *Rheology & texture in food quality.* 2nd Ed. The AVI Publishing Co. Inc. pp. 308. Westport. Conn. 1976
- 26) DeStefanis, V.A., Ponte, J.G., Chung, F.H., Ruzza, N.A. Binding of crumb softener and dough strengtheners during breadmaking. *Cereal Chem.* 54(1):13. 1977

- 27) Dubois, D. What is fermentation?. Bakers Dig. 58(1):11-14. 1984
- 28) Erlander, S.R., Erlander, L.G. Explanation of ionic sequences in various phenomena. X. Protein-carbohydrate interactions and the mechanism for the staling of bread. Staerke 21:305. 1969
- 29) Finney, K.F., Shogren, M.D. A ten gram mixograph for determining and predicting functional properties of wheat flours. Bakers Dig. 46(2):32-71. 1972
- 30) Frazier, P.J., Brimblecome, F.A., Daniels, N.W.R. Effect of enzyme active soya flour on the rheological and baking properties of wheat flour doughs. Proc. IV. Int. Congress Food Sci. Technol. Vol. 1:127. 1974
- 31) González-Ledón, A. Physicochemical changes of bread during staling. M.S. Thesis. Whashington State University. 1983
- 32) Grosskreutz, J.G. A lipoprotein model of wheat gluten structure. Cereal Chem. 38:336. 1961
- 33) Hollo, J., Szejtli, J., Gantner, S. Staerke. 12:106. 1960
- 34) Hosney, R.C., Finney, P.L. Mixing - a contrary view. Bakers Dig. 48(1):22-28. 1974
- 35) Hosney, R.C., Rao, H., Fanbion, J., Sidhu, J. Mixograph studies. IV. The mechanism by which lipoxygenase increases mixing tolerance. Cereal Chem. 57:163. 1980
- 36) Hosney, R.C. The mixing phenomenon. Cereal Foods World. 30(7):453-457. 1985
- 37) Jackel, S.S. The importance of oxidation in breadmaking. Bakers Dig. 51(2):39-43. 1977
- 38) Johnson, J.A., Swanson, C.O., Bayfield, E.G. The correlation of mixograms with baking results. Cereal Chem. 20:625-643. 1943
- 39) Johnston, W.R., Manseth, R.E. The interrelations of oxidants and reductants in dough development. Bakers Dig. 46(2):21. 1972
- 40) Junge, R.C., Hosney, R.C., Varrtano-Marston, E. Effect of surfactants on air incorporation in dough and the crumb grain of bread. Cereal Chem. 58(4):338-342. 1981

- 41) Kamel, B.S., Wachnuik, S., Hoover, J.R. Comparison of the baker compressimeter and the instron in measuring firmness of bread containing various surfactants. *Cereal Foods World*. 29:159. 1984
- 42) Kim, S. K., D'Appolonia, B.L. The role of wheat flour constituents in bread staling. *Bakers Dig.* 51(1):38-43. 1977
- 43) Kim, S.K., D'Appolonia, B.L. Bread staling studies. I. Effect of protein content on staling rate and bread crumb pasting properties. *Cereal Chem.* 54(2):207-215. 1977
- 44) Kim, S.K., D'Appolonia, B.L. Bread staling studies. II. Effect of protein content and storage temperature on the role of starch. *Cereal Chem.* 54(2):216-224. 1977
- 45) Knightly, W.H. The staling of bread. A review. *Bakers Dig.* 51(5):52-61. 1974
- 46) Krog, N. Amylose complexing effect of food grade emulsifiers. *Staerke* 23:206. 1971
- 47) Krog, N. Theoretical aspects of surfactants in relation to their use in breadmaking. *Cereal Chem.* 58(3):158-164. 1981
- 48) Kulp, K., Ponte, J.G. Staling of white pan bread: fundamental causes. *CRC Critical Reviews in Food Sci. & Nutrition.* 1981
- 49) Lagendijk, J., Pennings, H.D. Relation between complex formation of starch with monoglycerides and the firmness of bread. *Cereal Sci. Today* 15:334. 1970
- 50) Lorenz, K., Disalver, W. Bread compressibility as affected by slice thickness. *J. Food Sci.* 47:689. 1982
- 51) Lorenz, K. Diacetyl tartaric acid esters of monoglycerides (DATEM) as emulsifiers in breads and buns. *Bakers Dig.* 57(5):6-10. 1983
- 52) Maga, J.A. Bread Staling. *CRC Critical Reviews in Food Technol.* 5:443. 1975
- 53) Mahdi, J.G., Varriano-Marston, E., Hosenev, R.C. The effect of mixing atmosphere and fat crystal size on dough structure and bread quality. *Bakers Dig.* 55(2):28. 1981
- 54) Maleki, N., Hosenev, R.C., Mattern, P.J. Effects of loaf volume, moisture content and protein quality on the softness and staling rate of bread. *Cereal Chem.* 57(2):138-140. 1980
- 55) Marston, P.E., Wannan, T.L. Bread baking. The transformation from dough to bread. *Bakers Dig.* 57(4):59. 1983

- 56) Matz, S.A. Bakery technology and engineering. 2nd. Ed. The AVI Publishing Co. Inc., pp. 15. Westport, Conn. 1972
- 57) McDermott, E.E. Measurement of the stickiness and other physical properties of bread crumb. *J. Food Technol.* 9:185. 1974
- 58) Meredith, P. Combined action of ascorbic acid and potassium bromate as bread dough improvers. *Chem & Ind.* 948. 1966
- 59) Miller, R.S., Johnson, J.A., Palmer, D.L. A comparison of cereal, fungal and bacterial alpha-amylase as supplements for breadmaking. *Food Technol.* 7:38. 1953
- 60) Muller, H.G. Rheology and the conventional bread and biscuit making process. En: Rheology of wheat products: a symposium. pp. 89. Montreal, Quebec, Canada. 1974
- 61) Neukom, H., Rutz, W. Observations on starch retrogradation and bread staling. *Lebensm.-Wiss. Technol.* 14(6):292-293. 1981
- 62) Osman, M.E. Interaction of starch with other components of food systems. *Food Technol.* 29(4):30-32. 1975
- 63) Pomeranz, Y., Schellenberger, J.A. Sensory attributes and bread staling. En: Bread Science and Technology. The AVI Publishing Co. Inc., pp. 169. Westport, Conn. 1971
- 64) Pomeranz, Y., Chung, O.K. J. Interaction of lipids with proteins and carbohydrates in breadmaking. *Amer. Oil Chem. Soc.* 55:285. 1978
- 65) Pomeranz, Y. Molecular approach to breadmaking: and update and new perspectives. *Bakers Dig.* 57(4):72. 1983
- 66) Pomeranz, Y. Wheat flour lipids-what they can do and cannot do in bread. *Cereal Foods World.* 30(7):443-446. 1985
- 67) Ponte, J.G., Titcomb, S.T., Cotton, R.H. Flour as a factor in bread firming. *Cereal Chem.* 39:437. 1962
- 68) Puratos, S.A. y T-500 de México. El mejorante del pan: una noción antigua. *Pan.* 305:7-10. 1979
- 69) Roewe, P., Lorenz, K., Kulp, K. Staling of variety breads. *Lebensm.-Wiss.U. Technol.* 15(5):263-266. 1982
- 70) Rogers, D.E., Hosoney, R.G. Breadmaking properties of DATEM. *Bakers Dig.* 57(5):12. 1983

ESTA YEAR EN
SALA DE LA BIBLIOTECA

- 71) Sandsted, R.M. The function of starch in the baking of bread. Bakers Dig. 35(3):36. 1961
- 72) Schoch, T.J. Starch in bakery products. Bakers Dig. 39(2):48. 1965
- 73) Senti, F.R., Dimler, R.J. Changes in starch and gluten during aging of bread. Bakers Dig. 34(1):28. 1960
- 74) Shelton, D.R., D'Appolonia, B.L. Carbohydrate functionality in the baking process. Cereal Foods World. 30(7):437-442. 1985
- 75) Sherman, P. Industrial Rheology. Academic Press: London. 1970
- 76) Short, A.L., Roberts, E.A. Pattern of firmness within a bread loaf. J. Sci. Food Agric. 22:470. 1971
- 77) Shuey, C.W. The farinograph handbook. Am. Association of Cereal Chem., St. Paul, Minn. 1972
- 78) Shuey, C.W. Practical instruments for rheological measurements on wheat products. Ed: Rheology of wheat products: a symposium. pp. 42. Montreal, Quebec, Canada. 1974
- 79) Smerak, L. Effective commercial no-time dough processing for bread and rolls. Bakers Dig. 57(4):20. 1983
- 80) Stauffer, C.E. Dough Conditioners. Cereal Foods World. 28(12):729-730. 1983
- 81) Steel, G.D.R., Torrie, H.J. Principles and Procedures of Statistics. 2nd Ed. pp. 137, 187. Mc Graw-Hill Book Co. U.S.A. 1980
- 82) Stutz, R.L., DeL Vecchio, A.J., Tenney, R.J. The role of emulsifiers and dough conditioners in food. Food Prod. Dev. 10:52. 1973
- 83) Tenney, R.J. Dough conditioner and bread softeners. The surfactants used in breadmaking. Bakers Dig. 54(2):24. 1984
- 84) Tsen, C.C. The improving mechanism of ascorbic acid. Cereal Chem. 42:86. 1965
- 85) Tsen, C.C. Changes in flour proteins during dough mixing. Cereal Chem. 44:308. 1967
- 86) Tsen, C.C., Hlynka, I. Flour improvers: Their effects, applications and chemical actions. Bakers Dig. 41(5):58. 1967

- 87) Tsen, C.C., Weber, J. Dough properties and proof times of yeasted doughs affected by surfactants. *Cereal Chem.* 58(3):180. 1981
- 88) Tu, C.C., Tsen, C.C. Effects of mixing and surfactants on microscopic structure of wheat glutenin. *Cereal Chem.* 55:87. 1978
- 89) Voisey, P.W. Modernization of texture instrumentation. *J. Texture Studies.* 2:129. 1971
- 90) Watson, K.S., Walker, C.E. The effect of sucrose-esters on flour water dough mixing characteristics. *Cereal Chem.* 63(1):62-64. 1986
- 91) Willhoff, E.M.A. Bread staling. I. Experimental study. *J. Sci. Food Agric.* 22:176. 1971
- 92) Willhoff, E.M.A. Recent developments on the bread staling problem. *Bakers Dig.* 47(6):14. 1973
- 93) Wootton, M. Binding and extractability of wheat flour lipid after dough formation. *J. Sci. Food Agric.* 17:297. 1966
- 94) Zar, J.H. *Biostatistical Analysis*. 2nd Ed. Prentice-Hall Inc., pp. 177, 199. Englewood, N.J. 1984