



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES**

**"CUAUTITLAN"**

**ESTUDIO COMPARATIVO DEL USO DE  
AGENTES TENSOACTIVOS  
EN PANIFICACION**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO EN ALIMENTOS**

**P R E S E N T A**

**FELIPE TREJO OLIVARES**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO 1990**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## CONTENIDO

Capítulo	Pág.
RESUMEN .....	1
I INTRODUCCION .....	2
II REVISION DOCUMENTAL .....	4
2.1. El pan, importancia economica y nutricional....	4
2.2. Antecedentes sobre el consumo nacional de pan..	4
2.3. La Industria de panificacion en Mexico .....	6
2.4. Producción y abastecimiento de la materia prima	9
2.5. Problemas relacionados a la calidad de la harina y del pan .....	12
2.6. Composición y funcionalidad de los componentes de la harina de trigo en la panificación .....	18
2.6.1. Carbohidratos .....	18
2.6.2. Proteínas .....	19
2.6.3. Lípidos .....	20
2.7. Panificación .....	21
2.8. Ingredientes .....	21
2.8.1. Básicos .....	22
2.8.1.1. Harina .....	22
2.8.1.2. Agua .....	22
2.8.1.3. Levadura .....	23
2.8.1.4. Sal .....	23
2.8.2. Opcionales .....	24
2.8.2.1. Leche .....	24
2.8.2.2. Grasa .....	24
2.8.2.3. Azucar .....	25
2.8.3. Coadyuvantes .....	25
2.8.3.1. Agentes oxidantes .....	26
2.8.3.2. Alimento para levadura .....	26

2.8.3.3. Emulsificantes .....	26
2.8.3.4. Conservadores .....	27
2.8.3.5. Antioxidantes .....	27
2.9. Etapas del proceso de panificación .....	27
2.9.1. Mezclado .....	27
2.9.2. Fermentación .....	29
2.9.3. Fresado .....	31
2.9.4. División .....	31
2.9.5. Boleado .....	31
2.9.6. Periodo de prueba intermedia .....	32
2.9.7. Moldeado .....	32
2.9.8. Periodo de prueba final .....	33
2.9.9. Horneado .....	33
2.9.10. Enfriado, rebanado y empaque .....	34
2.10. Métodos de panificación .....	35
2.10.1. Métodos convencionales .....	35
2.10.1.1. Método masa-directa .....	35
2.10.1.2. Método esponja-masa .....	37
2.10.1.3. Método esponja líquida .....	39
2.10.2. Métodos recientes .....	39
2.10.2.1. Proceso DoMaker y AmFlow ...	40
2.10.2.1. Proceso Chorleywood .....	45
2.11. Uso de agentes tensoactivos en el proceso de panificación .....	45
2.11.1. Tensoactivos: definición, composición y estructura .....	45
2.11.2. Clasificación de tensoactivos .....	46
2.11.3. Aspectos teóricos del comportamiento de tensoactivos en relación a su uso en panificación .....	48
2.11.3.1. Actividad de superficie y tensión superficial .....	
2.11.3.2. Formación de películas monomoleculares .....	50
2.11.3.3. Comportamiento mesomórfico ..	52

Capitulo	Pag.
2.11.4. Uso de tensoactivos en panificación ...	59
2.11.4.1. Reforzadores de masa .....	61
2.11.4.2. Suavizantes de la miga .....	63
2.11.5. Efecto de los tensoactivos durante el procesamiento y almacen del pan .....	65
2.11.6. Regulaciones Internacionales sobre el uso de agentes tensoactivos en panifica cion .....	70
III OBJETIVOS .....	74
IV MATERIALES Y METODOS .....	75
4.1. Materiales .....	75
4.1.1. Materia prima .....	75
4.1.2. Tensoactivos .....	75
4.1.3. Ingredientes .....	75
4.2. Métodos .....	75
4.2.1. Caracterización de las propiedades fisi cas y químicas de la harina .....	75
4.2.1.1. Análisis químico de la harina.	76
4.2.1.2. Pruebas reológicas .....	79
4.2.2. Preparación de hidratos .....	81
4.2.3. Pruebas reológicas con tensoactivos ...	83
4.2.4. Pruebas de panificación con tensoactivos	83
4.2.5. Medición de la dureza del pan en el Ins tron Universal .....	84
4.2.6. Análisis estadístico .....	86
V RESULTADOS Y DISCUSION .....	88
5.1. Propiedades físicas y químicas de la harina ..	88
5.2. Formación de hidratos .....	90

Capítulo	Pág.
5.3. Pruebas reológicas de la masa con tensoactivos	90
5.4. Pruebas preliminares de panificación con tensoactivos (etapa de selección) .....	99
5.5. Pruebas de panificación con los tensoactivos seleccionados .....	101
VI CONCLUSIONES .....	120
VII BIBLIOGRAFIA .....	122
VIII APENDICES .....	130
1. Pruebas químicas .....	130
A. Determinación de proteína .....	130
B. Determinación de gluten .....	133
C. Determinación de humedad .....	134
D. Determinación de cenizas .....	135
E. Prueba de sedimentación o de Zeleny .....	136
2. Pruebas reológicas .....	138
A. Farinógrafo de Brabender .....	138
B. Alveógrafo de Chopin .....	140
C. Extensógrafo de Brabender .....	142
3. Prueba de panificación (método masa-directa) ...	145
4. Prueba en el Instron Universal (evaluación de la dureza del pan) .....	150

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pag.
1	Composición químico proximal del pan (en 100 g de peso neto) .....	5
2	Consumo anual de pan para el período 1970-1979 ..	7
3	Superficie cosechada, producción y rendimiento de trigo .....	11
4	Variedades de trigo autorizadas por la SARH para la siembra comercial en la región Noroeste del país .....	13
5	Propiedades generales de los tensoactivos en relación a su HLB .....	49
6	Tensoactivos catalogados en los estándares de identidad para los productos horneados .....	60
7	Efecto de los tensoactivos en la formación de complejos con la amilosa .....	64
8	Ventajas e inconvenientes de las diferentes formas de uso de tensoactivos .....	66
9	Tensoactivos aprobados en EUA y Europa para su uso en panificación .....	71
10	Resumen de propiedades y valores para la clasificación de los tensoactivos listados en el cuadro 9	72

Cuadro		Pag.
11	Tensoactivos utilizados en la experimentacion ...	73
12	Propiedades fisico-quimicas de la harina .....	89
13	Pruebas reologicas con tensoactivo en el alveografo de Chopin .....	91
14	Pruebas reologicas con tensoactivo en el extenso grafo de Brabender .....	96
15	Pruebas de panificacion con tensoactivos: volumen especifico (cc/g) del pan .....	100
16	Pruebas de panificacion con tensoactivos: fuerza de compresion (Kgf) del pan evaluada al 1er., 4o. y 7o. día de almacenamiento .....	103
17	Volumen especifico (cc/g) del pan con los tensoactivos seleccionados .....	107
18	Análisis de varianza: volumen especifico del pan con los tensoactivos seleccionados .....	108
19	Fuerza de compresion (Kgf) del pan con los tensoactivos seleccionados, evaluada al 1er., 4o. y 7o. día de almacenamiento .....	113
20	Análisis de varianza: Fuerza de compresion del pan con los tensoactivos seleccionados .....	114



## INDICE DE FIGURAS

Figura		Pag.
1	Localización del consumo nacional de pan elaborado de trigo .....	8
2	Localización de las zonas productoras de trigo .	10
3	Alveogramas de trigos harineros .....	14
4	Farinogramas de trigos harineros .....	15
5	Extensogramas de trigos harineros .....	16
6	Mezclogramas de trigos harineros .....	17
7	Método masa-directa .....	36
8	Método esponja líquida .....	38
9	Proceso DoMaker .....	41
10	Proceso AmFlow .....	42
11	Desarrollo químico de la masa .....	43
12	Comparación de las etapas y tiempo de proceso entre los métodos convencionales y recientes de panificación .....	44
13	Comportamiento electroquímico de los tensoactivos .....	47

Figura		Pág.
14	Modelo esquemático de la transformación del tensoactivo (forma hidrato) .....	51
15	Estado físico de las películas de superficie ...	54
16	Modelos estructurales de las mesofases laminar, cubica y hexagonal .....	55
17	Diagrama de fase, monoglicéridos destilados saturados .....	57
18	Modelos de interacción proteína-tensoactivo ....	62
19	Influencia de los tensoactivos en la producción y calidad del pan .....	69
20	Curva Farinográfica .....	78
21	Curva característica del alveograma .....	80
22	Parámetros obtenidos del extensograma .....	82
23	Medición de la dureza en el Instron Universal ..	85
24	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la fuerza general de la harina .....	93
25	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el índice de tenacidad/extensibilidad de la masa, medido en el alveógrafo de Chopin .....	94
26	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el índice de tenacidad/expansión, medido en el alveógrafo de Chopin .....	95

Figura		Pág.
27	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la energía o fuerza de la masa, medida en el extensógrafo de Brabender .....	97
28	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la extensibilidad de la masa, medida en el extensógrafo de Brabender .....	98
29	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el volumen específico del pan (selección) .....	102
30	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 1er. día de almacenamiento (selección)..	104
31	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 4o. día de almacenamiento (selección) ..	105
32	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 7o. día de almacenamiento (selección) ..	106
33	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el volumen específico del pan .....	110
34	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el volumen específico del pan .....	111
35	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 1er. día de almacenamiento .....	115

Figura		Pág.
36	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 4o. día de almacenamiento .....	116
37	Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 7o. día de almacenamiento .....	117
38	Efecto de los tensoactivos a la concentración de 0.3% sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 1er., 4o. y 7o. día de almacenamiento ..	118

## RESUMEN

Se evaluó la funcionalidad de nueve tensoactivos como reforzadores de masa y retardadores del endurecimiento del pan. Los tensoactivos fueron utilizados en la forma de hidrato y se agregaron directamente sobre la harina a la concentración de 0.1, 0.3 y 0.5% en base al peso de la misma. El método de panificación utilizado fue el de masa directa y las variables de respuesta fueron el volumen específico del pan (cc/g) y la dureza de la miga (Kgf), evaluada en el Instron Universal modelo 1130, al 1er., 4o. y 7o. día de almacenamiento.

Los resultados obtenidos mostraron diferencias en el comportamiento de los tensoactivos. El volumen específico del pan fue aumentado con la adición gradual de tensoactivo, los volúmenes más altos se obtuvieron con la adición del estearil-2-lactilato de sodio (SSL), estearil-2-lactilato de calcio (CSL), estearato (9) polioxietilénico (PS) y monoglicéridos estoxilados (EMG) a la concentración de 0.3%. El aumento del volumen específico del pan por estos tensoactivos fue el resultado de su efecto fortalecedor de la masa.

Las pruebas de compresión del pan con respecto a los días de almacenamiento mostraron una disminución de la dureza de la miga; los panes elaborados con SSL, CSL, PS y EMG a la concentración de 0.3% fueron más suaves que el testigo al 7o. día de almacenamiento. El efecto suavizante de los tensoactivos coincidió, en el mismo orden, con los índices de formación de complejo con el almidón.

## I. INTRODUCCION

Los tensoactivos son sustancias químicas formadas por cadenas (hidrofóbicas) de ácidos grasos esterificadas a un grupo polar (hidrofílico) que puede provenir de diferentes tipos de alcoholes polivalentes, tales como: glicerol, propilen glicol, sorbitol o glucosa. El grupo polar puede, además, ser modificado mediante esterificación con ácidos orgánicos, tales como: ácido acético, diacetil tartárico, succínico, cítrico o láctico.

La estructura química de los tensoactivos contempla una parte liposoluble y otra hidrosoluble; debido a esto, la molécula de tensoactivo puede actuar en la interfase de dos o más fases inmiscibles, originando el fenómeno conocido como actividad de superficie y cuya acción más importante es la reducción de la tensión superficial.

La propiedad emulsificante de los tensoactivos es la más difundida en la Industria de Alimentos; no obstante, en la industria panificadora los tensoactivos juegan un papel más importante, ya que mejoran la suavidad y extensibilidad de la masa, aumentando con ello su resistencia al trabajo mecánico; mejoran también las características de volumen y textura del pan, además de conservarlo suave y fresco durante más tiempo.

El desarrollo de la Industria Panadera depende en gran medida de la producción de diversas presentaciones de pan con alta calidad, el proceso y calidad de los ingredientes utilizados juegan un papel muy importante y deben estar bajo un estricto control de aseguramiento de calidad.

Precisamente, uno de los mayores problemas que enfrenta la Industria Panadera es la inconsistencia en la calidad de los ingredientes utilizados; estas variaciones generalmente alteran la aceptabilidad final del producto y contravienen las expectativas preferenciales del consumidor basadas en el volumen, suavidad, frescura, sabor, color y valor nutritivo del pan.

Así por ejemplo, la harina de trigo que utiliza la Industria Panadera proviene de diversas variedades de trigo cultivadas, generalmente, en ambientes diferentes y en distintas condiciones postcosecha. Estas variaciones afectan el potencial panadero de la harina que depende del contenido y calidad de las proteínas de trigo, las cuales determinan las propiedades de amasado, absorción de agua y desarrollo del gluten para la producción de un pan de alta calidad.

El pan, principalmente el blanco, tiene una de las vidas de anaquel mas cortas que existen entre los productos alimenticios de consumo diario, ya que después de dos días se retira de la venta al público por la disminución de sus cualidades de textura, sabor y olor, provocado por un complejo fenómeno fisicoquímico denominado "deterioro" del pan, el cual abarca todos los cambios que ocurren en el pan después de horneado.

Los cambios que sufre el pan debido al deterioro son: aumento de la firmeza de la miga, aumento en la cristalización del almidón en la miga, disminución de la retención de humedad y mayor susceptibilidad al ataque enzimático.

La función de los tensoactivos es mejorar las características del pan y puede ser mediante 2 tipos de acciones: como reforzadores del gluten y retardadores del endurecimiento del pan. El presente trabajo, tiene como objetivo principal evaluar las diferencias funcionales de 9 tensoactivos ampliamente utilizados en la Industria de Panificación en México.

## II. REVISION DOCUMENTAL.

### 2.1. El pan, importancia económica y nutricional.

El pan es un alimento importante en la dieta de la población mexicana y un producto básico que contribuye al desarrollo de la economía agroindustrial, ya que en torno a su producción intervienen otras actividades agrícolas y de transformación industrial (33,60).

Como alimento, el pan aporta básicamente a la dieta hidratos de carbono, por lo que es considerado como un alimento calórico, aunque su aporte en proteínas es también importante (27). Ver cuadro 1. El valor nutricional y calidad del pan esta en función de la composición química y propiedades físicas de la harina de trigo (53).

Existen muchos tipos de pan que varían en forma, peso, volumen, corteza, tamaño de grano y textura de la miga; estas características dependen de la formulación, método y condiciones del proceso utilizado. Los atributos sensoriales son, en primera instancia, los que determinan el grado de aceptación del pan; sin embargo, otros factores de conveniencia como son el grado de conservación y su valor nutritivo también son importantes.

### 2.2. Antecedentes sobre el consumo nacional de pan.

En México existen 96 variedades diferentes de pan (32). El tipo de pan más popular es el denominado bolillo, este producto se fabrica a nivel artesanal y es de consumo inmediato. El bolillo muestra cierta desventaja respecto al pan blanco de caja que se elabora y empaqueta a nivel industrial; el grado de conservación de este producto es mayor, y por tanto su margen de comercialización es más amplio.



Cuadro 1. COMPOSICION QUIMICO PROXIMAL DEL PAN

ALIMENTOS	Porcion comestible	Energia (kcal)	Proteinas (g)	Grasas (g)	Carbohidratos (g)
Harina para pan	1.0	372	10.7	1.6	76.5
Pan blanco	1.0	292	8.4	0.5	62.1
Pan de dulce	1.0	354	9.1	11.6	69.8
Pan de caja (enriquecido)	1.0	285	8.9	2.6	55.1
Pan integral	1.0	238	8.1	0.0	54.0
Pan tostado	1.0	468	12.2	6.5	73.8
Panque (enriquecido)	1.0	287	8.8	3.8	53.2
Pastas	1.0	340	9.4	0.4	72.8
Pan negro	1.0	265	7.5	2.1	58.5

En 100 g de peso neto

Fuente: Instituto Nacional de la Nutrición, México 1983

El consumo de pan en nuestro país se ha incrementado rápidamente en los últimos años como consecuencia de los cambios en el régimen alimenticio de la población (ver cuadro 2). El pan es demandado en mayor o menor grado por todos los núcleos sociales, pero principalmente en el sector urbano donde se concentran los asentamientos poblacionales de mayores ingresos. Así por ejemplo, el 33.3% del consumo total de pan se concentra en el D.F. y Estado de México; el 34.5% en los estados de Tamaulipas, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Veracruz y Puebla; y el 32.2% en las 23 entidades restantes (60). Ver figura 1.

El gasto medio que la población destina a la compra de productos de panificación depende del nivel de ingreso familiar y del número de miembros de la misma. Así, la encuesta ingreso-gasto (SPP 1977) informó que el 57% de la población (23,614,000 hab.), de ingresos iguales o inferiores al salario mínimo, destinó el 7.35 % de su ingreso a la compra de pan; en tanto, el 63 % de la población restante (40,207,600 hab.) de ingresos superiores destinó el 8.55 %. Los productos con mayor relación en el gasto fueron el pan dulce y de caja seguido por el pan blanco (60).

### 2.3. La industria de panificación en México.

La industria panificadora nacional está constituida por 7387 establecimientos de pequeña y mediana escala que aportan el 57.7% de la producción total; el 42.3% restante es aportado por 9 unidades industriales y son las que presentan el mayor dinamismo en términos de su participación en la producción (60).

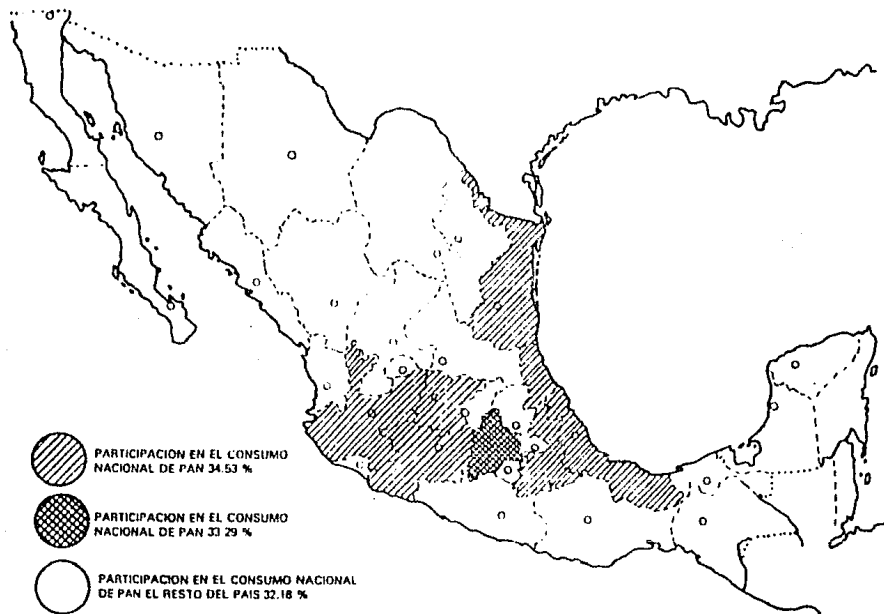
El rápido crecimiento de este sector industrial se debe al aumento en el capital de inversión y del personal ocupado, lo que unido al alto grado de tecnificación establece la gran diferencia entre la industria y los establecimientos de pequeña y mediana escala. Estos últimos se encuentran en la imposibilidad de competir con la industria en términos de la variedad de producto y canales de distribución, debido a esto su participación se encuentra limitada sólo al mercado local.

Cuadro 2. CONSUMOS ANUALES DE PAN PARA EL PERIODO 1970-1979

Años	Población (miles)	Consumo de pan (toneladas)
1970	50,694.60	676,772.91
1971	52,418.20	699,762.97
1972	54,195.20	723,505.92
1973	56,021.60	747,668.36
1974	57,898.80	772,948.76
1975	59,826.30	789,681.10
1976	61,800.60	825,038.01
1977	63,821.50	852,017.02
1978	65,843.60	879,012.06
1979	67,899.00	906,451.65

Fuente: Encuesta Nacional de Alimentación 1979, INI  
 Coordinación General de Desarrollo Agroindustrial, SAGH

Figura 1.- LOCALIZACION DEL CONSUMO NACIONAL DE PAN ELABORADO DE TRIGO



FUENTE: Elaboraciones estadísticas de la Subdirección de Programación Agroindustrial, D.G.P.A.J., Coordinación General de Desarrollo Agroindustrial, S.A.R.H.

La industria elabora artículos de panadería con mayor grado de conservación permitiéndoles abarcar mercados más amplios. Tal es el caso de BIMBO y productos MARINELA, empresas altamente tecnificadas dirigidas principalmente a un mercado diferencial formado por la población de elevados ingresos.

#### 2.4. Producción y abastecimiento de la materia prima.

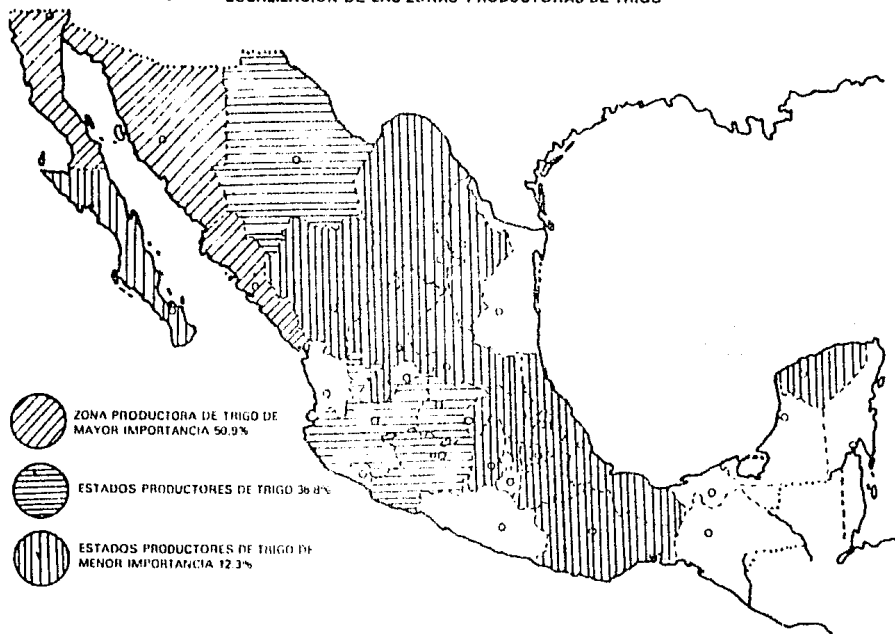
La harina de trigo es la materia prima más importante en la fabricación de pan. La obtención de este material depende en primera instancia de la producción nacional de grano; ésta se canaliza preferencialmente a la industria molinera para producir las diferentes calidades de harina que demandan los subsecuentes procesos de transformación industrial.

De acuerdo con la información estadística de la SARH, la producción de trigo ocupa el cuarto lugar en cuanto a superficie cosechada (después del maíz, sorgo y frijol) y el tercer lugar en volumen de producción. La producción de trigo abarca todo el año y está dividida en dos ciclos: primavera-verano y otoño-invierno; siendo el trigo un cultivo que se realiza principalmente con riego, el ciclo otoño-invierno es el de mayor importancia ya que en este ciclo se obtiene habitualmente el 91% de la producción total (33).

El trigo se cultiva principalmente en dos regiones del país; la norte-noroeste, formada por los estados de Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Baja California Norte y Sur que contribuye con el 70.1% de la producción total, y la región centro integrada por los estados de Guanajuato, Michoacán y Jalisco con el 24.9 % (33). Ver figura 2.

Es importante destacar que hasta 1983 nuestro país realizaba importaciones de trigo para cubrir una demanda interna que la producción nacional no podía abastecer; sin embargo, en los años 1985 y 1986 las cosechas nacionales de trigo alcanzaron cifras record del orden de 5.2 y 4.8 millones de toneladas, respectivamente, permitiendo así alcanzar la autosuficiencia de grano (33). Ver cuadro 3.

Figura 2.- LOCALIZACION DE LAS ZONAS PRODUCTORAS DE TRIGO



FUENTE: Elaboraciones estadísticas de la Subcomisión de Fomento Agrícola, D. I. P. A. I., Coordinación General de Desarrollo Agrario, S. A. R. H.

Cuadro 3. SUPERFICIE COSECHADA, PRODUCCION Y RENDIMIENTO DE TRIGO

Años	Superficie (miles de has.)	Producción (miles de tons.)	Rendimiento (ton./ha.)
1960	839.814	1,189.970	1.4
1970	886.169	2,676.451	3.0
1980	785.841	2,642.800	3.4
1984	1,002.200	4,423.000	4.4
1985	1,198.700	5,199.900	4.3
1986	1,234.200	4,836.800	3.9

Fuente: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, México  
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA  
 SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

La producción nacional de trigo se destina a tres áreas de consumo: alimentación (vía industria panificadora, de pastas y galletas), consumo animal -agrupado con el de la industria química-, y como semilla para siembra. Dentro de la parte destinada al consumo humano, la industria panificadora absorbe el 70 %, la de pastas y galletas el 11 %, la procesadora de frituras y tortillas el 7 %, y el consumo doméstico el 12 % restante (33).

## 2.5. Problemas relacionados a la calidad de la harina y del pan.

La dependencia que los fabricantes de pan tienen del abastecimiento de harinas adecuadas, ha obligado la integración de la industria molinera con la de panificación. Para la obtención de la calidad requerida, la industria molinera realiza diferentes mezclas de variedades comerciales de trigo, que en un número aproximado de 26 variedades se siembran en el país. Ver cuadro 4.

Las variedades comerciales de trigo harinero se clasifican y valúan en función de la composición química del grano, principalmente en el contenido y calidad del gluten. La aptitud panadera de una harina y su comportamiento en el proceso de panificación dependen de un gran número de factores, entre los que cabe citar: su capacidad de hidratación, la extensibilidad y elasticidad de la masa y su capacidad de producir y retener el gas (7,34,56).

Actualmente, se dispone de un gran número de aparatos como son: el alveógrafo, farinógrafo, extensógrafo y mezclógrafo que permiten evaluar, a nivel laboratorio, con cantidades pequeñas de harina las características citadas del gluten y, por tanto, predecir su comportamiento en el proceso de panificación industrial. En base a esto se distinguen 4 grupos importantes de gluten con distintos usos industriales. Ver figuras 3,4,5 y 6.

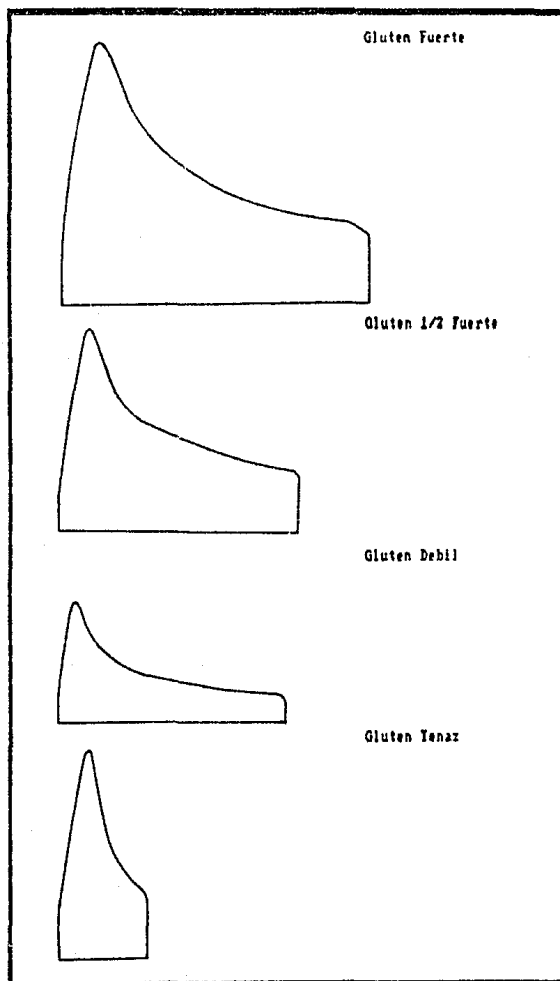


Cuadro 4. VARIEDADES DE TRIGO AUTORIZADAS POR LA SARH PARA LA SIEMBRA COMERCIAL EN LA REGION NOROCCIDENTE DEL PAIS.

Grupo	Varietades Autorizadas	Características de Gluten	uso industrial
1	INIA F-66, TANDRI F-71, SARIC F-70, SARIC F-71, YECORA F-70, CAJEME F-71, JUPATECO F-73, TOKIM F-73, TOLUCA F-73, ANAHUAC F-15, COCCORQUE F-75	Fuerte y elastico	Industria mecanizada de panificación y mejorador de trigos suaves.
3	LERMA ROJO 64, ANOME S-70, POTAM S-70, VICAM S-71, CLEOPATRA VS-74, ZARAGOZA S-73	Suave y extensible	Industria galletera y elaboración de tortillas.
4	SIETE CERROS 1-66	Corto y tenaz	Industria pastelería
5	COCORIT C-71, MEXICALI C-75	Tenaz, corto y cristalino, con alto contenido de caroteno	Industria de pastas y macarrones.

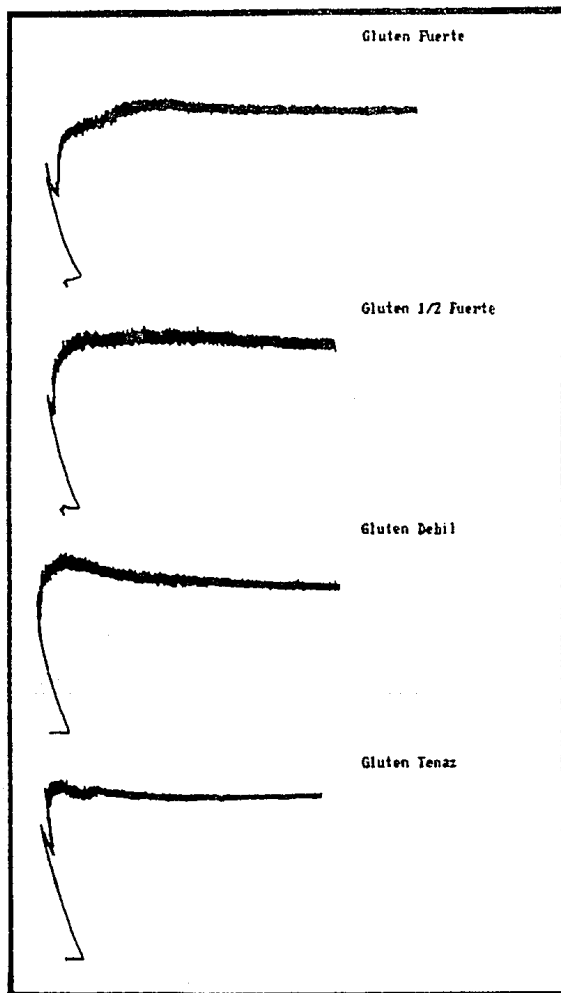
Fuente: CONASUPO, DGFAI, SARH

Figura 3.- ALVEIOGRAMAS DE TRIGOS HARINEROS



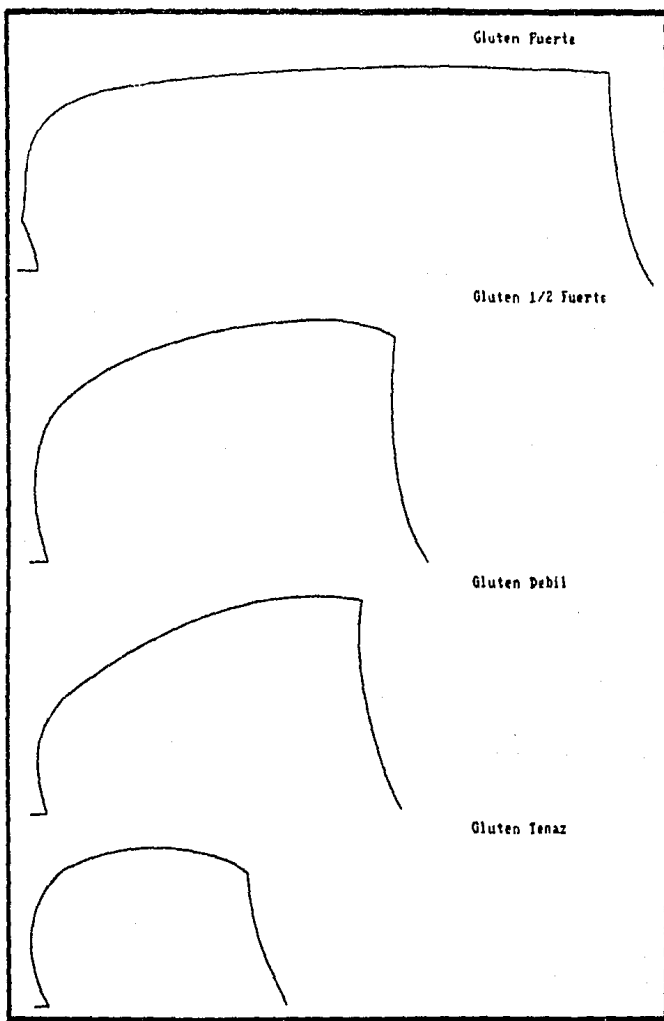
Fuente: INIFAP, Chapingo Edo. Méx.

Figura 4. - FARINOGRAMAS DE TRIGOS HARINEROS



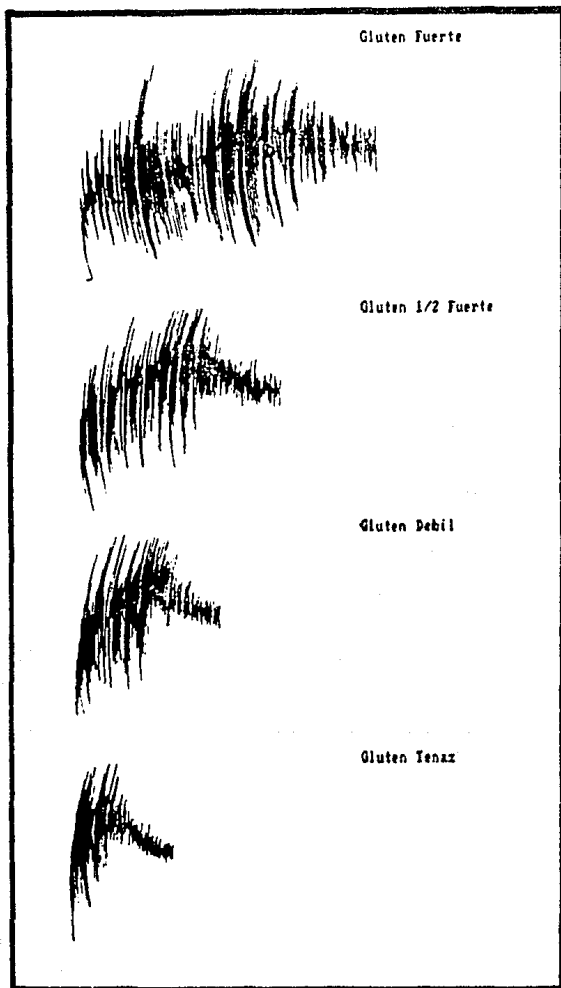
Fuente: INTAP, Chapingo Edo. Méx.

Figura 3.- EXTENSOGRAMAS DE TRIGOS HARINEROS



Fuente: INIFA?, Chapingo Edo. Méx.

Figura 6.- MEZCLOGRAMAS DE TRIQOS MARINEROS



El farinografo permite evaluar la capacidad de absorción de agua de la harina. Las características viscoelásticas -elasticidad, extensibilidad, tenacidad, estabilidad- de una masa pueden estimarse facilmente con el alveografo, farinografo y extensografo. Finalmente la informacion acerca del comportamiento de la masa en el mezclado -tiempo optimo y resistencia al esfuerzo mecánico- se puede obtener con el mezclografo de Swanson (58).

Las pruebas reológicas citadas son muy importantes en el aseguramiento de la calidad de la harina. Una harina propia para el proceso de panificación se caracteriza por varias propiedades, tales como: una elevada absorcion de agua, capacidad para soportar tratamientos mecánicos, y producir una pieza de mayor volumen, buena textura y apropiado color de corteza. Esto también puede ser asistido con el uso de aditivos quimicos que mejoran las características del producto y facilitan su producción industrial.

#### 2.6. Composición y funcionalidad de los componentes de harina de trigo en la panificación.

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

##### 2.6.1. Carbohidratos.

El almidón es el mayor componente de la harina de trigo con un porcentaje entre 75 y 80 %. El almidón es una fuente importante de azúcar para la fermentación, ya que es convertido en maltosa por la acción de las alfa-amilasas presentes, proporciona una superficie adecuada para lograr una fuerte unión con las proteínas del gluten y da flexibilidad para la expansión de la hogaza mediante la gelatinización parcial (7,34,56).

La gelatinización del almidón es el fenómeno más importante que ocurre en la masa durante la panificación; consiste en una serie de cambios que se manifiestan a nivel molecular, el primero en ocurrir es el hinchamiento de los granulos de almidón, seguido por la pérdida de birrefringencia y el rompimiento de los gránulos con exudación de amilosa (21).

El grado de gelatinización depende de la cantidad de agua disponible y de la presencia de sal, azúcar, grasas, emulsificantes, así como del tratamiento con cloro de la harina. El rompimiento enzimático del almidón gelatinizado es provocado por la actividad alfa-amilásica y la temperatura en un rango de 60-75 C. Durante el horneado, el almidón gelatinizado absorbe agua del gluten y forma una estructura permeable a los gases que previene la disminución drástica del volumen de la hogaza al enfriarse (22,24).

#### 2.6.2. Proteínas.

Las proteínas son el componente más importante en la funcionalidad de la harina; constituyen el 9-13% del peso seco de la harina de trigo. El 85% de las mismas poseen la característica singular de combinarse con el agua, dando lugar a la formación del denominado gluten, que confiere a la masa sus propiedades plásticas características -cohesividad, extensibilidad, elasticidad y capacidad de retención de gas-, que son propias de la masa panaria.

En estado seco el gluten contiene 75-80% de proteínas, 5-15% de almidón, 5-10% de lípidos y menos de 1% de elementos minerales. Las proteínas presentes en la harina de trigo se clasifican en base al método fraccionario de Osborne en cuatro clases: solubles en agua (albuminas), solubles en solución salina (globulina), solubles en alcohol (gliadinas) y solubles en ácido y alcali (gluteninas) (7).

El gluten está básicamente constituido por gluteninas y gliadinas; las gluteninas, cuando se hidratan forman una masa tenaz y elástica, mientras que la gliadinas dan lugar a una masa muy fluida, viscosa y poco elástica. El gluten, en conjunto, muestra propiedades de cohesión, elasticidad y viscosidad intermedia.

Tanto las gliadinas como gluteninas contienen abundantes enlaces disulfuro, pero mientras que en las gliadinas son principalmente de tipo intramolecular, originando plegamiento de cadenas; en las gluteninas, son en su mayoría, de tipo intermolecular que originan agregados de alto peso molecular. Las propiedades viscoelásticas del gluten son, en gran parte, función de la presencia, en porción adecuada, de enlaces disulfuro intra e intermoleculares (56).

El bajo nivel de cargas potenciales -negativas y positivas- de las proteínas del gluten reduce las fuerzas de repulsión entre moléculas y permite que estas puedan interaccionar con facilidad, formando una matriz estable que es responsable de la retención el gas producido en la fermentación (7,34).

La capacidad de alargamiento de la masa -extensibilidad-, así como la tendencia de la misma a volver a su estado original -elasticidad-, dependen fundamentalmente del número y naturaleza de los enlaces interpeptídicos que se forman, los grupos iónicos y no iónicos de las proteínas determinan el tipo de enlaces formados que pueden ser de cuatro tipos: puentes de hidrógeno, enlaces amida, sulfihidrido, disulfuro, o interacciones hidrofóbicas (3).

### 2.6.3. Lípidos

Los lípidos se encuentran presentes en la harina de trigo en un porcentaje de 1.4 a 2% y se dividen en polares y no polares (48). Pueden agruparse también en: lípidos enlazados dentro del granulo de almidón y en lípidos no enlazados o libres.



Los lípidos libres están constituidos fundamentalmente por triglicéridos (55%), abundando también los glicolípidos y fosfolípidos. Los lípidos enlazados son casi exclusivamente lípidos monoácidos, constituidos en un 86-96% por lisofosfolípidos.

En la panificación, los lípidos más importantes son los libres y, de ellos, los polares. Para la mejor calidad panadera de la masa y del volumen del pan, es necesaria una proporción adecuada de lípidos polares; estos actúan como agentes humectantes, facilitando la hidratación de la harina y el ordenamiento y deslizamiento de las moléculas de proteína durante el amasado.

Los lípidos polares y las moléculas de proteína forman asociaciones mediante enlaces hidrotóxicos que refuerzan la estructura del gluten; y de esta manera, aumentan su capacidad de retención de gas y permiten la obtención de un pan con mayor volumen y distribución de grano más uniforme (56).

## 2.7. Panificación.

En la elaboración de pan intervienen como mínimo cuatro ingredientes básicos: harina, agua, levadura y sal que se mezclan para obtener una masa uniforme con propiedades elásticas que se deja fermentar, la cual, es capaz de retener el gas generado en su interior por la acción fermentativa de la levadura sobre los azúcares presentes (maltosa, glucosa, etc.), desprendiendo bióxido de carbono y otros compuestos que esponjan la masa, haciéndola más ligera y digerible después de un tratamiento térmico (7,34).

El producto que se obtiene es un cuerpo sólido expandido de aroma y sabor agradable, cuya parte exterior (corteza), más o menos oscura y firme, contrasta con el interior de consistencia más blanda y porosa.

## 2.8. Ingredientes.

La calidad del pan depende en gran medida de los ingredientes que se empleen, por ello es muy importante considerar este factor. Los ingredientes utilizados pueden clasificarse en básicos, opcionales y de ayuda.

### 2.8.1. Básicos.

Los cuatro ingredientes básicos en la panificación son:

#### 2.8.1.1. Harina.

La harina es el mayor componente estructural de la masa, este ingrediente es responsable de las características viscoelásticas de la misma y de su capacidad de retener el gas, así como de formar la estructura alveolar (7,34).

Estas propiedades de la harina se atribuyen a dos de sus componentes principales: proteínas y almidón. La función de las proteínas de trigo se hace patente cuando al mezclarlas con el agua se obtiene una masa elástica, esta característica se debe a la presencia de las proteínas glutenina y gliadina que conforman el gluten. El gluten es la estructura que le da consistencia a la masa, retiene los gases producidos por la fermentación y le da rigidez al producto después de horneado (7,34)

El almidón también brinda estructura mediante la gelatinización y cristalización parcial de sus componentes (amilosa y amilopectina); sin embargo, su función más importante es la retención de humedad en el pan (14,21).

La harina contiene también enzimas de tipo diastásico que actúan sobre el almidón, produciendo los azúcares (maltosa) que intervienen en la fermentación.

#### 2.8.1.2. Agua.

El agua permite la hidratación de las proteínas para la formación del gluten, al mismo tiempo hidrata los gránulos de almidón y permite que estos se comiencen a gelatinizar, sirve como medio activador de las enzimas y provee parte de los requerimientos alimenticios de la levadura. El agua actúa también como vehículo al disolver otros ingredientes, ayudando a distribuirlos mejor en la mezcla, controlando además la temperatura y consistencia de la masa.

La cantidad de agua usada en la formulación varía de 50 a 70% dependiendo del tipo de pan, harina y proceso. Entre otros factores, es muy importante controlar las características de dureza del agua, ya que estas afectan a la masa y su fermentación.

#### 2.8.1.3. Levadura.

La levadura utilizada en panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) fermenta los azúcares presentes en la harina (glucosa, fructuosa, sacarosa y maltosa) convirtiéndolos en dióxido de carbono, alcohol etílico y ácidos orgánicos. La producción de estos compuestos es importante en el acondicionamiento y leudado de la masa, además imparten al pan recién horneado un aroma y sabor agradable (7).

La levadura es un organismo vivo que requiere cuidados y un manejo especial; se recomienda almacenarla en refrigeración a una temperatura de 5 C y debe utilizarse lo más rápido posible, ya que envejece y disminuye su poder fermentativo (34).

La cantidad de levadura empleada está en función del tipo de harina, formulación de la masa y método de panificación; varía de 0.5 a 4% y es adicionada en agua a una temperatura no menor de 33 C. Es necesario agregar también ciertos nutrimentos esenciales para asegurar su buen funcionamiento.

#### 2.8.1.4. Sal.

El cloruro de sodio o sal de mesa es otro ingrediente básico que se emplea generalmente a un nivel de 1.75-2.25%. La razón principal de su uso es el impartir sabor, aunque también tiene otros efectos y funciones como el de estabilizar la masa, retardar la actividad proteolítica, regular la fermentación y fortalecer el gluten al unirse con las proteínas, o actuar como vínculo de unión de las proteínas con las grasas.

## 2.8.2. Opcionales.

Dentro de este grupo se encuentran los ingredientes utilizados con el propósito de mejorar el valor nutricional y las características sensoriales del pan. Los ingredientes que normalmente cambian una fórmula común a una enriquecida son:

### 2.8.2.1. Leche.

Este ingrediente enriquece la cantidad de proteínas, minerales y vitaminas. El azúcar presente (lactosa) imparte a la corteza un color oscuro más atractivo que se origina por las reacciones de Maillard.

La leche es utilizada generalmente en forma de polvo descremada a niveles de 2 a 4%. Sin embargo, debido a su alto costo, en la actualidad se prefiere agregar sustitutos de leche conocidos con el nombre de texturizantes. Estas sustancias son una mezcla de harina de soya, suero de leche sólidos no grasos y algunos concentrados proteicos que casi igualan las funciones de la leche.

### 2.8.2.2. Grasa.

Este ingrediente mejora las características y manejo de la masa. Actúa principalmente como lubricante del gluten, haciéndolo más suave y elástico, y aumentando con ello su capacidad de retención del gas (40).

La grasa forma una película entre el gluten y el almidón que impide la pérdida de humedad, evitando que estos dos componentes se compacten al hornear. El resultado es un producto suave y fresco con mayor vida de anaquel.

El uso de la grasa favorece también la formación de una corteza brillante de mejor aspecto, además de mejorar el sabor y el valor nutricional del pan, ya que la grasa transporta vitaminas liposolubles. Sin embargo, no debe utilizarse en exceso porque puede originar pérdidas en el volumen del pan, además de dar una textura y gusto graso que promueve el enranciamiento del pan.

La grasa se emplea generalmente en panificación en un 2-4%. Las grasas empleadas pueden ser de origen vegetal o animal, aunque en la actualidad se prefieren las de origen vegetal porque son más digeribles y no producen problemas de colesterol.

#### 2.8.2.3. Azúcar.

El azúcar añadido es un suplemento de los azúcares presentes en la harina (glucosa, fructuosa, sacarosa y maltosa) que sirven como sustrato de la levadura en la fermentación. El azúcar añadido ayuda además a resaltar el sabor y el color del pan, y a retener el agua en la miga para conservarlo fresco (34).

El azúcar granulado (sacarosa) ha sido durante muchos años la principal forma de adición; sin embargo, en la actualidad está aumentando el uso de jarabes hidrolizados de almidón y de miel que contienen diferentes cantidades de dextrosa (glucosa). Estos dos azúcares varían en capacidad edulcorante y rapidez de fermentación, por lo que deben considerarse para llegar a la formulación deseada.

#### 2.8.3. Loadyuvantes.

Dentro de este grupo se encuentran los aditivos químicos que se utilizan generalmente para modificar las propiedades de la masa y el pan. Los aditivos más comunes son: los agentes oxidantes o mejoradores de la harina, alimento para levadura, enzimas, emulsificantes y antioxidantes.

### 2.8.3.1. Agentes oxidantes.

Se usan para obtener el máximo potencial de la harina, son sustancias químicas que modifican las propiedades elásticas del gluten, favorecen el crecimiento de la masa en el horno y producen hogazas de mayor volumen, grano más fino y uniforme.

Este efecto se conoce como madurador o acondicionador; la adición de agentes oxidantes mejora la fuerza de la harina, manteniendo los enlaces intermoleculares de las gluteninas y provocando la formación de un mayor número de enlaces disulfuro (56).

El agente madurador más popular es el bromato de potasio que se utiliza en una cantidad no mayor a 75 ppm de harina. Otros maduradores con efecto similar son el iodato de potasio, peróxido de calcio, azodicarbonamida y ácido dehidroascórbico (7).

### 2.8.3.2. Alimento para levadura.

El nombre de este ingrediente, no es del todo correcto, ya que además de comprender nutrientes para la levadura (sales de amonio), es más bien, una mezcla de polvos que incluye agentes oxidantes, sales de calcio y fécula de maíz entre otros que acondicionan la masa y el agua.

### 2.8.3.3. Emulsificantes.

Los emulsificantes son sustancias químicas que mejoran la dispersión de los ingredientes y estabilizan la emulsión formada. Los emulsificantes utilizados en panificación tienen también la propiedad de acondicionar la masa y/o alargar la vida de anaquel del pan. Esta propiedad se debe a su capacidad de interaccionar con las proteínas del gluten y/o formar complejos con el almidón (41,59,65,66).

Los emulsificantes más utilizados en panificación son: los estearoil-2-lactilatos de sodio y de calcio, lecitina, monoalcoholes y ésteres del ácido diacetil tartárico a una concentración no mayor de 0.5% en base al peso de la harina.

#### 2.8.3.4. Conservadores.

La adición de conservadores es con objeto de inhibir el crecimiento de hongos (del tipo *Aspergillus* y *Penicillium*) y otros microorganismos en el producto final, esto ayuda a incrementar la vida de anaquel del pan. Los conservadores más utilizados son el propionato de calcio y de sodio a un nivel de 0.10 a 0.32%; otros de menor uso son el diacetato de sodio, ácido acético, fosfato monocalcico y ácido láctico (7.34).

#### 2.8.3.5. Antioxidantes.

Los antioxidantes se usan para evitar la rancidez de la grasa que se utiliza en la formulación, de esta manera se asegura completamente una larga vida de anaquel del producto. Los antioxidantes más comunes son el galato de propilo, hidroxianisol butilado (BHA), hidroxitolol butilado (BHT) y el ácido cítrico (7).

### 2.9 Etapas del proceso de panificación.

#### 2.9.1. Mezclado.

El principal propósito del mezclado es uniformar la dispersión de los ingredientes y ayudar a desarrollar el gluten.

Cuando a la harina se le adiciona agua y se mezcla con el resto de los ingredientes, se obtiene una masa cohesiva, extensible y elástica. Estas propiedades plásticas, características de la masa panaria, se atribuyen a las proteínas del gluten: glutenina y gliadina.

Las moléculas de glutenina son más fuertes y asimétricas, poseen una considerable superficie para asociarse mediante fuerzas no covalentes y quedar fuertemente agregadas; al hidratarse forman una estructura muy tenaz y elástica, mientras las gliadinas, más pequeñas, dan una estructura más fluida y viscosa que facilita la expansión y movilidad de la masa (7,56).

El amasado favorece que estas dos proteínas alcancen la máxima interacción y formen una red tridimensional. Las gliadinas imparten el flujo y la cohesividad necesarias para la extensibilidad de esta estructura, facilitando el movimiento de las aspas del mezclador que ejercen fuerzas de estiramiento y de cizalla sobre las gluteninas más largas tendiendo a ser estiradas y orientadas en la dirección de la fuerza mecánica (3,56,68).

La fuerza elástica de la red se deriva de los enlaces disulfuro entre moléculas de glutenina. Cuando las regiones de las cadenas entre conexiones se estiran, se establece una fuerza restauradora por la tendencia de las cadenas a revertir en configuraciones más desordenadas. El momento de máxima fuerza en esta red corresponde al desarrollo óptimo de la masa (3,66).

Es muy importante llegar al punto máximo de consistencia de la masa. Este punto es muy difícil de determinar, pero puede monitorearse llevando un registro de la energía consumida por el motor del mezclador. Una masa correctamente desarrollada será extensible y fluirá suavemente al vaciar, esta podrá estirarse con facilidad para formar una película semitransparente de grosor uniforme que no se rasgare. Si la masa no llega al punto óptimo se tendrán dificultades subsiguientes en el manejo y pérdidas en la calidad del pan.

El mezclado mecánico es esencial para la incorporación de los ingredientes, si bien está caracterizado por la aplicación de energía, su efecto sobre las propiedades de la masa, no solamente está determinado por la cantidad de energía aplicada, sino también por la acción mecánica y el tiempo de duración. Los tiempos de mezclado para el desarrollo óptimo de una masa varían, generalmente, en función de la velocidad de hidratación de la harina, determinada a su vez por el contenido de proteína; las



harinas con menor absorcion se mezclan mas rapidamente que las con mayor absorcion (7,55)

La masa no debe sobre mezclarse, esto es particularmente importante con las harinas debiles que no son muy resistentes. La prolongacion del amasado provoca el rompimiento de los enlaces moleculares, esto facilita el alineamiento de las moleculas en una misma direccion, ofreciendo asi menos resistencia al trabajo mecanico.

Se ha mencionado que la formacion de enlaces disulfuro contribuyen al desarrollo del gluten, el hecho de que su efecto desaparezca parcial o completamente, conforme transcurre el trabajo mecanico, sugiere, en este caso, la presencia de enlaces cruzados debiles e inespecificos. La deformacion de la masa afecta el arreglo geometrico de las moleculas de proteina, y por medio de esto el numero de puentes de hidrogeno, fuerzas de Vander Waals y demas interacciones entre ellos (55).

Otro factor muy importante a cuidar en el mezclado es la temperatura de la masa; las temperaturas elevadas son indeseables, ya que tienden a acelerar las reacciones de degradacion enzimatica y/o frenar la actividad fermentativa de la levadura; lo cual, ocasiona efectos desfavorables en la calidad del pan. En los metodos de panificacion convencional es comun sacar la masa alrededor de 26-28 C, mientras que las masas continuamente procesadas salen del mezclador-madurador alrededor de 38 C.

#### 4.7.2. Fermentacion.

La fermentacion tiene como objetivo producir una hogaza ligera y aerada con aroma y sabor agradable. La fermentacion se inicia al poner en contacto la levadura con la harina y el agua durante el mezclado, y prosigue ininterrumpidamente hasta que la temperatura en el horno detiene la actividad microbiana (7,34). Como resultado de la accion fermentativa de la levadura sobre los azucares de la harina se obtiene:

a) Produccion de dióxido de carbono, que gasifica y "levanta" la masa.

b) produccion simultanea de numerosos compuestos organicos, tales como : alcoholes, acidos organicos, ésteres, compuestos carbonilicos, etc. que influyen en el aroma y sabor del pan.

c) modificacion de las propiedades fisicas de la masa que conducen a la "maduracion" de la misma.

El dióxido de carbono producido en la fase acuosa satura, en primer lugar, el agua disponible en la masa, luego se difunde hacia las burbujas de aire -ocuidas durante el mezclado- e incrementa la presion de las mismas. Las propiedades viscoelásticas de la masa permiten la expansion de dichos alveolos para equilibrar la presion (50).

La masa crece como resultado de la retencion del gas, esta capacidad la determinan las propiedades reologicas de la masa, que se ven modificadas favorablemente por los productos generados en la fermentacion. El modo en que se desarrolla éste efecto se desconoce, sin embargo, el pH asociado al tiempo de fermentacion parece ser importante (28).

La suma total de reacciones y cambios que ocurren en la masa durante la fermentacion se conoce como desarrollo o maduracion. Una masa alcanza su punto optimo de maduracion cuando el gluten alcanza su maxima elasticidad y capacidad de retencion de gas. El tiempo adecuado de fermentacion puede determinarse controlando algunos factores como son el nivel de levadura, temperatura, humedad relativa y presion.

La velocidad de fermentacion está estrechamente relacionada a la temperatura. La levadura sera más activa cuando la masa esta entre 26 y 29 C. La humedad relativa mantiene la corteza de la masa humeda y evita la formacion de costras, granos y hongos en el producto final. En general se recomienda una humedad relativa del 75 al 80%.

### 2.9.3. Fresado.

En algunos procesos como el masa-directo es comun dar uno o dos fresados a la masa durante el periodo de fermentacion.

El fresado consiste en girar, doblar y presionar los lados de la masa hacia el centro; esto se hace con el propósito de lograr una mejor distribucion del gas producido, redistribuir la levadura y sus nutrientes, acelerar la fermentacion y uniformar la produccion de gas.

### 2.9.4. Division.

La division es el primer paso en el maquinado de la masa, consiste en cortar la masa en piezas individuales del tamaño desado.

En esta operacion es muy importante el control del peso de la pieza, las divisoras automaticas lo hacen en base al volumen en tanto la densidad se mantenga constante, por ello es importante también realizarla lo mas rapido posible, ya que la masa sigue fermentando y creciendo, modificando así su densidad. La velocidad promedio para el buen trabajo de la divisora es de 12 a 16 golpes/minuto.

Es indispensable tener una balanza durante esta operacion para checar el peso de la masa, el cual, bajo condiciones de panificacion promedio, debe ser alrededor de un 13 a 15 % mayor que el peso del producto norneado. Se recomienda aumentar el peso de la pieza conforme transcurre el tiempo de division, este es un paso muy importante para el control de calidad del proceso.

### 2.9.5. Boleado.

El boleado prepara la masa para que despues del reposo en la camara de fermentacion se pueda moldear facilmente; con el se favorece la formacion de una piel delcada alrededor de la pieza, que minimiza la difusion del gas al exterior, reorienta la estructura del gluten para mejorar la retencion de gas, y al

darle una forma estérica facilita el manejo de la masa en las etapas subsecuentes.

Los boleadores de uso más frecuente son el de cono, sombrilla y tambor, en cada caso, la masa es forzada a viajar sobre una superficie en continuo movimiento rotacional.

Es muy importante controlar la cantidad de harina de poiveo utilizada en el boleado, ya que demasiada harina aparece en el pan como manchas duras y secas.

#### 2.9.6. Periodo de prueba intermedia.

Consiste en dejar reposar la masa que ha sido dividida y boleada. El reposo es de 8 a 12 min en un lugar cerrado con una temperatura (27-29 C) y una humedad relativa (75-85%) adecuada; durante este periodo la levadura permanece activa produciendo bioxido de carbono que vuelve a aerear la masa, haciendola más docil. De esta manera la masa se recupera del daño sufrido en el boleado, una masa relajada no se rasgara ni encojera y sera más fácil de moldear.

#### 2.9.7. Moldeado.

El moldeado es una operacion critica, ya que con él se logra crear un patron de celdillas basicas que dan al pan un buen grano, textura y volumen.

La forma más simple de moldeado consiste en laminar la masa a través de un juego de rodillos con separaciones diferentes; el primer juego de rodillos tiene una mayor separacion, aplana y expulsa la mayor parte del gas que atrapó la masa; el segundo, con una separacion menor redistribuye las celdillas de gas y da a la masa el grosor y el diametro desado. La pieza aplanada es enrollada después sobre una cama de cilindros que giran y ejercen cierta presion, forma un cilindro simétrico el cual se deposita en el molde de horneó con la costura hacia abajo, de esta manera se evita el rompimiento de la corteza del pan.

### 2.9.6. Periodo de prueba final.

Consiste en dejar la masa depositada ya en los moldes por espacio de 45 min a una hora bajo condiciones de temperatura (35-41 °C) y humedad relativa (60-85 %) constantes. Durante este periodo la levadura continua produciendo gas permitiendo que la hogaza vuelva a aerearse y aumente de volumen. Esta operacion es importante, ya que despues del moldeado, la masa es severamente castigada y practicamente no contiene gas, si se horneara de inmediato produciria un pan con volumen pequeno, grano denso y textura aspera.

### 2.9.4. Horneado.

El horneado es la etapa final de la conversion del trigo a pan. Mediante la accion del calor la masa insidida se convierte en un producto ligero de facil digestion.

La cantidad de calor administrado, la humedad en el horno y el tiempo de horneado, son factores que determinan las caracteristicas finales del pan.

Durante esta operacion, la masa experimenta numerosos cambios. En primer lugar, se forma una pelicula superficial -al principio expandible- que se seca rapidamente. La extensibilidad de esta pelicula depende en gran medida de las condiciones de temperatura y humedad.

El siguiente cambio que se observa, es un incremento progresivo del volumen de la masa durante los primeros minutos conocido como "alacion". el aumento de volumen de la pieza es de un tercio de su tamano original. Esto se debe al efecto de la temperatura que incrementa: a) El desprendimiento de bioxido de carbono, b) la expansion del gas en las celdillas, c) la liberacion del alcohol a los 79 °C. y d) la actividad mayor de la levadura hasta que alcanza su muerte termica a los 80 °C.

Otras reacciones que ocurren en la masa durante el horneado, particularmente aquellas relacionadas a la calidad del pan, incluyen la gelatinizacion del almidon, la desnaturalizacion

de las proteínas del gluten y la inactivación de enzimas (7).

Los granulos de almidon que se encuentran fuertemente unidos a la matriz del gluten juegan un pequeño papel en la estructura del pan; sin embargo, durante el horneado experimentan cambios importantes en la suavidad del pan. Alrededor de los 60 C los granulos de almidon comienzan a hincharse y gelatinizar, el almidon absorbe el agua disponible en la masa y aquella que simultaneamente libera el gluten hasta que se vuelve rígido.

La desnaturalización de las proteínas de trigo en la masa comienza a los 70 C y continua hasta finalizar la cocción. La matriz del gluten se transforma en una película semi-rígida, conteniendo los granulos de almidon parcialmente gelatinizados, que se alargan y orientan en torno a los alveolos de gas expandidos.

Junto a estos fenomenos se produce tambien el incremento de la actividad enzimática, y posteriormente las reacciones de caramelización y pardeamiento. En conjunto, a lo largo del proceso, el pan adquiere las características de aroma, sabor, color, textura y volumen que le son propias y por las cuales es apreciado.

En general, el pan se considera horneado cuando su temperatura interior alcanza los 99 C (a nivel del mar). Debe presentar un color de corteza atractivo, paredes rígidas y sonar hueco cuando se golpee ligeramente con la mano. El tiempo de horneado esta determinado por el tamaño de la unidad, la riqueza y el color deseado. El tiempo de cocción aproximado para una libra de masa es de 18 a 21 min, dependiendo de la eficiencia del horno (7).

#### 2.9.10. Enfriado, rebanado y empaque.

El enfriamiento del pan es importante para que el almidon gelatinizado adquiera una naturaleza mas rígida, de esta manera el pan es menos susceptible al dano. Durante el enfriamiento es importante evitar la condensación en cualquier parte del producto.

El rebanado y empaclado requieren de especial atención para que la calidad del pan no sea dañada por operaciones inadecuadas de manejo durante el almacenamiento y transportación. Para el empaclado de pan pueden utilizarse una gran cantidad de materiales, tales como: papel encerado, celofán o películas plásticas.

## 2.10. Métodos de panificación.

Los métodos de panificación varían en función de la tecnología empleada. El Instituto Canadiense de Granos y Semillas (7) divide los métodos de panificación en convencionales y recientes.

### 2.10.1. Métodos convencionales.

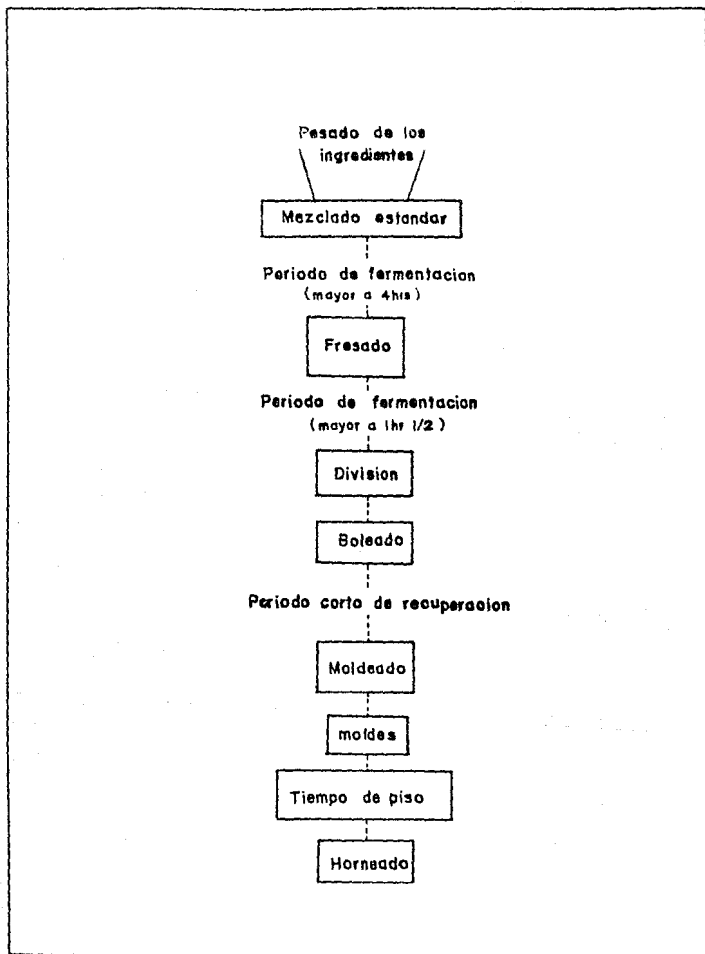
Los métodos que se incluyen en este grupo son: el de masa-directa, el de esponja-masa y el de esponja líquida. Las variantes entre uno y otro radican principalmente en la forma de mezclado y en la cantidad de ingredientes que se ponen a fermentar; después del mezclado el proceso es el mismo.

#### 2.10.1.1. Método masa-directa.

Este es un método de un solo paso de mezclado, en él se incorporan todos los ingredientes de la fórmula para obtener una masa uniforme que se deja fermentar. El tiempo de fermentación varía de 2 a 4 hrs. o hasta que el gluten alcanza el desarrollo adecuado. La temperatura de la masa mezclada debe ser de 26 a 29°C.

El método masa-directa es utilizado generalmente por las panificadoras pequeñas. Su principal ventaja es que no requiere de equipo especial de mezclado, ni de mucha mano de obra; sin embargo, una de sus desventajas es el hecho de que las masas son menos tolerantes para prolongar el período de fermentación, particularmente cuando existen fallas mecánicas, por lo que es menos flexible. Además las masas requieren de un mayor nivel de levadura para mantener una velocidad de fermentación razonable, haciéndola menos estable. El diagrama de flujo de este método se muestra en la figura 7.

Figura 7.- Metodo Nasa- Directa



Fuente: CIGI



#### 2.10.1.2. Método esponja-masa.

Este método incluye dos pasos diferentes de mezclado. En el primero, se incorporan solo una parte de los ingredientes para formar la "esponja", a la cual se le da un periodo preliminar de fermentación antes de pasar a la segunda etapa donde se incorporan los demás ingredientes, seguido por otro periodo de fermentación relativamente más corto.

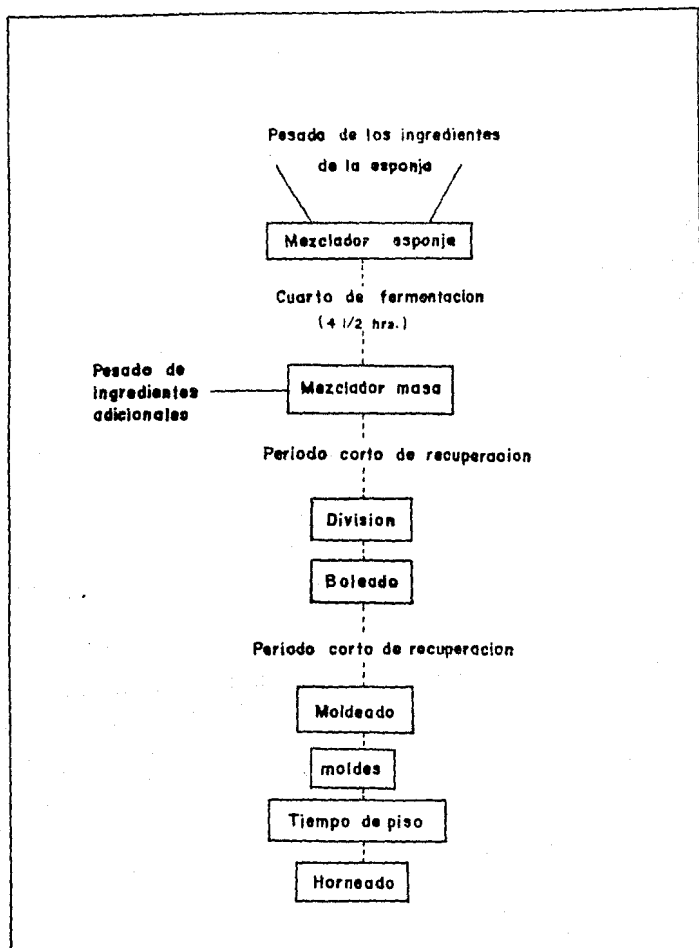
La esponja contiene del 55 al 75 % de harina y la mayor parte de levadura, alimento para levadura y agua. El tiempo de mezclado de la esponja, no es crítico solamente deben mezclarse uniformemente los ingredientes de 3 a 4 min.

El tiempo promedio de fermentación de la esponja es de 3 a 5 hrs., aproximadamente. Las esponjas son guardadas en un cuarto equipado para sostener una temperatura templada (22-26 C) y una humedad relativa constante. La temperatura aumenta la velocidad de fermentación, mientras que la humedad previene la resequead de la superficie.

Después de fermentada, la esponja se lleva de nuevo al mezclador, donde se adicionan los demás ingredientes para formar la masa que se deja reposar por un periodo de fermentación adicional de 20 a 30 min., llamado tiempo de piso antes de ser dividida.

Este método lo utilizan las panificadoras grandes, las ventajas que se tienen en relación al método anterior, es que la esponja requiere de menor cantidad de levadura y es más tolerante a ser sobrefermentada, la hogazas son más ligeras y se obtiene mayor volumen de pan; sin embargo, estas desventajas deben balancearse contra la necesidad de pesar continuamente los lotes de ingredientes, utilizando más equipo y empleando más mano de obra. El diagrama de flujo de este método se muestra en la figura B.

Figura 8.- Metodo Esponje-Masa



### 2.10.1.3. Metodo esponja liquida.

Este metodo es muy similar al de esponja-masa. La diferencia basica esta en el manejo de la esponja, ya que en este caso es liquida, contiene los mismos ingredientes sólo que con una mayor cantidad de agua. La esponja liquida se prepara normalmente en un mezclador continuo donde llegan los diferentes ingredientes, se mezclan uniformemente con agitacion constante y se bombean a un tanque de fermentacion donde permanece por 3 hrs. a una temperatura promedio de 26 C.

Una vez que la esponja alcanza su madurez, esta pasa por un intercambiador de calor que disminuye su temperatura a menos de 15 C con el fin de parar la fermentacion. De alli se bombea a un tanque de nivel constante que alimenta el mezclador de la segunda etapa. El tanque almacenador tambien lleva una chaqueta de enfriamiento; es muy importante mantener baja la temperatura, ya que en caso contrario, la levadura sobrefermentaria la esponja, ocasionando problemas de proceso en las etapas posteriores de panificacion.

Las ventajas de este metodo son: menor tiempo de fermentacion y mayor control de las condiciones del proceso, requiere de menor espacio y menos mano de obra. Sin embargo, solo las grandes fabricas pueden sostener el alto costo de las bombas, tanques, tuberia, valvulas y demas accesorios de acero inoxidable que requiere éste proceso.

### 2.10.2. Métodos recientes.

Los métodos recientes son considerablemente más rápidos que los convencionales, ya que incorporan los avances más notables de la tecnología. Uno de ellos, ha sido la eliminación del periodo de fermentación gracias al empleo de nuevos principios para el desarrollo del gluten. Dos ejemplos son: el desarrollo mecánico y químico de la masa. El desarrollo mecánico involucra un mezclador vigoroso de la masa en un "mezclador-madurador", este equipo gira a gran velocidad y produce en la masa cambios similares a los que se obtienen por fermentación, pero sin pérdida de tiempo.

El desarrollo químico, en cambio, logra una rápida maduración de la masa usando combinaciones de agentes químicos reductores y oxidantes. Esto permite el uso de cualquier equipo de mezclado convencional, sin gastar en la compra de uno como el que utiliza el desarrollo estrictamente mecánico.

Los procesos de panificación que aplican el desarrollo mecánico y/o químico son: El DO-MAKER, el AMFLOW y el CHORLEYWOOD. El diagrama de flujo de estos métodos, así como unacomparación entre los mismos se muestra en la figuras 9, 10, 11 y 12.

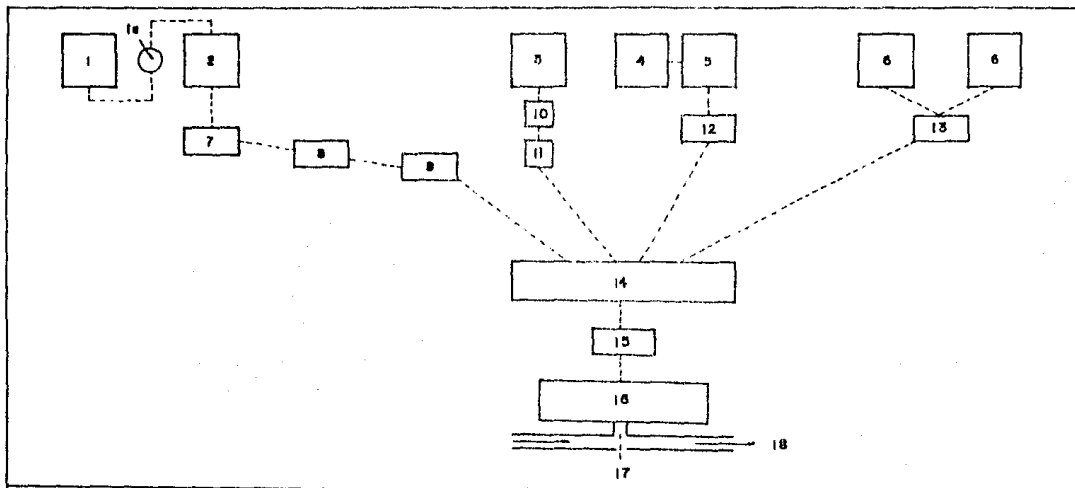
#### 2.10.2.1. Proceso DO-MAKER y AMFLOW.

Estos dos procesos fueron desarrollados en los Estados Unidos, ambos son similares pues involucran una etapa de fermentación preliminar al mezclado; la diferencia principal radica en la formulación y preparación del fermento. Los dos operan bajo un flujo continuo de los ingredientes en la forma de una esponja líquida, razón por la cual el proceso está completamente automatizado y mecanizado.

El proceso se inicia con la preparación del fermento en una serie de tanques preparatorios que permiten una fermentación rápida; la temperatura del fermento es controlada mediante un intercambiador de calor y un tanque de entriamiento, el tiempo de fermentación es aproximadamente de 2 a 2 1/2 hrs. Después de esta etapa el fermento es bombeado a un premezclador donde se mezclan los demás ingredientes, de allí pasa a un "mezclador-madurador" que opera a gran velocidad bajo la presión del flujo continuo; la elevada presión oculta el dióxido de carbono en el agua conforme la masa es procesada, esta sale de la máquina en forma de una masa extruida que es cortada y depositada directamente en los moldes. La presión, tamaño de abertura y longitud de la pieza son constantes y de acuerdo a esto el peso de la pieza es controlado.

Una de las ventajas que se tienen en estos procesos es que el desarrollo mecánico, extrusión de la masa, moldeado, división y colocación directa en los moldes es realizado en una sola máquina. Esta no solo elimina el periodo de fermentación, sino también las etapas convencionales de boleado, prueba

Figura 9.- Proceso D6-Maker



- 1 tanque del caldo de fermentación
- 1a bomba
- 2 tanque de reserva
- 3 tanque de oxidación-solución
- 4 tanque de mezclado de la grasa
- 5 tanque retenedor de la grasa
- 6 alimentador de harina
- 7 tanque de nivel constante para el caldo

- 8 alimentador de caldo
- 9 intercambiador de calor
- 10 tanque de nivel constante para la solución de oxidación
- 11 alimentador de solución
- 12 alimentador de grasa
- 13 cernidor de harina
- 14 premezclador
- 15 bomba de masa

- 16 desarrollador de masa
- 17 extrusor
- 18 transportador

Fuente: (a1)

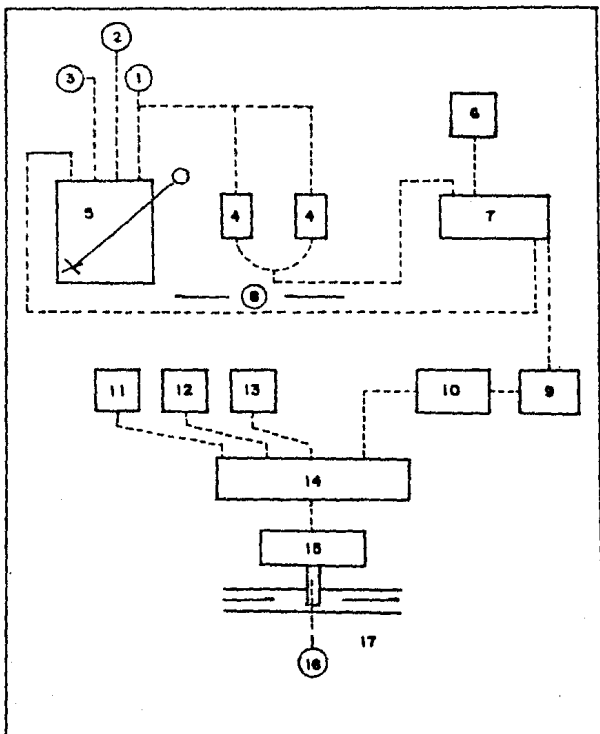
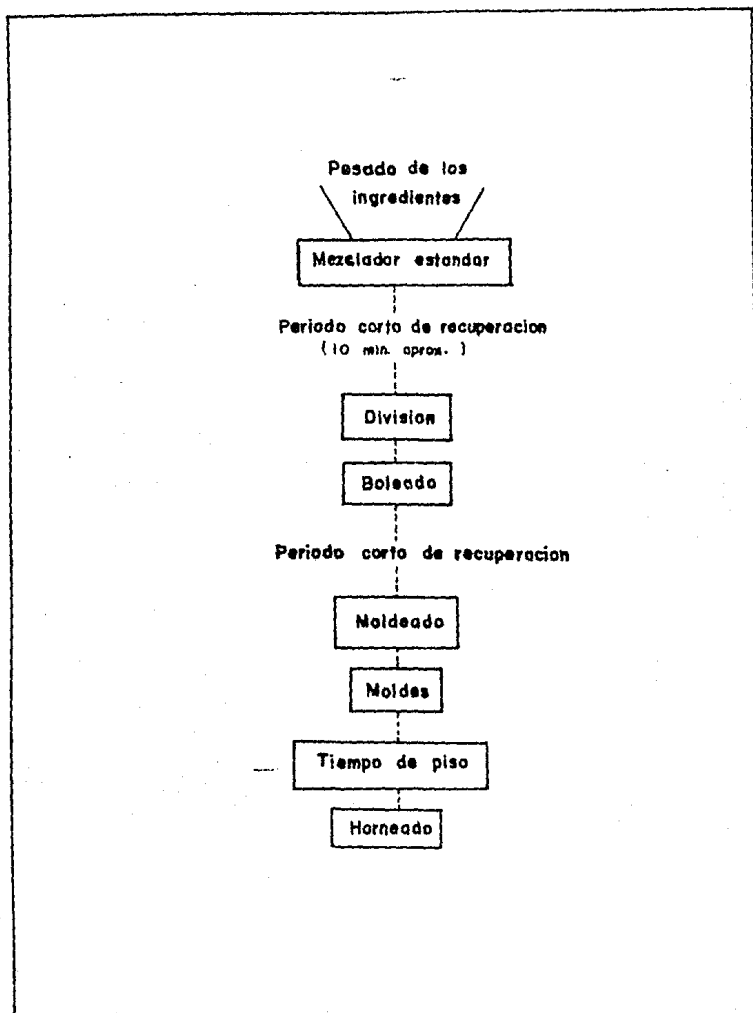


Figura 10.- Proceso AmFlow

- |   |                         |    |                                   |
|---|-------------------------|----|-----------------------------------|
| 1 | agua                    | 9  | tanque de nivel constante esponja |
| 2 | ingredientes secos      | 10 | intercambiador de calor           |
| 3 | azúcar líquida          | 11 | solución oxidante                 |
| 4 | tanques esponja líquida | 12 | tanque de grasa                   |
| 5 | mezclador               | 13 | harina                            |
| 6 | tanques azúcar líquida  | 14 | incorporador                      |
| 7 | distribuidor            | 15 | desarrollador de masa             |
| 8 | retroalimentación       | 16 | extrusor                          |
|   |                         | 17 | transportador                     |

Fuente: (u1)

Figura 11.- Desarrollo químico de la masa



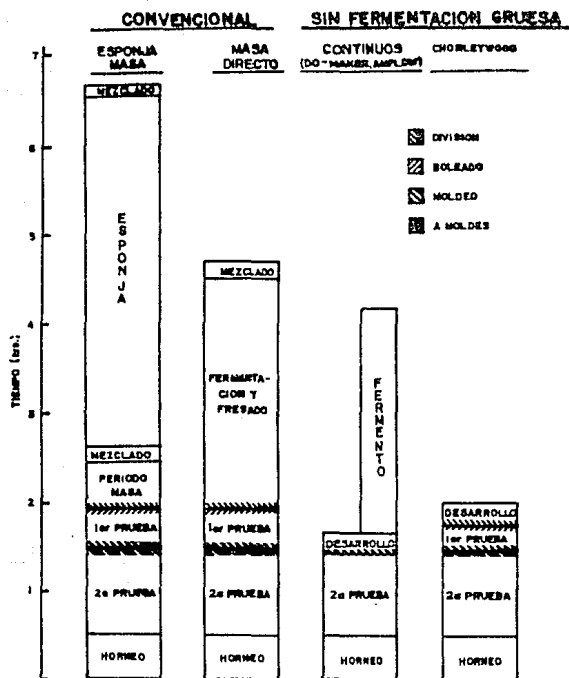


Figura 12.- Comparacion de las etapas y tiempo de proceso entre dos metodos convencionales y recientes de panificacion.



intermedia y laminado. Este avance en la tecnología permitió la completa automatización y mecanización del proceso, reduciendo con ello sustancialmente el tiempo de producción. De esta forma se tiene un control más eficiente y científico del proceso de panificación.

#### 2.10.2.2. Proceso CHORLEYWOOD.

El proceso CHORLEYWOOD fue desarrollado en Inglaterra, es mucho más sencillo que los dos métodos anteriores, ya que no requiere la preparación de un prefermento. Este proceso es parecido al método convencional de masa-directa, con la excepción de que la masa es madurada no por fermentación, sino por la intensa acción mecánica de un mezclador-madurador.

Con respecto a los otros dos métodos que emplean el principio de maduración mecánica, el método CHORLEYWOOD tiene varias ventajas. La primera, es que las características del pan son similares a las obtenidas por un método convencional, mejora la aptitud panadera de las harinas comerciales, particularmente las débiles que no tienen la tolerancia suficiente para resistir la sobre fermentación. De este modo, el panadero tiene la opción de utilizar su marca regular de harina para producir un mejor pan o producir uno similar utilizando una harina más barata. Además, se tiene la ventaja de producir variedades diferentes de pan en corto tiempo. Sin embargo, la mayor desventaja que tiene es el alto costo del mezclador-madurador.

### 2.11. Uso de agentes tensoactivos en el proceso de panificación.

#### 2.11.1. Tensoactivos: definición, composición y estructura

Los tensoactivos (agentes de superficie activa) son sustancias químicas formadas por cadenas (hidrofóbicas) de ácidos grasos, esterificadas a un grupo polar (hidrofílico) que puede originarse de diferentes tipos de alcoholes polivalentes, tales como: glicerol, propilén glicol, sorbitol o sucrosa. Además, el éster de ácido graso puede modificarse por la esterificación con ácidos orgánicos, tales como: ácido acético, diacetil tartárico, succínico, cítrico o láctico que les confieren propiedades específicas (43,44,45).

Los ácidos grasos esterificados pueden provenir de grasas o aceites de origen animal o vegetal (lardo, sebo, aceite de girasol, soya, algodón, coco, etc.). Dependiendo de la grasa de origen, la longitud de la cadena de hidrocarburo varía de 12 a 20 carbonos. Tanto la longitud de la cadena como el grado de insaturación son muy importantes para las propiedades de los tensoactivos (43).

Los tensoactivos, debido a su composición química, tienen una estructura molecular anfifílica que les confiere propiedades lipofílicas e hidrofílicas, esto les permite interaccionar en la interfase de dos o más sustancias inmiscibles para obtener una mezcla estable. Esta propiedad de los tensoactivos se conoce como actividad de superficie y su efecto más importante es la reducción de la tensión superficial para formar una emulsión (43,44,65).

#### 2.11.2. Clasificación de tensoactivos.

Los tensoactivos pueden clasificarse de acuerdo a:

- 1) La naturaleza de la carga del grupo hidrofílico.

En base al comportamiento del grupo hidrofílico en agua, los tensoactivos se dividen en: iónicos y no iónicos. Los de tipo iónico se subdividen, a la vez, dependiendo del tipo de ion formado en: aniónicos (-), catiónicos (+) y amfotéricos (26,61,65). Un ejemplo de este comportamiento se ilustra en la figura 13.

- 2) Solubilidad.

Dependiendo de su estructura, el tipo y el número de grupos polares y no polares, los tensoactivos exhiben una predominante solubilidad en agua o aceite. Bajo este criterio de clasificación los tensoactivos se dividen en: hidrofílicos y lipofílicos. Los de tipo hidrofílico son sustancias fuertemente polares como el agua y facilitan la formación de emulsiones aceite/agua; mientras que los lipofílicos son solubles en solventes orgánicos y facilitan la formación de emulsiones

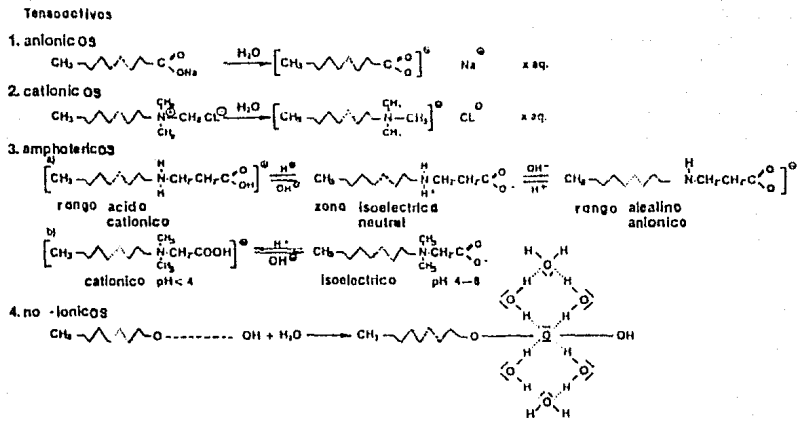


Figura 13.- Comportamiento electroquímico de los tensioactivos

Fuente: (61)

agua/aceite (43,61,65).

### 3) balance hidrofílico-lipofílico (BHL).

El BHL es un sistema numérico creado por Griffin (1949) que cuantifica el balance de la polaridad de las moléculas de tensoactivo y su predominante afinidad por el agua o aceite. La escala del BHL va de 0 a 20: los tensoactivos que se encuentran en un rango de 2 a 6 tienen una tendencia lipofílica y los que se encuentran entre 14 y 18 tienen una tendencia hidrofílica (44,61,65).

El concepto de BHL no toma en cuenta el efecto de la temperatura, el cual es un factor importante en la formación de dispersiones acuosas de emulsificantes. El BHL de un tensoactivo puede determinarse por varios métodos y sirve para seleccionar el tensoactivo adecuado para una función específica. Ver cuadro 5.

#### 2.11.3. Aspectos teóricos del comportamiento de tensoactivos en relación a su uso en panificación.

##### 2.11.3.1. Actividad de superficie y tensión superficial

Muchos de nuestros alimentos son complicados sistemas multifase formados por agua, carbohidratos, proteínas y grasas. Cada uno de estos componentes químicos -definidos como fases- existen en un grado de agregación diferente, encontrándose separados uno de otro por gran número de interfases, y donde los tensoactivos pueden desarrollar su propiedad de actividad de superficie, actuando como sitios de unión (43,61).

Las interfases básicas en la masa y en el pan son: líquido-líquido (emulsión), sólido-líquido (sol) y gas-líquido (espuma). Al añadir un tensoactivo a estos sistemas, las moléculas de tensoactivo son adsorbidas en la interfase de los componentes, formando una película interfacial. El arreglo que toman las moléculas de tensoactivo depende de su polaridad y del carácter hidrofílico o hidrofóbico de cada una de las fases. Como resultado de esta interacción y de las barreras estéricas y eléctricas que se forman, disminuye la tensión superficial del

Cuadro 5. PROPIEDADES GENERALES DE LOS TENSIOACTIVOS  
EN RELACION A SU HLB

Campo general de aplicación	HLB
Agentes antiespumantes	1- 3
Emulsificantes agua en aceite	3- 6
Agentes humectantes	7- 9
Emulsificantes aceite en agua	8-18
Agentes detergentes	13-15
Solubilizantes	15-18

Fuente: (63)

sistema y aumenta su estabilidad (61,65).

La estabilidad de una emulsion esta determinada por muchos factores, entre ellos, es aumentada por la baja tension superficial, tamaño de partícula pequeño, alta viscosidad de la fase continua, repulsion electrica entre superficies cargadas y por agentes emulsificantes o proteínas, los cuales son adsorbidos en la interfase.

Algunos de estos factores estan determinados por el caracter del producto, el cual no se puede cambiar; sin embargo, la formacion de las peliculas interfaciales con suficiente fuerza mecanica y elasticidad puede obtenerse agregando agentes emulsificantes. La fuerza mecanica de las peliculas interfaciales, previene la separacion de las particulas aglomeradas, esto depende de que tan cerca se encuentren las moléculas de surfactante y del arreglo que tomen en las peliculas. Una pelicula muy cargada (condensada) da una mayor estabilidad a la emulsion que una pelicula expandida (44).

#### 2.11.3.2. Formacion de peliculas monomoleculares.

La figura 14 muestra varios arreglos que toman los tensoactivos en las peliculas interfaciales, estas pueden formarse en emulsiones o en productos alimenticios mas complicados. La configuracion quimica del tensoactivo, concentracion, temperatura y el pH son factores que determinan las estructuras que se forman en las peliculas interfaciales, las proteínas pueden estar también involucradas en el arreglo (44,61).

Las moléculas de tensoactivo adsorbidas en la interfase de un sistema aceite-agua forman generalmente tres tipos de pelicula: gaseosa, liquida expandida y condensada (44,59).

En las peliculas gaseosas, las moléculas de tensoactivo se orientan completamente a la interfase y pueden moverse con libertad, la presion de superficie es muy baja y no existe cohesion intermolecular. En cambio, en las peliculas liquidas expandidas, las moléculas de tensoactivo estan mas cerca unas de

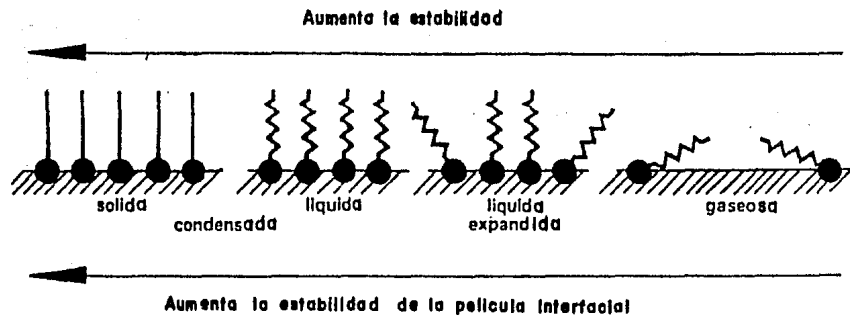


Figura 14 - Estado físico de las películas de superficie

Fuente: (61)

otras y existen fuerzas de cohesión entre las moléculas de hidrocarbóno, aun cuando estas se encuentran en un medio líquido altamente desordenado y orientado horizontalmente hacia la interfase.

En las películas condensadas, las moléculas de tensoactivo están mucho más cerca, el grupo polar se orienta hacia la fase líquida y las cadenas de carbono se orientan verticalmente hacia la fase aceite.

La película líquido condensada se forma cuando las cadenas de hidrocarbóno existen en un estado semilíquido y pueden girar alrededor de sus ejes, la movilidad que tienen las moléculas es muy limitada con respecto a su posición en la interfase. Las películas sólido condensadas son similares a las líquido condensadas, pero con la diferencia de que las moléculas de hidrocarbóno se encuentran en un estado sólido cristalino similar a la forma alfa-polimórfica de las grasas.

El cambio de arreglo en las películas interfaciales es continuo y depende de la longitud de las cadenas de hidrocarbóno, presión y temperatura. La presión de superficie de los diferentes tipos de película aumenta en orden creciente de gaseosa-líquida expandida-líquida condensada y sólido condensada. El efecto que tienen contra la coalescencia (separación de las fases) aumenta en el mismo orden. Así, los tensoactivos que forman una película sólido condensada dan una mayor estabilidad al sistema (44,61).

#### 2.11.3.3. Comportamiento mesomórfico.

El mesomorfismo es la propiedad que tienen los tensoactivos de formar mesofases. Las mesofases son estados de agregación que exhiben a la vez algunas propiedades de los líquidos y cuerpos cristalinos, tales como: la movilidad, una consistencia pastosa y ciertas propiedades ópticas. El mesomorfismo puede ser termotrópico o liotrópico (54).

El mesomorfismo termotrópico lo exhiben las sustancias que aparentemente tienen dos puntos de fusión. En el punto más



bajo, la sustancia se funde en forma de un líquido opaco (fase sólida cristalina), y en el más alto un líquido claro (isotrópico). Este comportamiento es reversible con el enfriamiento.

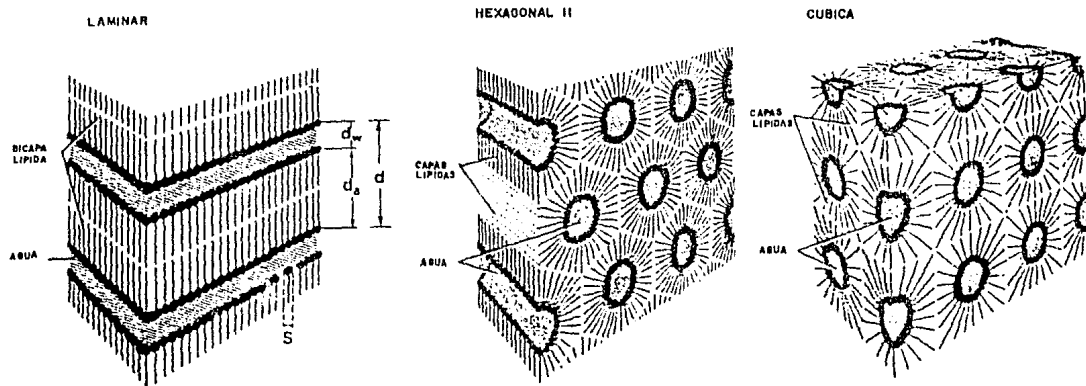
El mesomorfismo liotrópico es una propiedad de las sustancias que forman una fase sólida cristalina cuando son dispersas en agua a cierta concentración y temperatura. Este comportamiento ocurre siempre con la dilatación (hinchamiento) del material. La mayoría de los tensoactivos forman mesofases liotrópicas.

La formación de mesofases puede explicarse en la siguiente forma: cuando un tensoactivo con largas cadenas alifáticas de hidrocarburo se encuentran en un estado sólido (cristalino), las cadenas de hidrocarburo no tienen movilidad y se orientan paralelamente unas a otras formando estratos. En cada estrato las cadenas lipofílicas se orientan en una dirección y las hidrofílicas en otra opuesta.

Cuando esta estructura de los tensoactivos se mezcla en agua y la temperatura se eleva por arriba del llamado punto Krafft ( $T_c$ ), las cadenas de hidrocarburo pasan de un estado sólido a uno semilíquido con mayor movimiento molecular; al mismo tiempo, el agua penetra en las capas del grupo polar y se forma una mesofase líquida cristalina. La estructura de la mesofase depende de la estructura del tensoactivo, concentración, temperatura, fuerza iónica y pH; de acuerdo a esto se distinguen tres tipos de mesofases que pueden ser laminar, cúbica y hexagonal (44,45,61) representadas en la figura 15.

La fase laminar se forma en sistemas que contienen tensoactivos con cadenas de ácidos grasos saturados. Bajo ciertas condiciones de temperatura ( $T_c$ ) las cadenas de hidrocarburo vuelven a cristalizar, normalmente en la forma alfa-cristalina con un arreglo de cadena hexagonal. El mismo volumen de agua puede permanecer entre las bicapas lipídicas, y una estructura gel-consistente de capas lipídicas monomoleculares alternando con capas de agua- puede ser formada como se muestra en la figura 16.

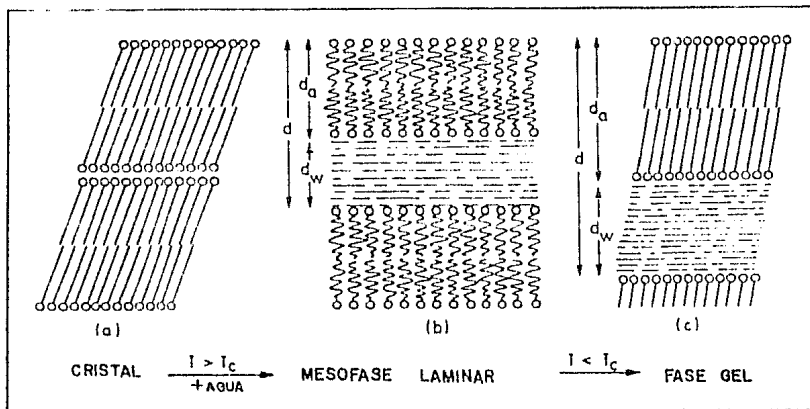
Figura 15.- Modelos estructurales de las mesofases laminar, hexagonal y cubica



$d$  = espacio Bragg rayos-x,  $d_a$  = espesor calculado de la bicapa lipida,  $d_w$  = espesor calculado de la capa de agua,  $S$  = area por molecula de tensioactivo en contacto con el agua.

Fuente: (44)

Figura 16 - Modelo esquemático de la transformación del tensioactivo (forma hidrato)



$T$  = temperatura,  $T_c$  = punto Krafft,  $d$  = espacio Bragg,  $d_a$  = espesor de la capa lipídica,  $d_w$  = espesor de la capa de agua.

Fuente: (b1)

Estos geles de surfactante-agua se conocen como hidrato y constituyen un importante estado fisico activo, en el cual el surfactante reacciona optimamente con los componentes solubles de la harina (con la amilosa o con las proteinas del gluten dispersadas) (44). Esto es muy favorable para su uso en panificacion, ya que se ha reportado que el erecto de los tensoactivos sobre el volumen del pan es mas erectivo en la fase laminar (45).

La fase cubica se forma principalmente con tensoactivos lipofilicos con cadenas de acidos grasos insaturados, en esta fase el agua se encuentra en unidades esfericas arregiadas en un patron tridimensional.

La fase hexagonal II se forma con tensoactivos que tienen valores bajos de HLB o en mezclas de tensoactivos. La fase hexagonal I se forma, en cambio, solo con tensoactivos que tienen un valor alto de HLB (grupos fuertemente polares). Esta fase tambien es importante porque apartir de ellas pueden formarse micelas.

La estructura de la mesofase formada puede determinarse por difraccion de rayos-x y los parametros tales como: espesor de la bicapa lipidica ( $d_0$ ), el espesor de la capa de agua ( $d_w$ ) y la superficie especifica por molecula en contacto con el agua ( $s$ ), pueden ser calculados (44).

El comportamiento mesomorfo de los tensoactivos puede ser demostrado por un diagrama de fase binario como el de las figuras 17a y 17b, estos se obtienen al graficar las fases formadas como una funcion de la temperatura y concentracion.

En estos diagramas puede observarse la formacion de mesofases laminares y cubicas en sistemas de monogliceridos saturados y agua dependiendo de la temperatura. Mientras que los monogliceridos insaturados solo forman mesofases laminares a bajos contenidos de agua; con cantidades mayores de agua se forma una mesofase cubica e isotropica, y esta se transforma a una fase hexagonal II al elevar la temperatura.

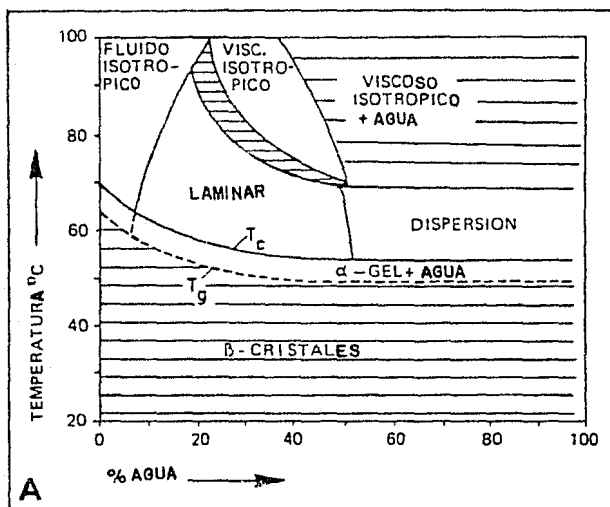


Figura 17.- Diagrama de fase: MONOGLICERIDOS DESTILADOS, SATURADOS

Fuentes: (43), (44), (45)

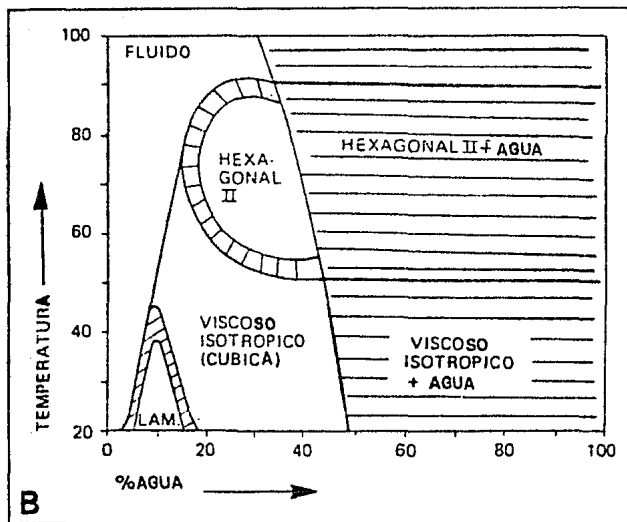


Figura 17.-Diagrama de fase: MONOGLICERIDOS DESTILADOS, INSATURADOS

Fuentes: (43), (44), (45)

Los diagramas de fase de sistemas tensoactivo-agua son también de interés cuando las soluciones acuosas de tensoactivo son preparadas y adicionadas a alimentos. Durante el proceso estos ayudan a determinar que temperatura y concentración de tensoactivo hay que usar para obtener la dispersibilidad del tensoactivo.

En muchos casos la funcionalidad del tensoactivo se relaciona a su estado físico. Así por ejemplo, los surfactantes aniónicos como los ésteres del ácido diacetil tartárico, los estearoil-2-lactilatos de sodio y calcio, y monoglicéridos succinilados forman estructuras laminares en agua a temperatura ambiente, las cuales pueden transformarse en geles en función de la temperatura y pH en un rango de 5-6, lo cual es muy favorable para lograr su dispersibilidad y asegurar así el desarrollo de sus propiedades (44).

#### 2.11.4. Uso de tensoactivos en panificación.

Los tensoactivos listados en el cuadro 6 son los más utilizados en panificación. El empleo de estos compuestos se debe a sus propiedades de:

a) Humectar y dispersar mejor los ingredientes de la masa, mejorando su consistencia y uniformidad;

b) de interaccionar con las proteínas del gluten haciéndolo más suave y elástico, aumentando con ello su capacidad de retención de gas;

c) de formar complejos con el almidón evitando la retrogradación, de esta manera aumenta la suavidad y vida de anaquel del pan (41,43,59,65,66).

Los efectos que los tensoactivos tienen sobre las características de la masa son importantes en la calidad final del pan. Los tensoactivos se conocen también como acondicionadores de masa y suelen dividirse a la vez en reforzadores del gluten y suavizantes del pan.

**Cuadro o. TENSIOACTIVOS CATALOGADOS EN LOS ESTÁNDARES  
DE IDENTIDAD PARA LOS PRODUCTOS HORNEADOS**

---

Lecitina  
Lecitina hidroxilada  
Mono- y diglicéridos  
Esteres del ácido diacetil tartárico  
Mono- y diesteres de propilén glicol  
Monoestearato de sorbitan (20) polioxietilénico  
Estearil-2-lactilato de calcio  
Estearil-2-lactilato de sodio  
Estearil fumarato de sodio  
Monoglicéridos succinilados  
Mono- y diglicéridos etoxilados

---

Fuente: (65)



#### 2.11.4.1. Reforzadores de masa.

Los reforzadores de masa interactúan con las proteínas del gluten mejorando las características de la masa, los beneficios que se obtienen son: mayor tolerancia al abuso mecánico, aumento de la absorción de agua y mayor retención de gas. Estas características de la masa, mejoradas por los tensoactivos, resultan en la obtención de un pan con mayor volumen y una textura y distribución del grano más uniforme (41,43,59,65,66).

Los tensoactivos utilizados con este propósito son principalmente compuestos de tipo iónico, tales como los estearoil-2-lactilatos de sodio y calcio (SSL,DSL), los ésteres del ácido diacetil tartárico (DATEM), los monoglicéridos succinilados; o compuestos no iónicos, tales como los monoglicéridos etoxilados y polisorbatos. Todos estos compuestos forman mesofases laminares o geles en agua a la temperatura de mezclado. El nivel máximo de uso permitido por el Código Federal de Regulaciones de los E.U. (RFC) es de 0.5 % en base al peso de la harina, con excepción del DATEM que es una sustancia GRASS (de uso ilimitado); sin embargo, el nivel de uso normal de estos tensoactivos está entre 0.2 y 0.3% (41,43).

El efecto de los tensoactivos aniónicos es el resultado de las interacciones hidrofóbicas entre el grupo apolar de la molécula del tensoactivo y los sitios apolares de la molécula de proteína. Como resultado de esta unión la carga neta de la superficie de la proteína se reduce, por lo que la repulsión electrostática entre moléculas es menor, permitiendo así una mayor aglomeración proteína-proteína (44,61).

El efecto de los tensoactivos no iónicos etoxilados se debe, en cambio, a la formación de enlaces con el nitrógeno amida de las proteínas del gluten, produciendo una agregación de proteína que es estabilizada por la formación de una red intermolecular formada por puentes de hidrógeno (44,61). El efecto de los tensoactivos iónicos y no iónicos se presenta en la figura 15.

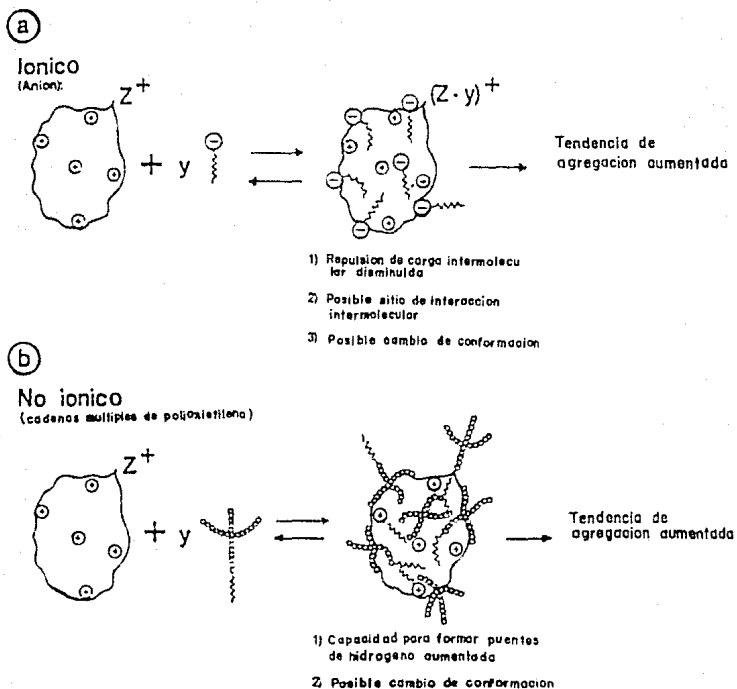


Figura 18.- Modelos de Interaccion proteína-tensioactivo

Fuente: (61)

#### 2.11.4.2. Suavizantes de la miga.

El efecto de los tensoactivos sobre la suavidad de la miga del pan, está relacionado a la formación de complejos con los dos componentes principales del almidón: la amilosa (lineal) y la amilopectina (ramificada).

La fracción lineal del almidón (amilosa) forma una estructura helicoidal en presencia de agentes acomplejantes como los tensoactivos. La superficie interior de la hélice es reforzada por los grupos C-H y los átomos de oxígeno glucosídicos que forman una parte central lipofílica, en tanto los grupos -OH se posicionan en la superficie exterior de la hélice. La forma helicoidal es estabilizada por la presencia de largas cadenas de hidrocarburo permitiendo la hidratación hidrofóbica de la hélice. Una vez que el complejo helicoidal se forma, el proceso es irreversible (43,44,61).

El complejo que se forma por la interacción de tensoactivo con la amilosa retiene la humedad en el interior de los granulos de almidón, evita la retrogradación y previene la migración de la amilosa al exterior. Con ello se impide también que la amilopectina sufra cambios estructurales y retrogradación. Cuando la amilopectina retrograda, sus ramificaciones se alinean y se asocian por puentes de hidrógeno expulsando agua en el proceso, esta es la causa principal del envejecimiento del pan (14).

La capacidad de los tensoactivos para formar complejos insolubles con la amilosa, varía dependiendo de su configuración química y solubilidad en el agua. El cuadro 7 muestra una comparación de la capacidad de los tensoactivos para formar complejos con el almidón, en el se puede observar que tanto los monoglicéridos destilados y saturados son los que tienen mayor índice de complejación, seguidos por los monoglicéridos succinilados y los estearoil-2-lactilatos.

Los monoglicéridos hechos a partir de grasas insaturadas y otros tensoactivos con una estructura muy complicada en su región polar -como los ésteres de sorbitan y

Cuadro 7. EFECTO DE LOS TENSORCTIVOS EN LA FORMACION DE COMPLEJOS CON EL ALMIDON

Emulsificante	Indice de complejacion *
<b>Monoglicéridos destilados:</b>	
1. de lardo hidrogenado (35% monoestearina, 35% monopalmitina)	92
2. de aceite de soya hidrogenado (65% monoestearina)	87
3. de lardo sin hidrogenar (45% monooleina)	35
4. de aceite de soya sin hidrogenar (55% monolinoleina)	28
Monoglicéridos acilados	0
Monoglicéridos (saturados) (50% monoester)	42
<b>Esteres de monoglicéridos con ac. orgánicos</b>	
1. Monoglicéridos lactilados	22
2. Monoglicéridos succinilados	63
3. Esteres de ac. diacetil tartárico	49
Monoestearato de propilén glicol (90% monoester)	15
Monoestearato de sorbitol	18
Monoestearato de sorbitan (20) polioxietilénico	32
Estearoil-2-lactilato de sodio	72
Estearoil-2-lactilato de calcio	65
Lecitina (de aceite de soya)	10

Fuente: (44)

\* miligramos de amilosa precipitados por 5 mg de tensoractivo

sucrosa- son pobres complejantes con la amilosa, esto se debe posiblemente a su configuración estérica.

Los monoésteres acetilados y los ésteres de propilenglicol también complejan poco con el almidón, esto se explica en base a su carácter lipofílico y a su baja dispersibilidad en agua. Para que estos complejos formen complejos con la amilosa deben ser disueltos en una fase acuosa a nivel molecular; la preparación del hidrato mejora sustancialmente su actividad (43).

El suavizante de masa más común es una dispersión en agua (hidrato) de monoésteres destilados con 22 a 25 % de sólidos, y se usa generalmente a un nivel de 0.5-1.0% en base al peso de la harina. Otra alternativa, también eficiente, puede ser una mezcla hidratada de tensoactivos, tales como: el monoestearato de sorbitan (20) polioxietilénico, estearoil-2-lactilato de sodio y monoésteres destilados (41,59,66).

La forma de adición del tensoactivo se ha considerado importante para su funcionalidad, la tendencia general es a utilizarlos en la forma de hidrato, polvo o gel. Algunas ventajas y desventajas de estas formas físicas de aplicación se describen en el cuadro 6.

#### 2.11.5. Efecto de los tensoactivos durante el procesamiento y almacenamiento del pan.

Schuster y Hoams (59) resumieron los efectos de los tensoactivos sobre los componentes de la harina en las diferentes etapas de panificación. El primer efecto de los tensoactivos es en la preparación de la masa y se debe a su propiedad de actividad de superficie; ésta les permite actuar como agentes humectantes y dispersantes de los ingredientes, ayudando a disminuir considerablemente el tiempo y la velocidad de mezclado, así como el consumo de energía. La propiedad emulsificante de los tensoactivos mejora también la distribución de la grasa en la masa, permitiendo así la disminución de la cantidad empleada.

Con la adición de agua y energía mecánica comienza la interacción del tensoactivo con la superficie de las proteínas.

Cuadro 8. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS DIFERENTES FORMAS DE USO DE TENSIOACTIVOS

	Plastica	Hidrato	Polvo	Hojuelas
Ventajas	Puede ser incorporado en cualquier etapa	Más fáciles de manejar que los productos plásticos	Fácil de manejar	Fácil de manejar
	Es la forma más barata	Puede ser incorporado en cualquier etapa	Puede reemplazar algunas hojuelas duras en procesos continuos de mojado	
Inconvenientes	Más difícil de manejar que las otras formas	Un poco más caro que las formas plásticas	La forma más cara	Deben ser añadidos al fundir la grasa
	Algunas pérdidas durante el manejo	Más difícil de manejar que las hojuelas o el polvo	Puede no dispersarse completamente en la masa	
		Algunas pérdidas durante el manejo  Problemas de contaminación y separación		

Fuente: (61)

lipidos y almidon. La etapa de mezclado es critica en la interaccion de los tensoactivos con los lipidos polares y las proteinas. Los enlaces no covalentes que se forman en este proceso son de suma importancia en el desarrollo de las propiedades de la masa; el resultado de esta interaccion mejora la calidad del gluten y aumenta la tolerancia de la masa a todos los tipos de mezclado.

Knightly (41), Kroq (42), Rusn (59), Stutz (65) y Tenney (66) reportan que el DATEM, EMG, PS 60 y SSL son los reforzadores de masa mas efectivos. Estos compuestos forman mesorases laminares en el agua. La funcionalidad de los lipidos polares presentes en la harina y los tensoactivos ahadidos tambien esta relacionada a esta propiedad.

Estos investigadores mantienen la teoria de que los lipidos funcionan como estabilizantes de espuma; de acuerdo con este concepto, los lipidos polares se concentran en la fase acuosa de la masa rodeando las burbujas de gas. La adicion de tensoactivos a la masa puede actuar de manera similar y favorecer la funcion que los lipidos nativos tienen de estabilizar la espuma.

Kroq (44) sugiere que los tensoactivos pueden actuar como reforzadores de masa de dos maneras:

a) mediante la interaccion de las moleculas de tensoactivo con las proteinas del gluten a traves de enlaces hidrofobicos y/o hidrofiliicos (enlaces electrostaticos o puentes de hidrogeno). De acuerdo a esto, los tensoactivos ahadidos deben ser solubles a nivel molecular en la fase acuosa de la masa.

b) mediante la interaccion directa de los tensoactivos con la fase acuosa de la masa formando estructuras lipido-agua que se asocian a los lipidos polares libres de la harina; el arreglo de estas estructuras lipido-agua pueden ser de tipo laminar, dandoles un alto grado de movilidad molecular. Las capas bimoleculares de lipidos que se forman, pueden asociarse a las superficies polares y no polares de los agregados de proteina o pueden estabilizar la interfase aire-agua.

Los reforzadores de masa facilitan el proceso de mezclado continuo que requiere una elevada absorción de agua. La consistencia de la miga está influenciada por la manera en como el aire se distribuye en la masa, esta distribución del aire es mejorada por los tensoactivos, ya que estabilizan las fases dispersas, permitiendo así obtener masas más consistentes y fáciles de manejar. Esto tiene un efecto positivo en las etapas de división, moldeado y acondicionamiento de la masa.

La asociación simultánea de ciertos tensoactivos con las proteínas y los carbohidratos mejora la estructura gluten-almidón. Los tensoactivos mantienen una reserva de lípidos polares en la masa, los cuales pueden liberarse a la interfase expandida mejorando la flexibilidad del gluten. Los tensoactivos mejoran la capacidad de retención de gas durante la fermentación de la masa debido al reforzamiento del gluten. La espuma formada es estabilizada por la red del gluten, la cual es reforzada mediante la interacción con tensoactivos; esto conduce a un incremento en la tolerancia de la masa fermentada y a un mayor crecimiento del pan.

Durante el horneado, la masa con tensoactivos es capaz de expandirse aun más antes de que el complejo proteína-tensoactivo sea desnaturado por el calor. Por medio de la formación de complejos con la proteína, los tensoactivos producen un mayor volumen de pan, mejoran las características del grano y textura, y disminuyen la pérdida de humedad del pan.

Los tensoactivos reaccionan también con el almidón durante el horneado y forman complejos que permanecen intactos después de enfriarse. De esta manera los tensoactivos retienen la humedad en la miga y mejoran la suavidad del pan, lo cual es muy importante durante el transporte y almacenamiento del pan.

La figura 19 resume los efectos directos e indirectos que los tensoactivos tienen en las diferentes etapas del proceso de panificación.



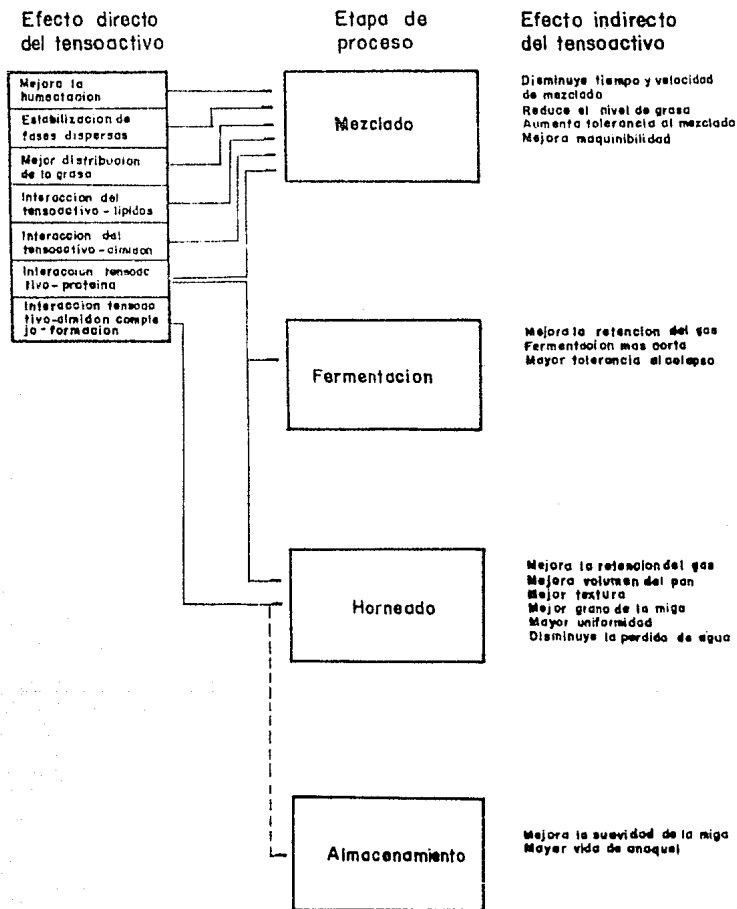


Figura 19.- Influencia de los tensoactivos en la producción y calidad del pan

Fuente: CISA

#### 2.11.6. Regulaciones internacionales sobre el uso de agentes tensoactivos en panificación.

El uso de tensoactivos, así como de otros aditivos alimenticios, está regulado toxicológica y comercialmente por importantes organizaciones internacionales, tales como: el Comité Mixto de Expertos en Aditivos Alimentarios de la Junta FAO/WHO, el Departamento de Regulaciones sobre Alimentos y Medicamentos de los E.U.A. (FDA) y la Directiva de la Comunidad Económica Europea (EEC) (8,18,45).

El trabajo de estas organizaciones tienen la finalidad de uniformar las regulaciones, sin embargo, muchas diferencias aun existen, ya que los tensoactivos aprobados varía de un país a otro dependiendo de las reglamentaciones alimenticias locales.

Los tensoactivos utilizados como aditivos en panificación deben ser, por supuesto, comestibles y no presentar ningún daño a la salud. Los tensoactivos aprobados por estas organizaciones, así como algunas características utilizadas en su clasificación se listan en los cuadros 9 y 10.

Los tensoactivos seleccionados para este trabajo se listan en el cuadro 11. El uso de estos tensoactivos está aprobado por la FAO/WHO, FDA y EEC, y se encuentran comercialmente disponibles en el mercado mexicano.

Cuadro 9. TENSIOACTIVOS APROBADOS EN E.U.A Y EUROPA PARA SU USO EN PANIFICACION

Tensioactivos	EEC	CFR	ADI*
Mono- y diglicéridos	E.471	182.4505	ilimitado
Esteres del ácido diacetil tartárico	E.472a	182.4101	0.5
Estearil-2-lactilato de sodio	E.481	172.846	0.2
Estearil-2-lactilato de calcio	E.482	172.844	0.2
Monoglicéridos succinilados		172.830	
Estearato de sorbitan (20) polioxietilénico	435	172.836	0.25
Estearato (8) polioxietilénico	430	172.840	0.25
Monoglicéridos etoxilados		172.834	
Propilén glicol monoestearato	E.477	172.856	0.25
Estearil fumarato de sodio		172.826	
Estearil tartrato	E.483		
Esteres de sucrosa	E.473-74	172.859	0.25
Lecitina	E.322	182.1400	ilimitado
Lecitina hidroxilada		172.814	

EEC, Número de regulación de la Comunidad Económica Europea (June 18, 1974)

CFR, Código Federal de Regulaciones título 21 (U.E.)

ADI, Dosis diaria aceptable (mg/kg de peso corporal)

\* Basado en el 15o., 17o. y 16o. reporte de la junta FAO/WHO

Cuadro 10. RESUMEN DE PROPIEDADES Y VALORES PARA LA CLASIFICACION DE LOS TENSOACTIVOS LISTADOS EN EL CUADRO 9

Tensoactivos	Parte Lipofílica	Valor HLB	Solubilidad Aceite	Agua	Tipo Fila	Comportamiento Mesomorfo
Mono- y diglicéridos	RFA	2.0- 3.0	s	d	S	Laminar Cúbica Hexagonal I Gel
Esteres del ácido diacetil tartárico	RFA	8.0-10.0	s	d	I	Laminar
Estearil-2-lactilato de sodio	RFA	18.0-21.0	s	d	I	Laminar Hexagonal II
Estearil-2-lactilato de calcio	RFA	7.0- 9.0	s	d	S	
Monoglicéridos succinilados	RFA	5.0- 7.0	s	d	I	Laminar
Estearato de sorbitan (20) polioxietilénico	RFA	14.0-15.0	s	s	I	Hexagonal I
Estearato (8) polioxietilénico						
Monoglicéridos etoxilados	RFA	12.0-13.0	s	s	I	Hexagonal I
Froilen glicol monoestearato	RFA	1.5- 3.0	s	l	S	
Estearil fumarato de sodio	RFA		d	l	S	
Estearil tartrato	RFA		s	d		
Esteres de sucrosa	RFA	3.0-16.0	d	d		
Lecitina	RFA	3.0- 4.0	s	d	I	Laminar
Lecitina hidroxilada	RFA	7.0-10.0	s	d	I	

RFA = Activo graso residual, RFA = alcohol residual

HLB, balance hidrofílico-lipofílico

s = soluble, l = insoluble, d = dispersable

I = inestable, S = estable

Fuentes (1)

Cuadro 11. TENSIOACTIVOS UTILIZADOS EN LA FERMENTACION

Clave	Nombre quimico
M61	Monoestearato de glicerilo
M62	Monooleato de glicerilo
DMG	Monoglicéridos destilados
DMG	Mono- y diglicéridos etoxilados
DATM	Monoglicéridos diacetil tartrados
PS 60	Monoestearato de sorbitan (20) polioxietilénico
PS	Estearato (9) polioxietilénico
SSL	Estearil-2-lactilato de sodio
CSL	Estearil-2-lactilato de calcio

### III. OBJETIVOS.

#### A. Objetivo general:

Comparar las propiedades funcionales de 9 tensoactivos como reforcadores de masa y retardadores del endurecimiento del pan.

#### B. Objetivos particulares:

1. Evaluar el efecto que tiene la concentración de los diferentes tensoactivos sobre las propiedades reológicas de la masa.

2. Evaluar el efecto que tienen el tipo y concentración de tensoactivo sobre el volumen específico del pan.

3. Evaluar el efecto de los diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada al 1er., 4o. y 7o. día de almacenamiento.

#### C. Metodología experimental.

1. Determinar la calidad de la harina utilizada a través del análisis químico y reológico, y mediante pruebas de panificación.

2. Realizar pruebas reológicas de la masa con tensoactivos a la concentración de 0.1, 0.3 y 0.5% en peso (base harina) en el alveógrafo de Chopin y extensógrafo de Brabender.

3. Hacer pruebas de panificación con tensoactivo teniendo como fuentes de variación el tipo y la concentración de tensoactivo (0.1, 0.3 y 0.5% en peso harina).

4. Medir la dureza del pan en el Instron Universal al 1er., 4o. y 7o. día de almacenamiento.

5. Seleccionar los tensoactivos que den mejores resultados en el volumen específico y suavidad del pan.

#### IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

##### 4.1 Materiales.

###### 4.1.1. Materia prima.

La materia prima utilizada en este trabajo fue una harina comercial de trigo que se obtuvo directamente de una industria molinera.

###### 4.1.2. Tensioactivos.

Los tensioactivos utilizados en la experimentación se adquirieron de la industria en su forma comercial.

###### 4.1.3. Ingredientes de panificación.

Los ingredientes empleados en la panificación se mencionan a continuación, todos son de grado alimenticio y de tipo comercial:

1. Leche en polvo (NIDO)
2. Manteca vegetal (INCA)
3. Levadura comprimida
4. Sal y azúcar.

##### 4.2. Métodos.

###### 4.2.1. Caracterización de las propiedades físicas y químicas de la harina.

La harina utilizada se sometió a un análisis físico y químico a fin de conocer sus características de calidad y predecir su comportamiento en las pruebas posteriores de panificación. El análisis incluyó la determinación de proteína, gluten, humedad, cenizas y sedimentación de la harina, así como la medición de sus propiedades reológicas en el farinograma de Brabender y en el alveorato de Chopin.

Los métodos utilizados fueron los que se emplean en el Laboratorio de Farinología del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Chapingo, Edo. de México (58). Estos métodos son una adaptación a los métodos oficiales propuestos por la Asociación Americana de Químicos Cerealeros (AACC, 1982); las técnicas detalladas de cada una de estas pruebas se encuentran en los apéndice 1 y 2.

#### 4.2.1.1. Análisis químico de la harina.

##### A. Proteína.

La determinación de proteína se hizo utilizando el método de Kjeldahl, este método se basa en la oxidación de la materia orgánica con ácido sulfúrico, mediante la adición de hidróxido de sodio se libera amoníaco que es directamente proporcional a la cantidad de proteína en la muestra después de multiplicar por el factor correspondiente.

##### B. Gluten.

Esta prueba se realizó utilizando el Glutomatic 2100, este equipo separa el gluten de la harina mediante la eliminación de almidón y material soluble.

##### C. Humedad.

El contenido de humedad se determinó utilizando la balanza semi-automática de temperatura controlable Brabender. Este aparato mide la humedad de la harina en base a la pérdida de peso de la muestra al calentarse bajo ciertas condiciones de temperatura.

##### D. Cenizas.

Esta determinación se hizo mediante la calcinación de la materia orgánica a una temperatura de 580 °C.



### E. Sedimentación.

La prueba de sedimentación o de Zeleny es una prueba de predicción de la calidad y cantidad de proteína en materiales segregantes de trigo. Esta prueba se basa en la velocidad de expansión y sedimentación de las partículas de proteína de la harina cuando estas absorben agua en presencia de ácido láctico.

#### 4.2.1.2. Pruebas reológicas.

Estas pruebas complementan efectivamente los resultados de las medidas analíticas de predicción debido a su precisión, exactitud y reproducibilidad, puesto que controlan el comportamiento de la masa, proporcionan suficiente información relacionada al valor del volumen de pan y definen las características del gluten y/o su comportamiento en la prueba de panificación (20,58).

#### A. Farinógrafo de Brabender.

El farinógrafo mide la plasticidad y maleabilidad de la masa, registrando en una gráfica la resistencia que esta ofrece cuando se le aplica un trabajo. Este instrumento es también muy útil para determinar la absorción de agua de la harina, que es un parámetro muy importante en la prueba de panificación.

El equipo consta de un mezclador con una chaqueta de enfriamiento, dos aspas gemelas acopladas a un motor que gira en plano vertical, y se encuentra conectado a un sistema graticador que registra la resistencia ejercida sobre una banda de papel. La curva que se obtiene es similar a la de la figura 20; el trazo indica la reacción del torque sobre el eje de transmisión del motor a las aspas mezcladoras.

Los parámetros que se calculan por la interpretación de la gráfica son los siguientes:

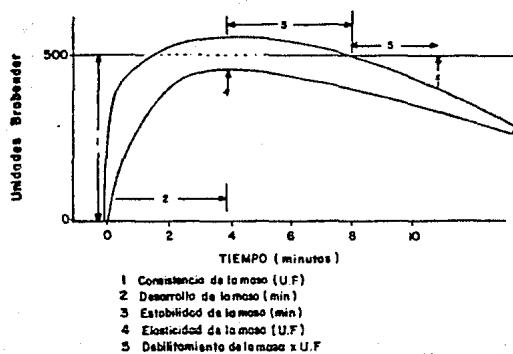


Figura 20. Curva Farinográfica

1. Consistencia de la masa (U.B.)
2. Desarrollo de la masa (min.)
3. Estabilidad de la masa (min.)
4. Elasticidad de la masa (U.B.)
5. Debilitamiento de la masa x U.B.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

El contenido de agua a una consistencia máxima de 500 U.B. se llama absorción de agua. Bajo muchas condiciones este parámetro se relaciona al contenido de agua óptimo de la masa para panificación.

La consistencia de la masa medida como la altura de la mitad de la banda está determinada por el contenido de agua. El recíproco de la consistencia de la masa es su viscosidad y fluidez.

#### B. Alveógrafo de Chopin.

El alveógrafo mide las características del gluten (tenacidad, elasticidad, expansión, fuerza general, etc.) que determinan su aptitud para el proceso de panificación.

Este equipo consta, fundamentalmente, de una platina con una perforación central, sobre la que se coloca una lámina de masa, preparada en condiciones definidas. Por el orificio de la platina se inyecta aire a presión, el cual hincha la lámina de masa y forma una burbuja que finalmente se rompe. La presión en el interior de la burbuja, que depende de las características plásticas de la masa, se registra en forma automática sobre un tambor que gira a velocidad constante, obteniendo una gráfica como la representada en la figura 21.

En el alveograma, la extensibilidad, o capacidad de la burbuja de masa para ser estirada antes de romperse, se estima por la longitud (L) de la base de la curva. En ordenadas se mide la presión que existe, en cada instante, en el interior de la burbuja, la cual depende de la resistencia -tenacidad- que opone la masa a la extensión; el valor máximo de presión (T) proporciona una medida de la estabilidad de la masa. La fuerza general de la harina (W) se determina a partir de los parámetros

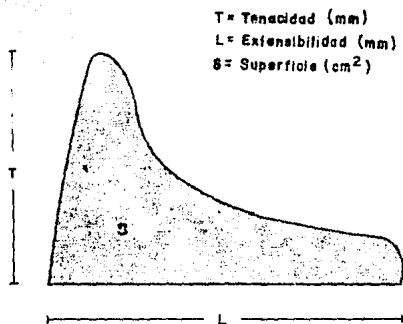


Figura 21 — Curva característica del alveograma

1.  $L$  y de la superficie o area encerrada de la curva (S), y expresa el trabajo (en ergios) que se aplica al proceso.

El  $W$  de una harina es una expresion global de las características plasticas de la masa. Para harinas destinadas a la fabricacion de pan se recomiendan valores de  $W$  superiores a 250; si bien el valor de  $W$  es importante, hay que tener en cuenta tambien el indice  $f/L$  que expresa el equilibrio existente entre la tenacidad y la extensibilidad de la masa, y que en harinas panificables debe aproximarse a 0.5. Solo con las harinas bien equilibradas puede obtenerse un pan de buena calidad y volumen adecuado (56).

#### L. Extensografo de Grabender.

El extensografo consta propiamente de una camara de reposo y un dispositivo de estiramiento encerrada en un gabinete a temperatura y humedad constante. El dispositivo de estiramiento se desliza en plano vertical a una velocidad determinada y se encuentra conectado a un sistema graficador que registra las fuerzas ejercidas en relacion al tiempo. La grafica que se obtiene es como la de la figura 22.

Este equipo mide la elasticidad de la masa como una medida de la resistencia que opone cuando se somete a una fuerza de elongacion; la altura y la longitud de la curva se usan, respectivamente, como medidas de la resistencia a la extension y extensibilidad de la masa. La forma del extensograma puede caracterizarse por la proporcion entre extension y elasticidad, y representa el balance de propiedades que se requiere para la retencion del gas.

#### 4.2.2. Preparacion de hidratos.

Los tensoactivos listados en el cuadro 11 se utilizaron en la forma de hidrato al 30 %. Para la preparacion del hidrato se pesaron 30 g de tensoactivo y se fundieron en baño maria, para luego ser dispersados en agua destilada a 80 °C con agitacion constante, utilizando un agitador de propelas.

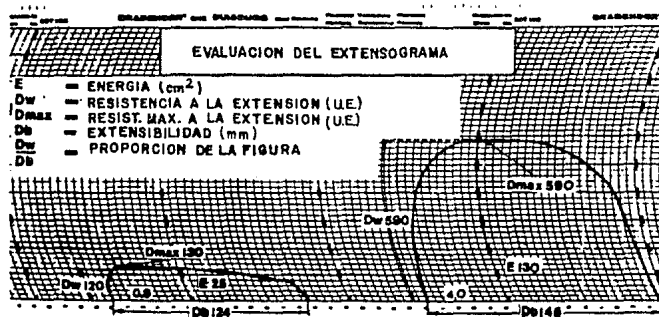


Figura 22. Parametros obtenidos del extensograma

la adición del tensoactivo a la masa se calculo en base a la concentración del ingrediente activo en el hidrato.

#### 4.2.3. Pruebas reológicas con tensoactivo.

Las pruebas reológicas de la harina con tensoactivo se realizaron en el alveógrafo de Chopin y en el extensógrafo de Brabender. La adición del tensoactivo (en la forma de hidrato) se hizo directamente sobre la harina, dando un minuto de premezclado antes de formar la masa. Las cantidades añadidas de tensoactivo fueron: 0.1, 0.3 y 0.5 % en base al peso de la harina.

Los parametros que se midieron en el alveógrafo de Chopin fueron: tenacidad (mm), extensibilidad (mm), expansión (ml), indice de tenacidad/extensibilidad y fuerza general de la harina (10 E-4J). En el extensógrafo se midió la energía o fuerza de la harina (cc), resistencia máxima a la extensión (U.E.) y extensibilidad (mm). El numero de repeticiones para cada tratamiento (dición de tensoactivo al 0.1, 0.3 y 0.5% en base al peso de la harina) fue por triplicado.

#### 4.2.4. Pruebas de panificación con tensoactivos.

Estas pruebas se realizaron siguiendo el método masa-directa utilizado en el Laboratorio de Farinología del INIFAP, el cual es una adaptación al método oficial de la AACCC. La fórmula de panificación y los detalles del proceso están en el Apéndice C.

En cada panificación-día se probó un tensoactivo a la concentración de 0.1, 0.3 y 0.5% en base al peso de la harina; se corrió un testigo y el numero de repeticiones para cada tratamiento fue por duplicado en la etapa de preselección, y por quintuplicado en el estudio que se realizó más a fondo con los tensoactivos seleccionados.

La adición de tensoactivo, en la forma hidrato, se hizo directamente sobre la harina y demás ingredientes en la etapa de mezclada, el tiempo de amasado fue de 4 min. Las masas formadas se dejaron reposar en una cámara de fermentación a 30 C y 75% de humedad relativa por 1 hora 50 min. Durante la fermentación se le dieron dos fresados a la masa para distribuir mejor el gas, el primero fue a la hora 20 min y el segundo 45 min después, dando 25 min. adicionales antes de laminar, moldear y depositar en los moldes; ya en los moldes se les dio 20 min. más como periodo de prueba final antes de meter al horno. El horneado fue durante 25 min a 230 C.

El pan recién horneado se pesó y midió el volumen por desplazamiento de semilla de nabo. El volumen específico del pan se calculó al dividir el volumen entre el peso. El pan, ya frío, se guardó en bolsitas de polietileno a temperatura ambiente; 24 hrs después se calificó sensorialmente textura y color a uno de los panes de cada tratamiento, los demás se guardaron para ser medidos en el Instron.

#### 4.2.5. Medición de la dureza del pan en el Instron Universal

La dureza del pan se midió en términos de la fuerza de compresión (expresada en kilogramos fuerza) en el aparato de prueba Instron Universal modelo 1130. Este equipo consta de un sistema eléctrico de resistencia al peso altamente sensible. Los especímenes son probados bajo la tensión que ejercen dos prensas - una unida a la ceja de resistencia en movimiento transversal y la otra fija a la base de la máquina-. El movimiento transversal lo realizan dos tornillos verticales que giran accionados por un motor sincronizador y un sistema de engranes que permite variar la velocidad transversal.

La resistencia que ejerce el espécimen de prueba es detectada por el trazo de una pluma sobre un papel graficador que gira sincronizado al movimiento transversal, resultando así una gráfica de resistencia contra desplazamiento como el de la figura 13.



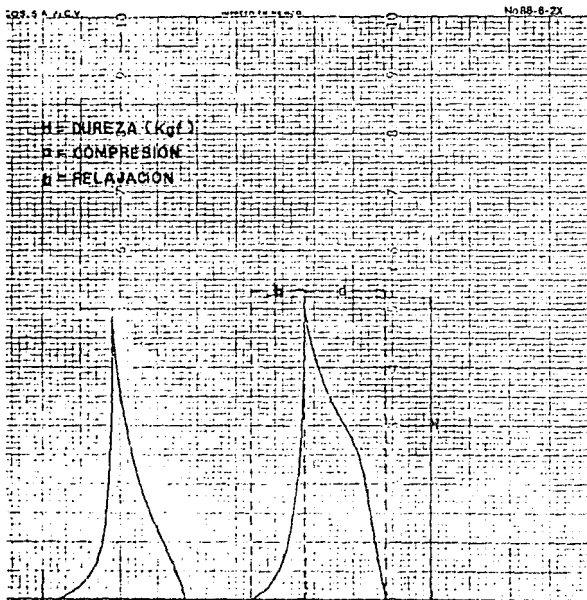


Figure 23 Medición de la dureza en el Instron Universal

Las curvas pueden ser graficadas en escalas expandidas o reducidas debido al uso de un potenciómetro que tiene varios rangos de amplificación. La fuerza de compresión, ejercida sobre la muestra, es una medida indirecta de la dureza del pan (1,55.62). La fuerza de compresión está representada por la altura máxima del pico, medida directamente sobre la escala del papel graficador y multiplicada por un factor del rango de amplificación.

La firmeza del pan se midió en el Instron al día 40, y 70, día de almacenamiento. La muestra se preparó cortando el pan en rebanadas de 2 cm de espesor, se les quitó la corteza y los lados, y se cortaron cuadros de 8 x 8 cm. Las muestras se comprimieron a un 50 % de deformación utilizando la celda de 50k y el aditamento de compresión de 3.682 in de diámetro; la velocidad del cabezal fue de 200 mm/min y la del papel graficador de 100 mm/min. Las mediciones para cada tratamiento se hicieron por duplicado en la etapa de preselección de tensoactivos, y por triplicado en el estudio que se realizó más a fondo con los tensoactivos seleccionados. La técnica detallada de esta prueba se encuentra en el apéndice 4.

#### 4.2.6. Análisis estadístico.

Se hizo una selección de tensoactivos en base a pruebas preliminares de panificación; el criterio de selección fue que el efecto de los tensoactivos sobre el volumen específico del pan fuera significativo a las 3 concentraciones, a un nivel de confianza del 95%. La técnica estadística utilizada en esta etapa fue el análisis de varianzas, por cada tensoactivo, bajo un solo criterio de clasificación: concentración. La comparación de todas las medias con el control se hizo mediante la prueba de Dunnett.

Los resultados de volumen específico con los tensoactivos seleccionados fueron analizados mediante el análisis de varianzas para un experimento de dos factores en un diseño completo aleatorizado; en este caso se aplicó la prueba del rango múltiple de Duncan utilizando un nivel de significancia igual a 0.05.

Los resultados de fuerza de compresion fueron analizados mediante el analisis de varianza para un experimento factorial, en un diseno de bloques completos aleatorizados, la prueba del rango multiple se aplico tambien en este caso.

Todos los calculos se hicieron en las instalaciones del Centro de Calculo y Estadistica de la Universidad Autonoma de Chapingo, Edo. de Mexico, utilizando el paquete SAS (Sistema de Analisis Estadistico), elaborado por el Instituto SAS (E.U.A., 1979).

## V. RESULTADOS Y DISCUSION.

### 5.1. Propiedades físicas y químicas de la harina.

El cuadro 12 contiene los resultados del análisis físico-químico de la harina utilizada. En él puede observarse que el contenido de proteína (9.8%) de la harina fue relativamente bajo comparado con el estándar (10.7% mínimo) especificado para una harina panadera blanca (27).

Esta deficiencia se reflejó también en el bajo porcentaje de absorción de agua (56%) comparado con el estándar (64%) reportado (27). El contenido de humedad de la harina (12.7%) no rebasó el estándar de 13.5. máximo; esto favoreció la estabilidad del material, ya que harinas con mayor humedad son susceptibles a la degradación por microorganismos, ácaros e insectos (27,58).

El contenido de cenizas de la harina fue de 0.49%, este dato sirvió para conocer el grado de la eficiencia de separación del endospermo del salvado y del germen durante el proceso de molienda, correspondiendo a una harina con un grado de extracción del 70% (56).

En conjunto, los resultados de humedad, proteína y cenizas de la harina, correspondieron a una harina de trigo "fina" apta para el proceso de panificación (60).

Con respecto a la calidad del gluten, evaluada a partir de las pruebas reológicas en el alveógrafo de Chopin, la fuerza general ( $W = 412 \text{ 10E-4J}$ ) de la harina fue mayor al valor recomendado (250 mínimo) para harinas destinadas a panificación; sin embargo, su índice de tenacidad/extensibilidad ( $F/L = 1.02$ ) se alejó mucho al valor de 0.5 recomendado para harinas panificables (56).

Este último parámetro es muy importante porque expresa el equilibrio entre la estabilidad y extensibilidad de la masa; en base a esto, la harina utilizada resultó demasiado tenaz y

Cuadro 12. PROPIEDADES FISICO - QUIMICAS DE LA HARINA

Analisis	Resultado*
Pruebas quimicas:	
Humedad, %	12.7
Proteina, %	9.6
Gluten, %	25.9
Cenizas, %	0.49
Sedimentacion, ml	24.0
Pruebas reologicas:	
Farinograma	
Absorcion de agua, %	56.0
Tiempo de desarrollo de la masa, min	1.2
Estabilidad, min	4.3
Alveograma	
Tenacidad, mm	110.3
Extensibilidad, mm	108
Indice de tenacidad/extensibilidad	1.02
Fuerza general, 10E-4 J	412
Prueba de panificacion:	
Volumen del pan, cc	735.5

\* Promedio del triplicado

poco extensible, lo cual impidió la obtención de un pan con volumen adecuado. Esta observación se corroboró con el volumen de pan obtenido (735.5 cc) en la prueba de panificación, el cual se consideró regular comparado con los 820 cc. que debió tener para considerarse excelente, esto en base al método de panificación y la escala utilizada (5b).

La clasificación de la harina utilizada en base a los parámetros reológicos obtenidos correspondió al grupo de harinas de gluten fuerte-balanceado, apto para el proceso de panificación (5b.60).

### 5.2. Formación de hidratos.

Todos los tensoactivos probados, con excepción del EMG y el PS 60, formaron un hidrato estable (sin separación de fases). La consistencia del material formado varió: así por ejemplo, el 55L y 65L formaron una pasta blanda de color café, el M61 y M62 una pasta dura de color blanco, el DITEM una crema blanca granulosa y el PS un gel fibroso blanco nacarado. El DM6 se obtuvo ya preparado en la forma de una crema ácida muy blanda.

El PS 60 y el EMG formaron una espuma blanca que 24 hrs después se separó en la forma de un líquido blanco y amarillo viscoso con partículas en suspensión. Los resultados coincidieron con las observaciones hechas por Kroq (44), quien señaló que tanto los monoglicéridos etoxilados (EMG) como los polisorbatos (PS 60) forman mesofases inestables en el agua, las cuales tienden a separarse en forma de micelas.

Aunque estos dos últimos tensoactivos no formaron hidrato, se trabajó con ellos en forma líquida y con el resto no hubo mayor problema en el manejo.

### 5.3. Pruebas reológicas de la masa con tensoactivo.

El cuadro 13 contiene los resultados de las pruebas reológicas de la masa con tensoactivos en el alveógrato de Chopin. Puede observarse que el mayor efecto de los tensoactivos fue sobre la resistencia -tenacidad- que opone la masa a su

Cuadro 13. PRUEBAS REDOLÓGICAS CON TENSIVOACTIVO EN EL ALVEÓGRAFO DE CHOPIN \*

Tensivoactivo	Conc. (%)	Tenacidad (mm)	Extensibilidad (mm)	Expansión (al)	F/L	F/E	Fza. Gral (10E-4 J)
DITEM	0.1	85.2	123	24.65	0.69	3.45	349
	0.3	80.3	110	23.25	0.73	3.45	308
	0.5	78.5	112	23.55	0.70	3.35	304
DMG	0.1	86.0	118	24.05	0.73	3.55	337
	0.3	75.0	107	22.95	0.70	3.30	272
	0.5	78.1	101	22.25	0.77	3.50	272
EMG	0.1	80.3	108	23.06	0.74	3.50	302
	0.3	75.5	123	24.55	0.61	3.15	304
	0.5	76.1	130	25.50	0.59	3.00	338
ME1	0.1	85.8	121	24.35	0.71	3.50	337
	0.3	84.9	124	24.60	0.68	3.45	343
	0.5	78.9	118	24.05	0.66	3.25	311
MG2	0.1	86.9	109	23.15	0.80	3.75	331
	0.3	79.7	94	21.45	0.85	3.70	269
	0.5	77.5	99	22.00	0.76	3.50	273
PS 60	0.1	84.1	131	25.35	0.64	3.30	354
	0.3	81.1	123	24.55	0.66	3.30	331
	0.5	73.8	119	24.20	0.62	3.00	300
PS	0.1	90.5	129	25.15	0.62	3.20	337
	0.3	89.5	107	22.95	0.65	3.05	266
	0.5	85.4	130	21.90	0.50	2.95	230
SSL	0.1	85.5	98	22.05	0.87	3.85	269
	0.3	87.7	106	22.75	0.83	3.85	347
	0.5	83.6	125	24.80	0.67	3.37	347
CSL	0.1	83.6	101	22.35	0.83	3.90	290
	0.3	89.6	128	25.10	0.70	3.55	357
	0.5	76.6	104	22.70	0.76	3.50	278
TEST160		86.7	119	24.1	0.73	3.50	340

\* Pruebas por duplicado

extensiones: así por ejemplo, el DATEM, MB1, MB2, PS 60 y PS redujeron la tenacidad de la masa al aumentar la concentración de 0.1 a 0.5%, mientras el SSL y LSL lo hicieron al aumentarla de 0.3 a 0.5% y los DMG y EMG de 0.1 a 0.3 %.

Respecto a la extensibilidad de la masa, esta permaneció sin cambios importantes al utilizar las diferentes concentraciones de tensoactivo. El hecho de que la tenacidad disminuyera y la extensibilidad permaneciera invariable fue favorable para mejorar la aptitud panadera de la harina, ya que el índice de tenacidad/extensibilidad se acercó más al equilibrio ( $T/L = 0.5$ ) recomendado para harinas destinadas a la panificación (56). Esto fue particularmente notorio con el PS, EMG, PS 60, MB1 y SSL a la concentración de 0.5%.

La fuerza general (W), en tanto, se redujo respecto a la del testigo como resultado de la disminución de la tenacidad; sin embargo, este parámetro se mantuvo por arriba del valor recomendado ( $W = 250$  mínimo) para panificación (56).

Los efectos de los tensoactivos en las propiedades de la masa, medidas en el alveograto de Chopin se aprecian mejor en las figuras 24, 25 y 26.

Los resultados de las pruebas en el extensograto de Brabender se muestran en el cuadro 14 y en las figuras 27 y 28. Puede observarse, en general, un aumento de la energía y extensibilidad de la masa respecto al testigo, así por ejemplo, el DATEM, EMG y MB2 aumentaron estas dos propiedades de la masa al aumentar la concentración de 0.1 a 0.5 %; en tanto, los DMG, MB1, PS 60, SSL y LSL lo hicieron al disminuir la concentración de 0.5% a 0.1%.

En cuanto a la resistencia máxima a la extensión, la mayoría de los tensoactivos, con excepción de los EMG, PS 60 y PS (a la concentración de 0.5%), rebasaron la escala máxima de 1000 U.E., esto indicó la alta resistencia o tenacidad que opone la masa con tensoactivos a ser estirada.



Figura 24. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la fuerza general de la harina.

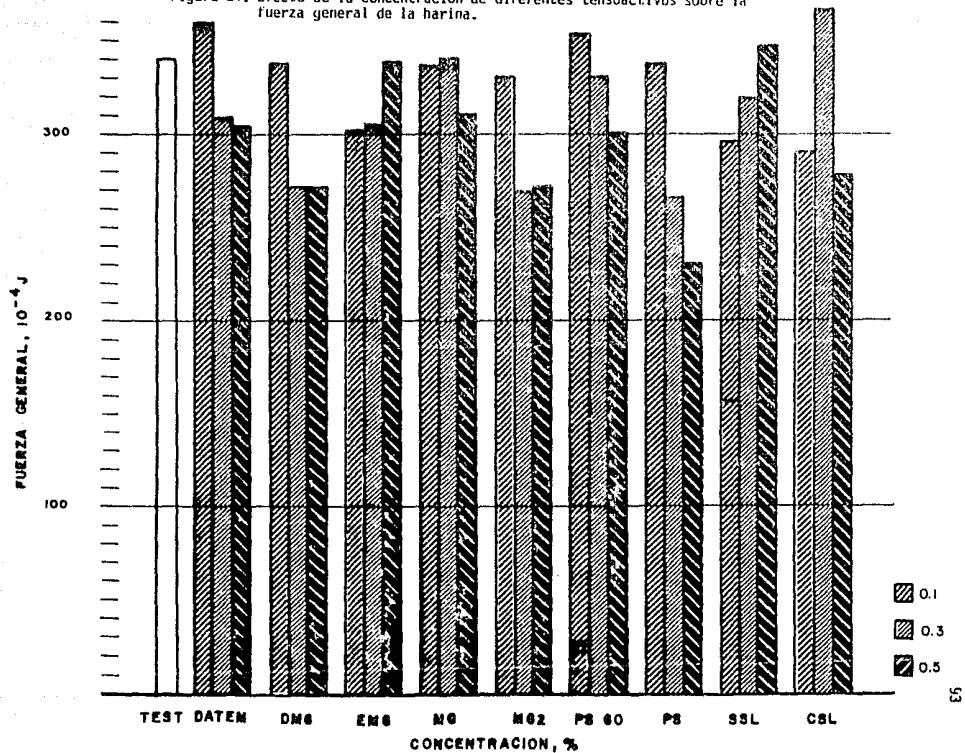


Figura 2b. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el índice de tenacidad/extensibilidad de la masa, medido en el alveógrafo de Chopin.

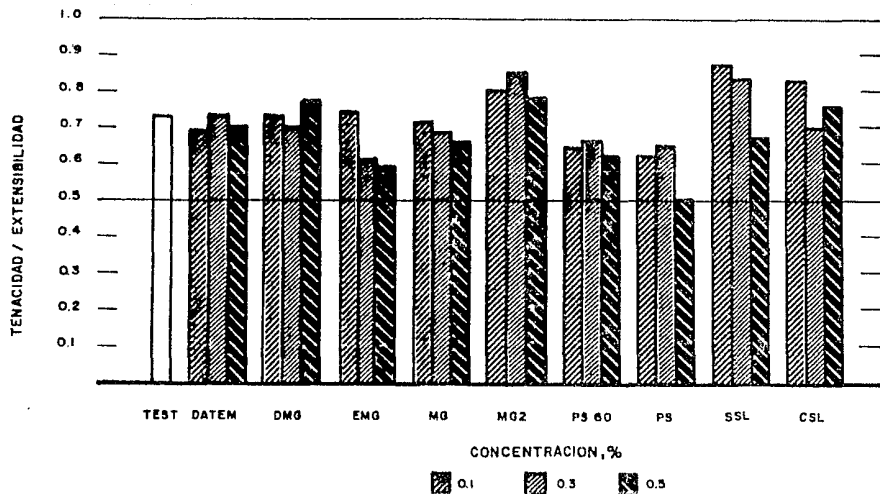
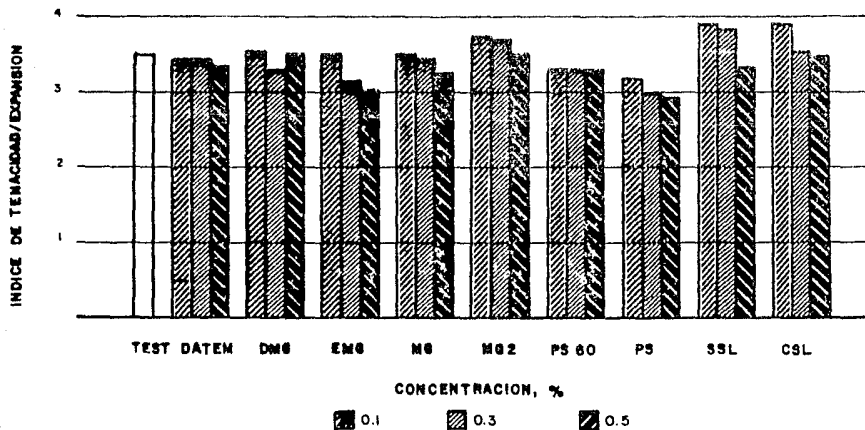


Figura 2b. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el índice de tenacidad/expansión, medido en el alveógrafo de Chopin.



Cuadro 14. PRUEBAS REOLÓGICAS CON TENSOACTIVO EN EL EXTENSÓGRAFO DE DRABENDER

Tensoactivo	Conc. (%)	Energía (cm <sup>2</sup> )	Extensibilidad (mm)	Resist. max. (U.E.)
DATEM	0.1	125.7	82.5	1000
	0.3	136.7	87.5	1000
	0.5	176.0	111.0	1000
DMG	0.1	146.0	94.5	1000
	0.3	142.5	71.0	1000
	0.5	135.2	86.0	1000
EM6	0.1	153.2	99.0	1000
	0.3	119.2	66.0	930
	0.5	169.7	116.0	945
MS1	0.1	169.8	112.0	1000
	0.3	170.2	108.5	1000
	0.5	151.4	92.0	1000
MS2	0.1	139.8	90.0	1000
	0.3	136.7	89.5	1000
	0.5	155.3	99.5	1000
PS 60	0.1	176.9	95.0	1000
	0.3	159.2	110.0	760
	0.5	147.5	97.5	957
PS	0.1	162.2	100.0	1000
	0.3	122.1	57.0	942
	0.5	148.7	115.5	850
SSL	0.1	161.5	100.0	1000
	0.3	145.1	92.0	1000
	0.5	136.7	87.0	1000
CSL	0.1	176.7	116.5	1000
	0.3	158.7	105.5	1000
	0.5	163.7	104.5	1000
TESTIGO		145.5	91.0	1000

\* Pruebas por duplicado

Figura 27. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la energía o fuerza de la masa, medida en el extensógrafo de Brabender.

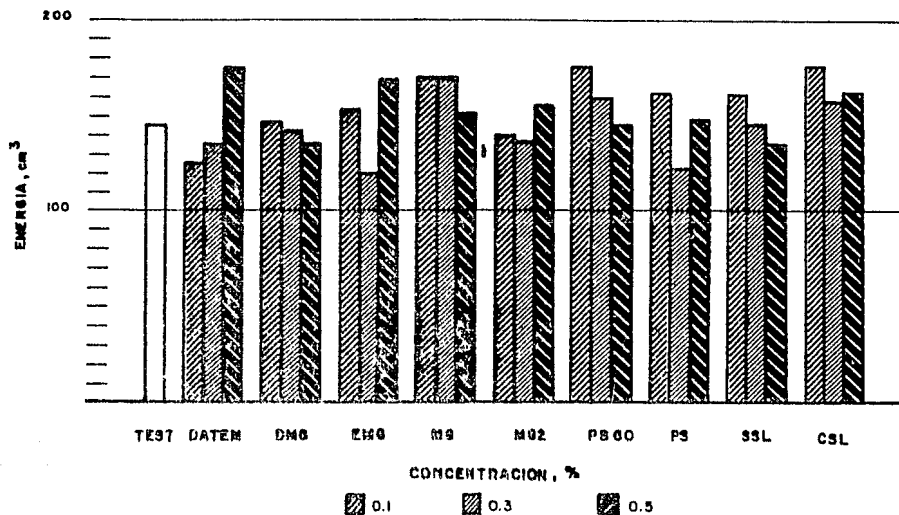
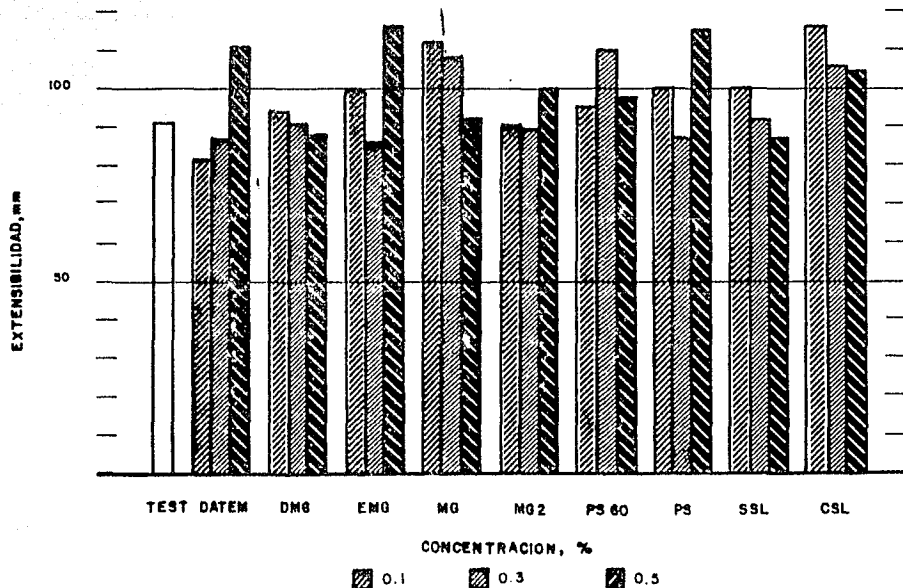


Figura 28. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la extensibilidad de la masa, medida en el extensógrafa de Brabender.



Se postula que el aumento de tenacidad de la masa es el resultado de la interacción de los tensoactivos con las gluteninas, que son las responsables de desarrollar esta propiedad de la masa, y que la capacidad de interacción con las proteínas varía entre tensoactivos, como lo sugieren los resultados obtenidos, indicando un mayor grado de interacción con los tensoactivos iónicos que con los de tipo no iónico.

El comportamiento del PS, EM6 y PS 50 fue similar al observado en el alveoqrato, ya que estos tensoactivos a la misma concentración de 0.5% disminuyeron la tenacidad de la masa. En este sentido puede decirse que los parámetros medidos en ambos equipos son equivalentes, ambos son apropiados para evaluar el efecto de los reforzadores de masa; sin embargo, en el extensograto las diferencias son más notorias que en el alveoqrato.

#### 5.4. Pruebas preliminares de panificación con tensoactivos (Etapa de selección).

El cuadro 15 contiene los resultados obtenidos en el volumen específico del pan al emplear los 7 tensoactivos, este contiene también los resultados de la prueba de Dunnet. Se observa en general un aumento del volumen específico del pan; pero solo los tensoactivos cuyo efecto mejorador fue estadísticamente significativo fueron: el SSL, CSL y EM6. El máximo efecto de estos tensoactivos se obtuvo a la concentración de 0.5 y 0.3%, respectivamente.

Estos resultados coincidieron con los obtenidos por Birnbaum (5), Knightly (41), Kroq (44) y Tsen (67). Todos estos investigadores coinciden en señalar al SSL y CSL como los reforzadores de masa más efectivos. El efecto mejorador de estos tensoactivos sobre el volumen específico del pan lo atribuyen, principalmente, a la interacción tensoactivo-proteína que se forma, la cual es favorecida por su naturaleza iónica y por la capacidad que tienen de formar mesofases laminares o geles en agua a la temperatura de mezclado.

Cuadro 15. PRUEBAS DE PANIFICACION CON TENSOACTIVOS  
VOLUMEN ESPECIFICO (cc/g) DEL PAN

Tensoactivo	testigo	Concentracion (%)		
		0.1	0.3	0.5
DATEM	4.71a	5.47b	4.88a	5.43b
DMG	4.71a	4.61a	4.90a	4.76a
EMG	4.71a	5.81b	5.92b	5.75b
MG1	4.71a	4.52a	4.51a	5.37a
MEZ	4.71a	5.51b	5.37a	5.18a
PS 60	4.71a	5.28a	5.52a	5.61a
PS	4.71a	5.09a	5.14a	5.03a
SSL	4.71a	5.73b	6.00b	6.29b
CSL	4.71a	5.67b	5.67b	5.73b

\* Promedios por triplicado

Nota: promedios con diferente letra son significativamente diferentes



En orden decreciente, otros tensoactivos que tambien mostraron un incremento del volumen del pan fueron el MG2, PS 60 y el DATEM. El efecto de los 9 tensoactivos sobre el volumen del pan puede apreciarse mejor en la figura 29.

La dureza de los panes con tensoactivo, expresada en kilogramos fuerza, durante el periodo de 1 a 7 dias de almacenamiento se muestra en el cuadro 16. Se observo en general un aumento de la dureza del pan con respecto al tiempo; sin embargo, los panes elaborados con SSL, PS 60, PS, MG2, EMG, DMG y CSL resultaron ser mas suaves que el testigo al 1er. y 4o. dia de almacenamiento. Asi mismo, se observo que la rapidez de endurecimiento fue mayor entre el 1o. y 4o dia que entre el 4o. y 7o. dia. Este comportamiento se aprecia mejor en las figuras 30, 31 y 32.

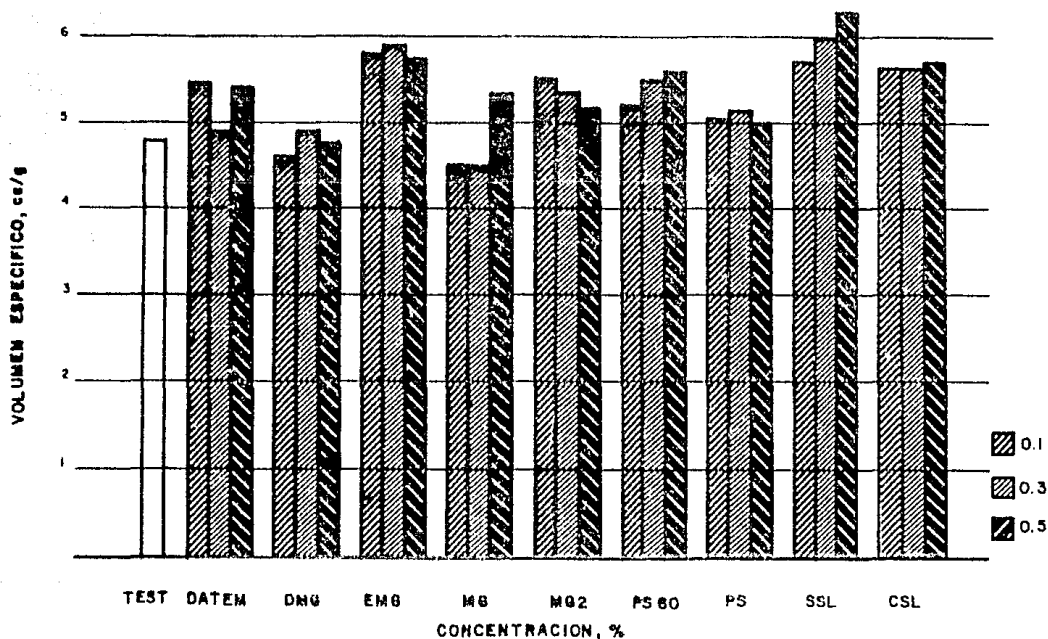
Los tensoactivos seleccionados tanto por el efecto mejorador del volumen especifico y la accion retardadora del endurecimiento del pan fueron: el SSL, CSL, EMG, DMG, PS y MG2; este ultimo fue una excepcion ya que se quiso corroborar su efecto.

El proposito de realizar una vez mas, esta parte de la experimentacion con un menor numero de tensoactivos, fue el de hacer un estudio con mas repeticiones que permitieran reforzar los resultados obtenidos a traves del analisis estadistico, involucrando todos los factores ambientales, fisicos y la variabilidad intrinseca de la metodologia.

#### 5.5. Pruebas de panificacion con los tensoactivos seleccionados.

Los resultados del volumen especifico del pan, obtenidos al probar los 6 tensoactivos seleccionados a la concentracion de 0.1, 0.3 y 0.5% se reportan en el cuadro 17. El analisis de varianza reportado en el cuadro 18, mostro un efecto significativo del tensoactivo y concentracion, el efecto de estos dos factores no fue independiente, ya que el valor de F para la interaccion tensoactivo x concentracion tambien resulto significativo.

Figura 2v. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el volumen específico del pan (selección).



Cuadro 16. PRUEBAS DE PANIFICACION CON TENSOACTIVOS  
FUERZA DE COMPRESION (Kgf) DEL PAN EVALUADA AL  
1er., 4o. Y 7o. DIA DE ALMACENAMIENTO

Tensoactivo Conc. (2)		Días de Almacenamiento		
		1o.	4o.	7o.
DATEM	Testigo	2.80	6.80	8.00
	0.1	2.75	5.25	5.65
	0.3	3.15	5.60	6.45
	0.5	2.20	3.90	6.15
DMG	Testigo	2.65	6.10	10.00
	0.1	2.80	5.00	5.90
	0.3	2.10	4.00	5.60
	0.5	2.40	3.60	5.60
EMG	Testigo	1.75	4.50	8.50
	0.1	2.65	5.10	7.00
	0.3	2.50	6.30	6.00
	0.5	2.00	4.80	6.10
M61	Testigo	2.85	6.40	9.60
	0.1	3.10	7.20	8.30
	0.3	3.30	8.10	8.50
	0.5	3.35	6.20	7.90
M62	Testigo	2.80	6.00	8.00
	0.1	2.53	4.60	6.70
	0.3	2.20	5.20	7.70
	0.5	2.25	5.10	7.00
PS 60	Testigo	1.75	4.50	8.50
	0.1	1.95	5.90	5.90
	0.3	2.00	4.50	4.70
	0.5	2.00	3.50	5.10
FS	Testigo	2.85	6.10	10.00
	0.1	3.20	4.40	6.00
	0.3	1.85	4.00	5.50
	0.5	2.40	3.20	4.20
SSL	Testigo	1.95	6.40	7.50
	0.1	2.00	3.70	4.00
	0.3	1.60	4.20	4.70
	0.5	1.65	4.00	3.90
CSL	Testigo	2.20	5.40	8.50
	0.1	2.25	5.15	6.50
	0.3	1.45	4.20	7.90
	0.5	1.50	4.90	6.70

\* Promedio de duplicación

Figura 30. Efecto de la concentración de diferentes tensioactivos sobre la dureza del pan evaluada en el Instron al 1er. día de al macenamiento (selección).

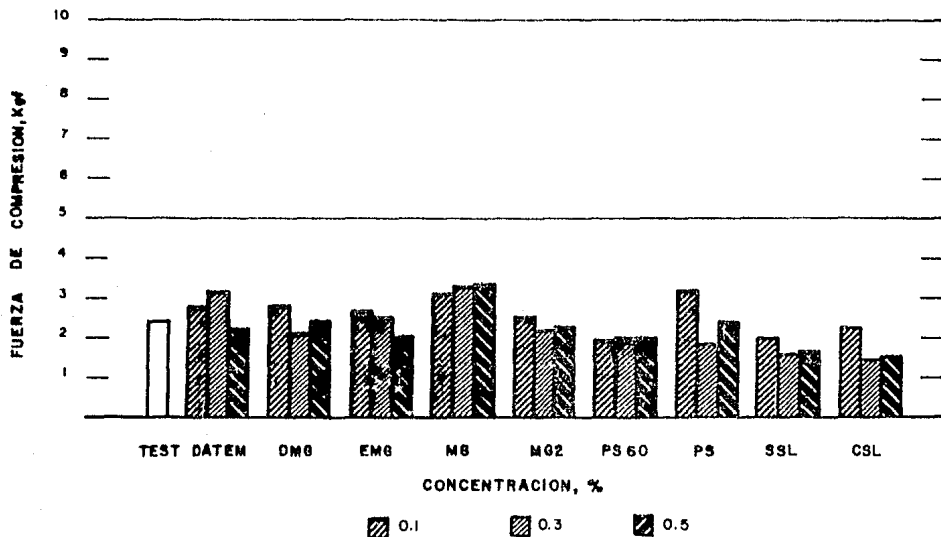


Figura 31. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 40. día de almacenamiento (selección).

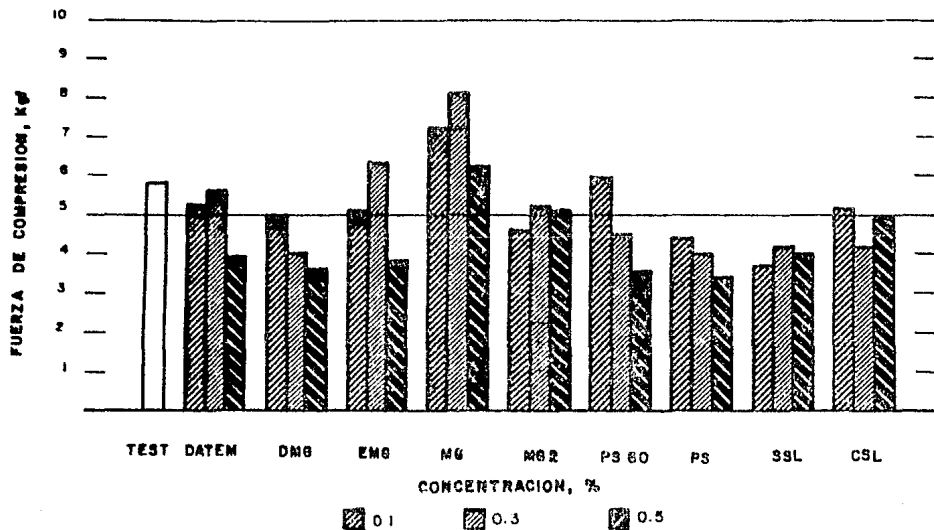
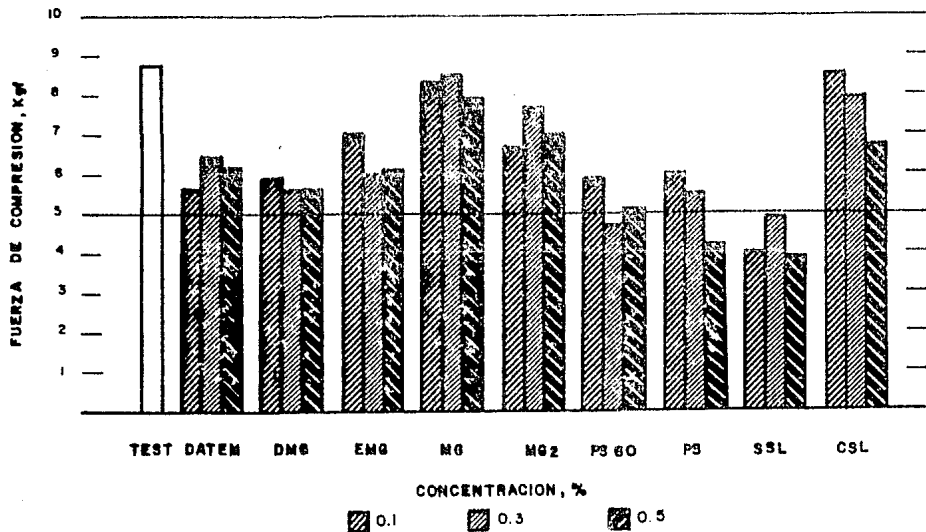


Figura 32. Efecto de la concentración de diferentes tensioactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 7o. día de al macenamiento (selección).



Cuadro 17. VOLUMEN ESPECIFICO (cc/g) DEL PAN CON LOS  
TENSOACTIVOS SELECCIONADOS \*

Tensoactivo	Concentracion (%)			
	Testigo	0.1	0.3	0.5
EMG	4.53c	4.85b	5.12a (a)	5.10a
MG1	4.70a	4.47a	4.51a (c)	4.46a
PS	4.75b	4.90b	5.24a (a)	5.14a
SSL	4.76b	4.90b	5.15a (a)	5.22a
CSL	4.71b	4.84b	4.97b (b)	5.20a
DHG	4.84b	4.81b	5.15a (a)	4.94b

\* Promedio de quintuplicado

Nota: promedios con diferente letra son significativamente diferentes

Cuadro 18. ANÁLISIS DE VARIANZA: VOLUMEN ESPECÍFICO DEL PAN CON LOS  
LOS TENSOPACTIVOS SELECCIONADOS

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	F tablas
Tensoactivo	5	3.1219070	0.62438140	21.02 *	2.29
Concentración	3	2.1357603	0.7119201	23.97 *	2.68
Interacción	15	3.7703000	0.25134667	8.46 *	1.75
Error	96	2.8512797	0.02970653		
Total	119	11.8712797			

\* significativo  
nivel de significancia = 0,05



Las figuras 13 y 14 muestran el efecto de la concentración de tensoactivo sobre el volumen específico del pan. Se observo en general un incremento del volumen con respecto al testigo, la excepción fue el M61, ya que este tensoactivo en lugar de aumentar lo redujo; esto puede deberse a su naturaleza no polar (hidrofóbica). Krog (43) sostiene que los tensoactivos que interaccionan con el gluten unicamente por asociaciones hidrofóbicas tienen un pobre efecto como reforzadores de la masa y algunas veces es perjudicial.

Con relación al efecto de interacción, se observo que este solo es valido entre grupos diferentes de tensoactivos; así por ejemplo, entre el SSL y CSL no hubo interacción, el SSL resulto ser mas efectivo que el CSL, no obstante, los dos mostraron un efecto favorable en el volumen específico del pan. Tampoco hubo interacción entre el M61, EM6 y PS; el comportamiento de estos fue similar, su máximo efecto se obtuvo a la concentración de 0.3%, siendo el PS el que mas aumento el volumen a esta concentración.

Las observaciones sobre el efecto de interacción, refuerzan las diferencias en la funcionalidad de tensoactivos según su naturaleza química, ya que el SSL y CSL son tensoactivos iónicos, mientras que los M61, EM6 y PS son de tipo no iónico.

Los resultados de la prueba del rango múltiple de Duncan se muestran en el cuadro 17. Esta prueba comparo el efecto de las diferentes concentraciones de tensoactivo. Se observo en general que no existe diferencia significativa en el volumen específico del pan al aumentar la concentración de 0.3 a 0.5%.

El M61 tuvo un efecto muy particular, ya que no hubo ningún cambio en el volumen específico del pan al variar la concentración, y con respecto al testigo resulto ser inferior.

Por ultimo, el cuadro 17 muestra tambien la comparación del efecto de los 6 tensoactivos sobre el volumen específico a la concentración de 0.3%, esta concentración fue elegida en base a que la mayoría de los tensoactivos tuvieron su máximo efecto a esta concentración. Estadísticamente, no hubo diferencia

Figura 33. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el volumen específico del pan.

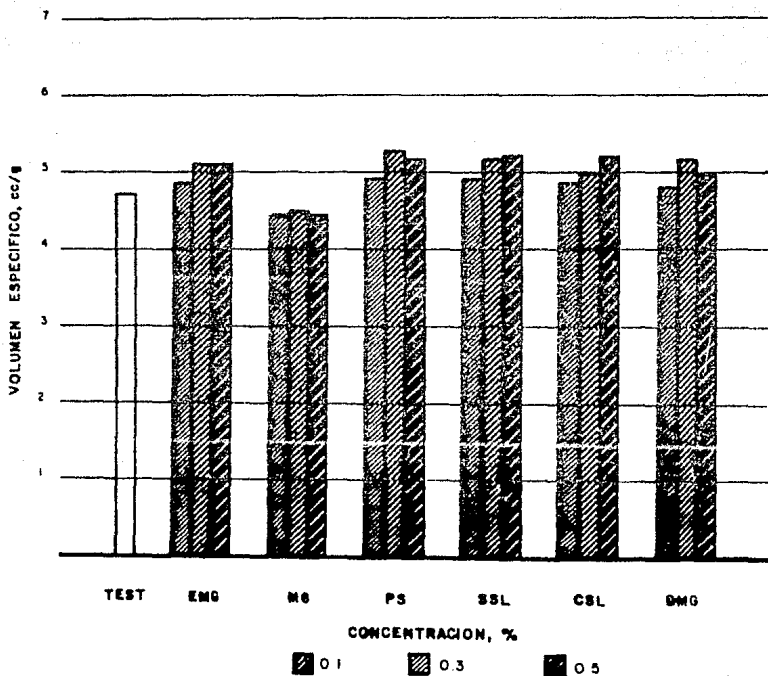
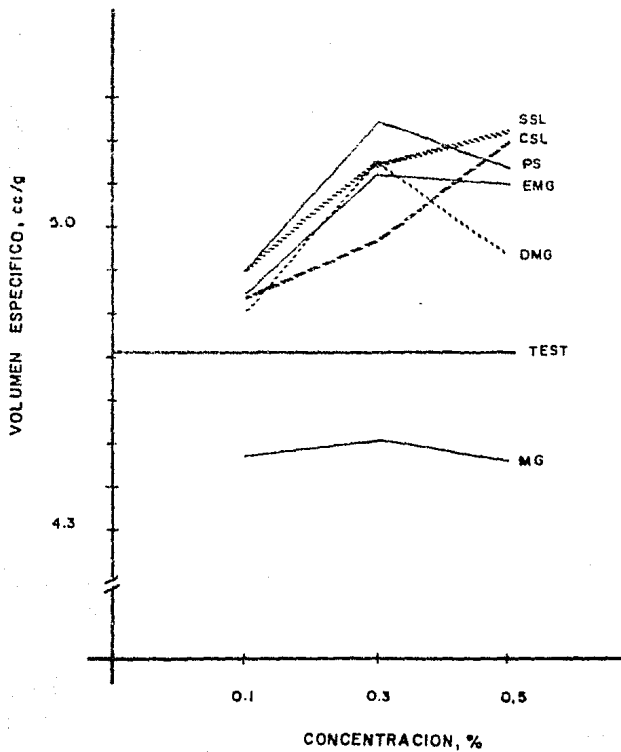


Figura 34. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre el volumen específico del pan.



significativa en el efecto de los EMG, P5, S5L y C5L a la concentración de 0.3%. Estos tensoactivos son los que dan el mayor incremento de volumen, y el resultado coincide con el obtenido por Birnbaum (5), Kniently (41), Krog (44), Stutz (65), Tenney (66) y Isen (67).

La dureza de los panes con diferentes concentraciones de tensoactivo, expresada en kilogramos fuerza y evaluada al 1er., 40. y 70. día de almacenamiento se reporta en el cuadro 19. El análisis de varianza para estos datos de muestra en el cuadro 20.

Los resultados indicaron diferencias significativas en la firmeza del pan al utilizar los diferentes tensoactivos y concentraciones. La interacción de estos dos factores no fue significativa, por tanto se asume que la concentración y tensoactivo tienen un efecto independiente en el retardo de la dureza del pan. Esta afirmación fue válida para la mayoría de los tensoactivos a la concentración de 0.3%, con excepción del EMG y DMG.

Las figuras 35 a 38 muestran los cambios en la firmeza del pan con respecto a los días de almacenamiento; se pudo observar que los panes hechos con DMG, S5L, C5L y P5 resultaron ser mas suaves que el testigo al 1er., 40. y 70. día de almacenamiento. El efecto suavizante de estos tensoactivos coincide, en el mismo orden, con los índices de complejación con amilosa reportados por Krog (43), lo cual indica la existencia de una buena correlación entre el grado de complejación del tensoactivo con el almidón y su efecto suavizante en el pan.

Así mismo, se observó que la velocidad de endurecimiento del pan fue mayor entre el 10. y 40. día que entre el 40. y 70 día de almacenamiento. Este comportamiento también fue observado por Baker et al (2).

El cuadro 19 contiene los resultados obtenidos en la comparación del efecto de los 6 tensoactivos a la concentración de 0.3% sobre la firmeza del pan evaluada al 70. día de almacenamiento. Estadísticamente se observó que el S5L tuvo el

Cuadro 19. FUERZA DE COMPRESION (kgf) DEL PAN CON LOS TEN  
SOACTIVOS SELECCIONADOS, EVALUADA AL 1er., 4o.  
y 7o. DIA DE ALMACENAMIENTO \*

Tensoactivo Conc. (%)		Dias de Almacenamiento		
		1o.	4o.	7o.
EMG	Testigo	4.45	7.53	7.57
	0.1	4.72	5.59	7.70
	0.3	3.23	4.20	6.30 b
	0.5	2.12	6.33	6.57
MSI	Testigo	3.32	5.87	6.70
	0.1	3.35	8.03	6.07
	0.3	3.52	6.90	7.13 c
	0.5	2.50	6.37	7.57
PS	Testigo	2.50	4.53	7.20
	0.1	2.40	5.53	6.23
	0.3	2.05	4.73	5.63 b
	0.5	2.10	3.67	5.07
SSL	Testigo	2.37	5.13	6.60
	0.1	2.05	4.57	6.20
	0.3	1.48	4.43	5.07 a
	0.5	1.75	4.33	6.33
CSL	Testigo	2.32	5.80	6.43
	0.1	2.67	4.83	5.33
	0.3	1.65	4.53	5.60 b
	0.5	2.35	4.37	5.57
DMG	Testigo	1.98	4.70	7.80
	0.1	1.42	3.83	6.67
	0.3	1.28	3.53	5.38 b
	0.5	1.43	3.70	6.63

\* Promedios por triplicado

Nota: promedios con diferente letra son significativamente diferentes

Cuadro IV. ANÁLISIS DE VARIANZA: FUERZA DE COMPRESIÓN DEL PAV

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calc.	F tablas
Blques	2	202,598179	101,299087	25,64 *	3,23
Concentración	3	9,721170	3,240390	6,92 <sup>***</sup>	2,84
Tensactivo	5	33,647645	6,729529	16,65 *	2,37
Interacción	15	8,094358	0,539622	1,34	1,92
Error	46	18,591158	0,404155		
Total	71	272,652467			

\* significativo

nivel de significancia = 0,05

Figura 3b. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 7er. día de almacenamiento.

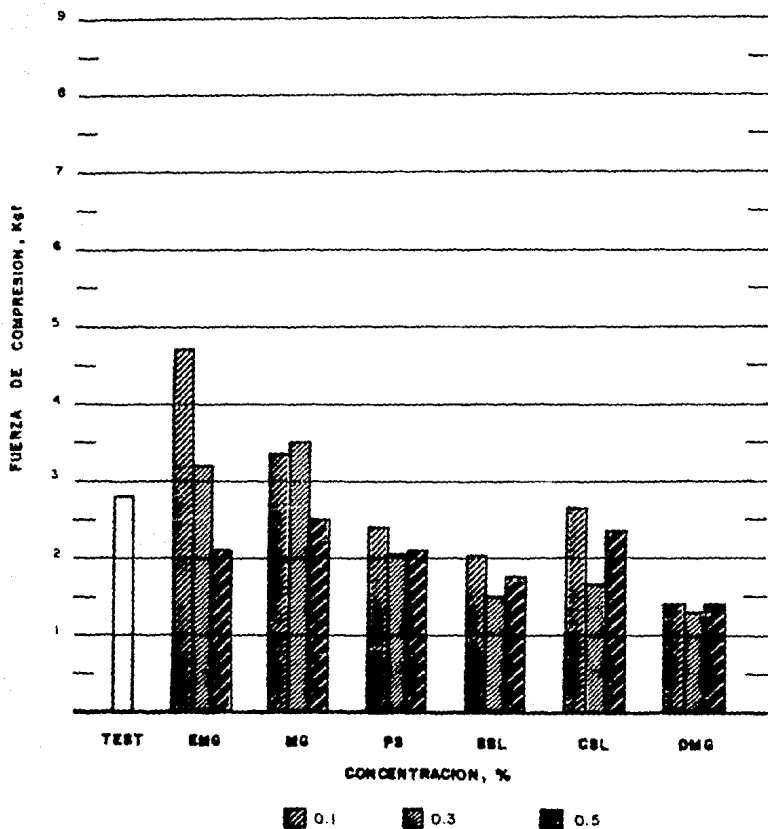


Figura 36. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 4o. día de almacenamiento.

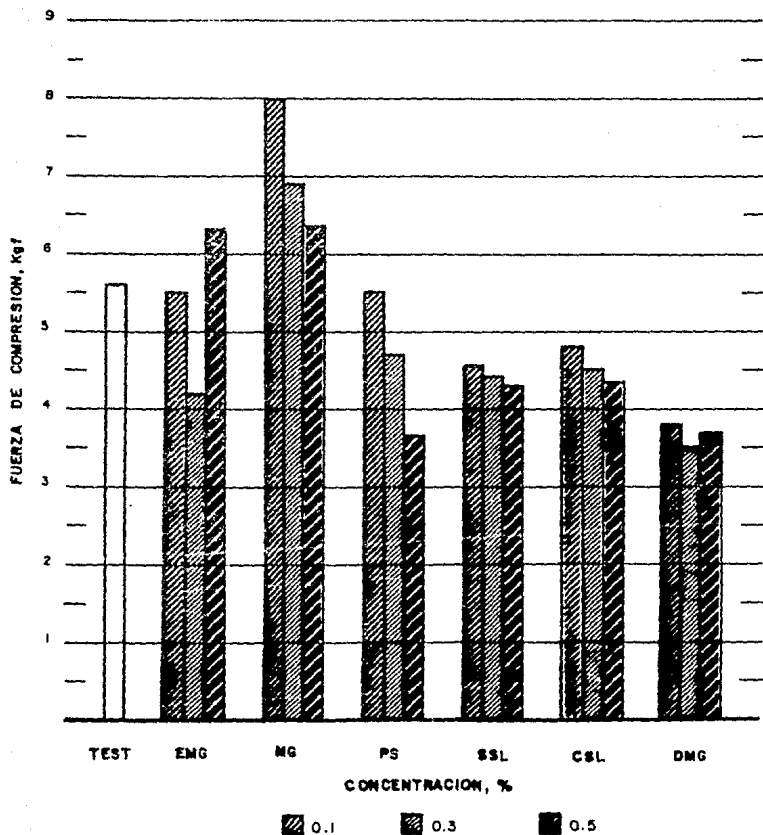




Figura 37. Efecto de la concentración de diferentes tensoactivos sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 7o. día de almacenamiento.

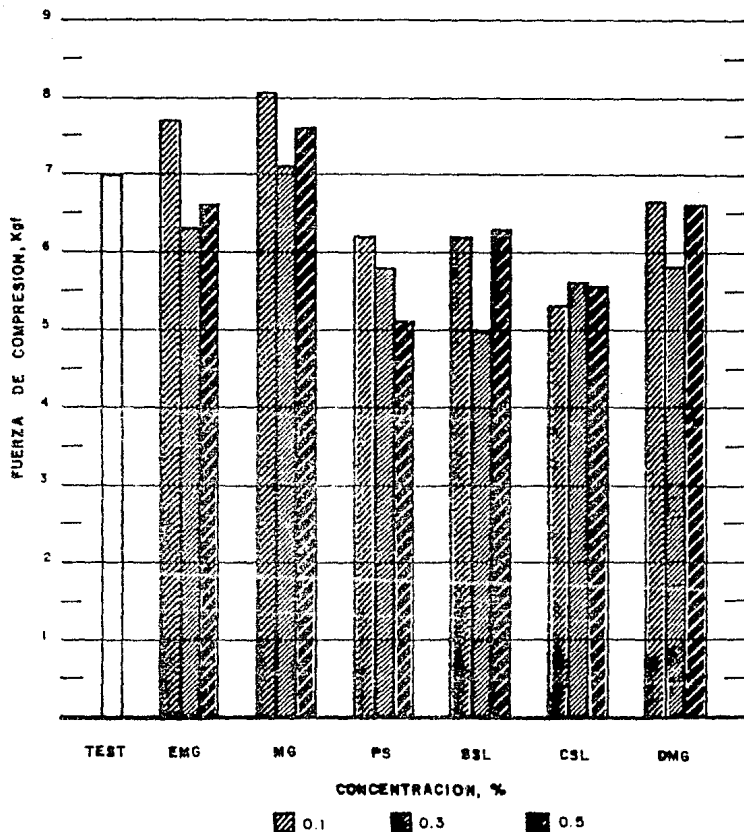
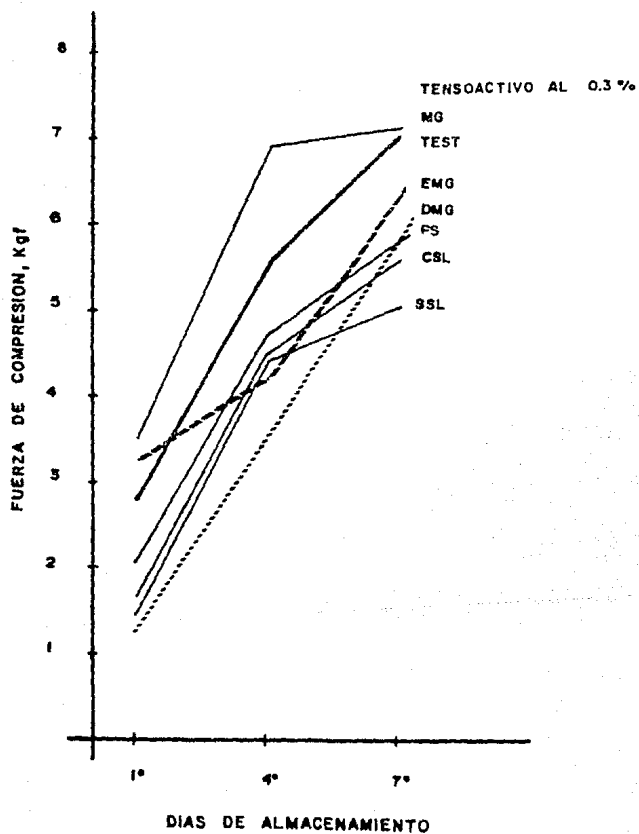


Figura 38. Efecto de los tensoactivos a la concentración de 0.3% sobre la dureza del pan, evaluada en el Instron al 1er, 4o. y 7o. día de almacenamiento.



mayor efecto retardador del endurecimiento del pan y fue significativamente diferente al de los demás; no obstante, el CSL, PS, DMb y el EMb también tuvieron un buen efecto retardador, ya que los panes elaborados con estos tensoactivos a la concentración de 0.3% resultaron ser más suaves que el testigo al 7o. día de almacenamiento.

## VI. CONCLUSIONES.

Las conclusiones obtenidas en este estudio permiten obtener informacion a nivel laboratorio de las propiedades funcionales de los tensoactivos estudiados en el proceso de panificacion. Cabe aclarar, que el metodo utilizado en el laboratorio fue el de masa-directa porque permite una secuencia apta para controlar las diferentes variables que pueden afectar el comportamiento de una harina determinada en panificacion. Las siguientes conclusiones se destacan como parte de este estudio bajo las condiciones en que se realizo:

1. La adicion de FS, EMG, FS 60 y SSL a la harina, disminuyo la tenacidad de la masa al aumentar la concentracion de los tensoactivos.

2. La adicion de FS, EMG, PS 60 y SSL equilibrio notablemente la relacion de tenacidad/extensibilidad de la masa a la concentracion de 0.5%.

3. El efecto mejorador de los tensoactivos sobre las propiedades reologicas de la masa, puede notarse mejor en el extensograto de Brabender que en el alveograto de Chopin.

4. La adicion de EMG, FS, SSL y CSL a la masa proporciono panes con mayor volumen especifico.

5. El incremento en el volumen especifico del pan por estos tensoactivos se debio a su efecto reforzador de la masa.

6. Los mayores volúmenes específicos de pan se obtuvieron con la adicion de SSL y CSL a la concentracion de 0.5%.

7. El efecto de interaccion entre el tensoactivo y la concentracion sobre el volumen especifico del pan, solo fue valido entre grupos diferentes de tensoactivos.

8. Las diferencias en el comportamiento de los tensoactivos: SSL, CSL y EMG. FS pudo deberse a su naturaleza química, ya que el SSL y CSL son tensoactivos iónicos, mientras que el EMG y FS son de tipo no iónico.

9. Los tensoactivos de tipo iónico son mejores reforzadores de masa que los de tipo no iónico.

10. El efecto del MGI fue desfavorable tanto en el reforzamiento como en el endurecimiento del pan.

11. La adición de SSL, CSL, FS y EMG proporciono panes con miga mas suave que el testigo al 70. día de almacenamiento.

12. La rapidez de endurecimiento del pan fue mayor entre el 10. y 40. día de almacenamiento, que entre el 40. y 70. día.

13 El SSL fue el unico tensoactivo que exhibió las mejores propiedades de reforzamiento de la masa y retardo del endurecimiento del pan.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. BAKER, A.E., URREY, W.F., and KEMP, P. 1986. Instron factors involved in measuring Crumb Firmness. *Cereal Foods World*, 31(2): 193-195

2. BAKER, A.E., WALKER, C.E., and KEMP, K. 1988. An optimum compression depth for measuring Bread Crumb Firmness. *Cereal Chemistry*, 65(4): 302-307

3. BELTZ, H.D., KIEFFER, R., SEILMEIER, W., and WIESER, H. 1986. Structure and Function of Gluten Proteins. *Cereal Chemistry*, 63(4): 336-341

4. BETTGE, H., KUBENTHALER, G.L., and POMERANZ, Y. 1989. Alveograph Algorithms to Predict Functional Properties of Wheat in Bread and Cookie Baking. *Cereal Chemistry*, 66(2): 81-86

5. BIRNBAUM, H. 1981. The Monoglycerides: Manufacture, Concentration, Derivatives and Applications. *Bakers Digest*, 53(6): 8-14

6. BRUINSMA, B.L., and FINNER, K.F. 1984. Various Oils, Surfactants and their blends as replacements for Shortening in Breadmaking. *Cereal Chemistry*, 61(4): 279-281

7. CIGI 1977. Canadian International Grains Institute. Grains and Oilseeds: Handling, Marketing and Processing. 2nd edition. Manitoba, Canada 497-540 pp.

8. CFR 1977. Code of Federal Regulations. Title 21, parts 100-199. General Services Administration U.S. Government printing office. Washington D.C., E.U.S.

9. CHUNG, H., SEIB, P.A., FINNER, K.F., and MAGUFFIN, C.D. 1981. Sucrose Monoesters and Diesters in Breadmaking. *Cereal Chemistry* 58(3): 164-169

10. CHUNG, O.K., and TSEN, C.C. 1975. Changes in lipid binding and protein extractability during dough mixing in presence of Surfactants. *Cereal Chemistry*, 52(4): 549-560

11. CHUNG, O.K., and TSEN, C.C. 1975. Functional Properties of Surfactants in Breadmaking. I. Roles of Surfactants in Relation to flour constituents in a Dough System. *Cereal Chemistry* 52(6): 832-843

12. CHUNG, O.K., and TSEN, C.C. 1977. Functional Properties of Surfactants. II. Composition of lipid associated with doughs containing various levels of Surfactants. *Cereal Chemistry* 54(4): 857-864

13. CHUNG, O.K., and TSEN, C.C. 1981. Functional Properties of Surfactants in breadmaking. III. Effects of Surfactants and soy flour on lipid binding in Breads. *Cereal Chemistry*, 58(3): 220-226

14. D'AFFOLONIA, E.L., and MORAD, M.M. 1981. Bread Staling. *Cereal Chemistry*, 58(3): 186-190

15. DESTEFANIS, V.A., FONTE, J.B., CHUNG, F.H., and RUZZA, N. 1977. Binding of Crumb Softeners and Dough Strengtheners during Breadmaking. *Cereal Chemistry*, 54(1): 13-24

16. EDELMANN, E.C., and CATHCART, W.H. 1949. Effect of Surface-active agents on the softness and rate of Staling Bread. *Cereal Chemistry*, 26(5): 345-358

17. ENDO, S., OKADA, K., and NAGAO, S. 1987. Studies on Dough Development. III. Mixing Characteristics and Flour Streams and their changes during Dough Mixing in the Presence of Chemicals. *Cereal Chemistry*, 64(2): 110-115

18. FAO/WHO 1964. Normas de identidad y de pureza para los aditivos alimentarios y evaluación de su toxicidad: emulsificantes, estabilizantes, blanqueantes y maduradores. 70. Informe del Comité Mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios. Informe técnico No. 281 110-169 pp.

19. FAUBION, J.M., and HOSENER, R.C. 1961. Lipoxigenase: its biochemistry and role in Breadmaking. *Cereal Chemistry*, 58(3): 175-180
20. GARTI, N., LINDER, C., and PHINTUS, E.J. 1980. Evaluation of Food Emulsifiers in the Bread Baking Industry. *Bakers Digest*, 54(5): 24,26,27.
21. GHIASI, K., HOSENER, R.C., and LINEBACK, D.R. 1979. Characterization of Soluble Starch from Bread Crumb. *Cereal Chemistry*, 56(5): 485-490
22. GHIASI, K., HOSENER, R.C., and VARRIANO-MARSTON, E. 1982. Gelatinization of Wheat Starch. I.Excess-Water Systems. *Cereal Chemistry*, 59(2): 81-85
23. GHIASI, K., VARRIANO-MARSTON, E., and HOSENER, R.C. 1982. Gelatinization of Wheat Starch. II.Starch-Surfactant Interaction. *Cereal Chemistry*, 59(2): 86-88
24. GHIASI, K., VARRIANO-MARSTON, E., and HOSENER, R.C. 1982. Gelatinization of Wheat Starch. IV. Amilograph Viscosity. *Cereal Chemistry*, 59(4): 262-265
25. GOMEZ MUNOZ, Ma. DE LOURDES. 1982. Importancia y utilidad de los Agentes Tensoactivos en la Industria Alimentaria. Tesis. Facultad de Quimica, UNAM, México pp.
26. GRIFFIN, W.C., and LYNCH, M.J. 1972. Surface Active Agents. Chapter 10 in *Handbook of Food Additives*, 2nd. edition. CRC Press, E.U.A. 397-429 pp.
27. HERNANDEZ, M., CHAVEZ, A. y BOURGES, H. 1983. Valor nutritivo de los alimentos mexicanos. Publicacion INN No.12.9a. edicion. Mexico 35 pp.
28. HOLMES, J.F., and HOSENER, R.C. 1987. Chemical Leavening: Effect of pH and certain ions on Breadmaking Properties. *Cereal Chemistry*, 64(4): 343-348.



29. HOSENEY, R.C., SEIB, P.A., and DEYOE, W.C. 1977. Use of salts of 6-acyl esters of L-ascorbic acids in Breadmaking. Cereal Chemistry. 54(5): 1062-1069

30. HOSENEY, R.C., MSU, K.H., and JUNGE, R.C. 1979. A simple spread test to measure rheological properties of fermenting dough. Cereal Chemistry. 56(2): 141-143

31. HUEBNER, F.R., and WALL, J.S. 1979. Polysaccharide interactions with wheat proteins and flour doughs. Cereal Chemistry. 56(2): 68-70

32. IGLESIAS, C.S. 1982. El pan popular. FONART/FONAFAS.

33. INEGI. 1988. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Abasto y Comercialización de productos básicos: Trigo. México 76 pp.

34. JENKINS, S. Bakery Technology. Vol. I. E.U.A. 270 pp.

35. JUNGE, R.C., and HOSENEY, R.C. 1981. A mechanism by which shortening and certain surfactants improve loaf volume in bread. Cereal Chemistry. 58(5): 408-412

36. KILBORN, R.H., TIPPLES, K.H., and FRESTON, K.R. 1983. Grains research laboratory compression tester: its description and application to measurement of Bread-crumbs properties. Cereal Chemistry. 60(2): 134-138

37. KIM, S.K., and D'APPOLONIA, B.L. 1977. Bread Staling studies. I. Effect of protein content on staling rate and bread crumb pasting properties. Cereal Chemistry. 54(2): 207-215

38. KIM, S.K., and D'APPOLONIA, B.L. 1977. Bread Staling studies. II. Effect of protein content and storage temperature on the role of starch. Cereal Chemistry. 54(2): 216-224

39. KIM, S.K., and D'APPOLONIA, B.L. 1977. Bread Staling studies. III. Effect of pentosans on dough, bread and breadstaling rate. Cereal Chemistry. 54(2): 225-229

40. KNIGHTLY, W.H. 1981. Shortening systems: fats, oils and surface-active agents Present and Future. Cereal Chemistry, 58(3): 171-174

41. KNIGHTLY, W.H. 1988. Surfactants in Baked Foods: Current practice and Future trends. Cereal Foods World, 33(5): 405-412

42. KROG, N., and NIBOJENSEN, B. 1970. Interaction of monoglycerides in different physical states with amylose and their anti-firming effects in bread. J. Food Technology, 5( ): 77-87.

43. KROG, N. 1977. Functions of emulsifiers in food systems. J. Am. Oil Chem. Soc. 54( ): 124-131

44. KROG, N. 1981. Theoretical Aspects of Surfactants in relation to their use in breadmaking. Cereal Chemistry, 58(3): 158-164

45. LAURIDSEN, B.J. 1976. Food emulsifiers: surface activity, edibility, manufacture, composition and application. J. Am. Oil Chem. Soc. 53(6): 400-407

46. LONGELER, R.W., and MILLER, B.S. 1971. Notes on the relative effects of monoglycerides on the gelatinization of wheat starches. Cereal Chemistry, 48(1): 81-85

47. MALEK, M., HOSENEY, R.C., and MATTERN, F.J. 1980. Effects of loaf volume, moisture content and protein quality on the softness and staling rate of Bread. Cereal Chemistry, 57(2): 138-140

48. McRITCHIE, F. 1981. Flour lipids: theoretical aspects and functional properties. Cereal Chemistry, 58(3): 156-158

49. MONTOR, H.G. 1986. Aditivos usados en el proceso de panificación. Tesis. Fac. Química, UNAM, México 277 pp.

50. MOORE, W.R., and HOSENEY, R.C. 1986. Influence of shortening and surfactants on retention of carbon dioxide in Bread Dough. *Cereal Chemistry*, 63(2): 67-70 pp.

51. MORAD, M.M., and D'APPOLONIA, E.L. 1980. Effect of Surfactants and Baking Procedure on Total Water-solubles Starch in Bread Crumb. *Cereal Chemistry*, 57(2): 141-144

52. MORAD, M.M., and D'APPOLONIA, E.L. 1980. Effect of Baking Procedure and Surfactants on the pasting properties of bread Crumb. *Cereal Chemistry*, 57(4): 239-241.

53. FAREDES-LUPEZ, U., BARBA-ROSA, P.A. 1987. Physicochemical and functional properties of Mexican Wheat Flours for Breading. *Cereal Chemistry*, 32(9): 602,604,605,608.

54. PISESODKUNTERNG, W., and D'APPOLONIA, E.L. 1983. Bread Staling studies. I. Effect of Surfactants on moisture migration from crumb to crust and Firmness values of bread Crumb. *Cereal Chemistry*, 60(4): 298-300.

55. POMERANZ, Y. *Wheat chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemistry. E.U.A. 1971.

56. PRIMO, E. *Productos para el campo y propiedades de los alimentos*. Tomo III. *Tecnología y química agroindustrial*. 2a. edición. Ed. Alhambra mexicana. México 1980. pp. 46-67.

57. REDLINGER, P.A., SEISER, C.S., and DAYTON, A.D. 1985. Measurements of Bread Firmness using the Instron Universal Testing Instrument: Differences resulting from test conditions. *Cereal Chemistry*, 62(3): 223-226

58. RODRÍGUEZ-BORES, F.J. y SALAZAR ZAZUETA, A.J. 1980. Evaluación de la calidad del trigo: métodos químicos y reológicos usados en el laboratorio de panología. *Publicación especial CIANO No. 37*, México 44 pp.

59. RUSH, D.f. 1981. Emulsifiers: Uses in Cereal and Bakery Foods. *Cereal Foods World*. 26(3): 111-113,115

60. S.A.R.H. 1980. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidraulicos. Coordinacion General de Desarrollo Agroindustrial. El desarrollo agroindustrial y los sistemas alimenticios basicos: Triqo. Documento tecnico NO. 13. Mexico pp.

61. SCHUSTER, G., and ADAMS, W.F. 1984. Emulsifiers as additives in bread and fine baked products. in *Advances in Cereal Science and Technology* Vol. VI. E.U.A. 109-287 pp.

62. SILJESTROM, M., BJORKI, I., ELIASON, A., LONNER, C., NYMAN, M., and HSF, N. 1986. Effects on polysaccharides during Baking and Storage of Bread-In vitro and In Vivo Studies. *Cereal Chemistry*. 64(4): 230-236

63. STEEL, ROBERT G.D y TORRIE, JAMES H. 1986. Bioestadística: Principios y procedimientos, 1a. ed. McGraw-Hill, Mexico 622 pp.

64. STOLLMAN, U., and LUNDGREN, B. 1987. Texture changes in White bread: Effects of processing and storage. *Cereal Chemistry*. 64(4): 230-236

65. STUTTZ, R.L., DEL VECCHIO, H.J., and TENNER, R.J. 1973. The role of Emulsifiers and Dough Conditioners in Foods. *Food Product Development*. 7(6): 52-56

66. TENNER, R.J. 1976. Dough Conditioners / Bread Softeners, the Surfactants used in breadmaking. *Bakers Digest*. 52(4): 24-27

67. TSEN, C.C., and Weber, J. 1981. Dough properties and proof times of yeasted doughs affected by Surfactants. *Cereal Chemistry*. 58(3): 180-181

68. TU, C.C., and TSEN, C.C. 1978. Effects of mixing and Surfactants on microscopic structure of wheat glutenin. *Cereal Chemistry*. 55(1): 87-95

69. WILLMAN, F.J., and WHITE, P.J. 1988. Influence of monoacylglycerides on the textural shelf life and Dough Rheology on corn tortillas. *Cereal Chemistry*, 63(3): 235-257

70. WALPOLE, RONALD E. y MYERS, RAYMOND E. 1987. Probabilidad y Estadística para ingenieros, 3a. ed. Interamericana, Mexico 733 pp.

71. WAYNE, DANIEL W. 1969. Bioestadística, base para el análisis de las ciencias de la salud, 3a. ed. LIMUSA, Mexico 667 pp.

72. ZAWISTOWSKA, U., BENES, F., and BUSHUK, W. 1985. Involvement of carbohydrates and lipids in aggregation of glutenin proteins. *Cereal Chemistry*, 62(5): 340-345

73. ZELEZNAK, K.J., and HOSENEY, R.C. 1986. The Role of Water Retrogradation of Wheat Starch Gels and Bread Crumb. *Cereal Chemistry*, 63(5): 407-411.

APENDICE 1. PRUEBAS QUIMICAS

A. DETERMINACION DE PROTEINA (METODO KJELDAHL).

Materiales:

1. Equipo de Kjeldahl
2. Matraces de Kjeldahl de 500 ml.
3. Matraces Erlenmeyer de 500 ml.
4. Buretas de 50 ml.
5. Probetas de 100 ml.
6. Agitador magnético y barras magnéticas
7. Soporte universal y pinzas para bureta

Reactivos:

1. Acido sulfurico al 93.76 % de pureza libre de N.
2. Catalizador

Sulfato de potasio	49.0 g.
Óxido de mercurio	4.1 g.
Sulfato de cobre	0.8 g.

3. Hidróxido de sodio al 50 %

Hidróxido de sodio	2,250 g.
Tiosulfato de sodio	140 g.
Agua destilada	5,000 ml.

4. Acido clorhidrico 0.25 N.

Acido clorhidrico q.p.	176.8 ml.
Roso de metilo 0.5 %	40 ml.
Agua destilada	8,000 ml.

## 5. Rojo de metilo al 0.5 %

Rojo de metilo	0.250 g.
Alcohol etílico	50 ml.

## 6. Zinc metálico (20 mallas)

## 7. Solución de hidróxido de sodio 0.1 N.

Hidróxido de sodio	32 g.
Agua destilada	8,000 ml

## 8. Estandarización de la solución de NaOH 0.10 N.

## a) Indicador

Fenolftaleína	1 g.
Alcohol etílico	100 ml.

## b) Ftalato ácido de potasio

Ftalato ácido de potasio	2.0422 g.
Agua destilada	100 (arorar)

En matraces Erlenmeyer se colocan alícuotas de 10 ml de solución de Ftalato ácido de potasio, tres gotas de agua destilada (20 ml.). Se titula con la solución de hidróxido de sodio, hasta un cambio de color incoloro a rosa violáceo.

## Cálculos:

Para determinar la normalidad, se emplea la siguiente fórmula:

$$N_1 = N_2 V_2 / V_1$$

N<sub>1</sub>: Normalidad del hidróxido de sodio

N<sub>2</sub>: Normalidad del Ftalato ácido de potasio

V<sub>1</sub>: Volumen de Ftalato ácido de potasio

V<sub>2</sub>: Volumen de solución de NaOH empleado

Nota: en el paso No. 7, dejar reposar la solución 72 horas antes de hacer la titulación.

**Procedimiento:**

1. Pesar por duplicado 0.5 g de harina de trigo. Vaciar la muestra dentro del matraz de Kjeldahl. Se debe incluir un testigo y un blanco.

2. Adicionar 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y de 3 a 5 g de catalizador a cada matraz. Calentar el material hasta completar la digestión (aprox. 40 min). Se observará que la solución que anteriormente era negra, adquiere una coloración verde transparente.

3. Enfriar la solución. Adicionar, lentamente y con agitación constante, 190 ml de agua destilada y fría. Debido a la adición del agua sobre el ácido sulfúrico que queda; ocurre un desprendimiento de calor por lo que es necesario dejarlas enfriar nuevamente.

4. Pipetear 5 ml de ácido clorhídrico 0.25 N en matraces Erlenmeyer de 300 ml. Lavar las paredes de los matraces con un poco de agua destilada y se colocan como receptores del sistema de destilación.

5. Agregar una pizca de zinc metálico a los matraces de Kjeldahl. Adicionar, resbalando por las paredes, 60 ml de hidróxido de sodio al 50 % e inmediatamente se conectan al sistema de destilación. Agitar levemente para activar la reacción y destilar 200-250 ml aproximadamente. Durante la destilación es muy importante que esté funcionando el sistema de agua para que no haya calentamiento del sistema de destilación.

6. Titular el exceso de HCl empleando la solución de NaOH 0.10 N. El hidróxido se coloca en una bureta y se añade gota a gota al matraz que contiene el destilado, auxiliándose de un agitador magnético y una barra magnética. Cuando el color de la solución vira de rojo a amarillo claro se suspende la adición de hidróxido de sodio, se anota la lectura de la bureta. El blanco se trata de la misma manera.



Calculos:

$$\% \text{ proteina} = .014 \times 100 \times F \times N (A - B) / \text{peso muestra}$$

F: 5.7 conversion de nitrogeno a proteina

N: Normalidad de NaOH

A: ml de blanco

B: ml muestra

H: Humedad

$$\% \text{ proteina (base 14\%)} = \% \text{ proteina (100 - 14)} / (100 - \% H)$$

$$\% \text{ proteina (base seca)} = \% \text{ proteina} \times 100 / (100 - \% H)$$

## B. DETERMINACION DE GLUTEN.

Materiales:

1. Glutomatic 2100

Procedimiento:

Para la determinacion se toman 10 g de harina y se colocan en la cámara de ensayo, posteriormente se adicionan 5.2 ml de solución salina al 2%, después se coloca la cámara de ensayo en el Glutomatic y se pone en marcha de tal forma que se lleve a cabo la secuencia de lavado, la cual dura aproximadamente 5 min., obteniéndose así la separación del gluten. Realizado lo anterior, se coloca en la centrífuga con la finalidad de eliminar el exceso de agua. Luego se pesa el gluten y se expresa en porcentaje y se multiplica por 10. El gluten puede expresarse también en base seca; para ello hay que secar el gluten en una prensa eléctrica, pesar y hacer la diferencia de peso.

### C. DETERMINACION DE HUMEDAD.

#### Materiales:

1. Balanza de humedad semiautomática Brabender
2. Cajas de aluminio con tapa
3. Desecador de vidrio
4. Balanza analítica
5. Finzas
6. Guantes de asbesto

#### Procedimiento:

1. Limpiar perfectamente todas las cajas de aluminio, colocarlas en la estufa a 155 C durante 20 min.

2. Sacar de la estufa las cajas y enfriarlas en un desecador por un tiempo de 20 a 30 min. aproximadamente.

3. Pesar cada caja y anotar el peso obtenido.

4. Pesar por duplicado 10 g de cada muestra en la caja de aluminio.

5. Meter las cajas abiertas a la estufa lo más rápido posible para evitar que la temperatura de la estufa baje. Al terminar de meter las cajas en la estufa, se marcan 60 minutos en un reloj alarmas.

6. Transcurrido el tiempo de proceso se tapan y se secan las cajas, colocandolas en un desecador

7. Una vez frías, se pesan, correspondiendo este dato al peso de la muestra seca.

## Cálculos:

Peso muestra = Peso caja harina - peso caja vacía

Peso humedad = Peso caja harina - peso caja harina seca

% Humedad =  $\text{Peso humedad} \times 100 / \text{Peso de muestra.}$

Nota: En el duplicado, el error no debe exceder de 2 %

## D. DETERMINACION DE CENIZAS.

## Materiales:

1. Mufla eléctrica
2. Balanza analítica
3. Crisoles de porcelana
4. Desecador

## Procedimiento:

1. Llevar los crisoles de porcelana a peso constante en una mufla a 580 C durante una hora.
2. Enfriar los crisoles en un desecador.
3. Pesar los crisoles.
4. Pesar 5 g de muestra en los crisoles.
5. Colocar los crisoles en la mufla. Dejar la puerta abierta por un periodo relativamente corto para dejar escapar las sustancias volátiles que se producen. Cerrar la puerta de la mufla.
6. Sacar los crisoles de la mufla después de 18 horas y colocarlos en un desecador para que se enfríen.

7. Pesar inmediatamente dedido a que las cenizas son altamente higroscópicas, aumentando su peso.

8. Anotar los datos.

Cálculos:

$$\% \text{ cenizas} = \text{peso cenizas} \times 100 / \text{peso muestra}$$

$$\% \text{ cenizas (14 \% H)} = \% \text{ cenizas (100 - 14)} / (100 - \%H)$$

$$\% \text{ cenizas (base seca)} = \% \text{ cenizas} \times 100 / (100 - \%H)$$

Nota: Los resultados por duplicado que se obtienen por este método no deben diferir en más del 2 %.

#### E. PRUEBA DE SEDIMENTACION O DE ZELENY.

Materiales:

1. Un sedimentador de Zeleny, consta de un agitador eléctrico con velocidad controlada y un soporte con iluminación para la lectura.

2. Frampetas de 100 ml. con tapon esmerilado.

Reactivos:

1. Acido láctico. Refinar acido láctico al 85 %, por 6 horas sin perder volumen; dejar en reposo durante 72 horas. Medir 160 ml de este acido y adicionar 200 ml de alcohol isopropílico. Aforar a un litro con agua destilada. Agitar y dejar reposar durante 48 horas.

2. Azul de bromofenol. Pesar 4 mg de azul de bromofenol. Aforar a 1,000 ml con agua destilada.

**Procedimiento:**

1. Pesar exactamente 0.2 g de cada muestra. Transferir la muestra en una probeta de 100 ml.

2. Añadir 50 ml de la solución de azul de bromoteni. empleando buretas automáticas. Al momento de abrir la llave de las buretas se pone en marcha un cronometro. Una vez adicionados los 50 ml, se tapan las probetas y se agitan 12 veces fuerte y rapidamente y se colocan en el agitador.

3. Sacar las probetas del agitador a los 5 minutos. Agregar 25 ml de la mezcla de ácido láctico-alcohol isopropílico. Agitar 12 veces como al principio y colocar las probetas nuevamente en el agitador.

4. Sacar las probetas a los 5 minutos y colocarlas en posición vertical en el lugar de reposo para su lectura. debiendo permanecer en esa posición durante 5 minutos.

5. Leer el volumen de sedimento en ml.

**Cálculos:**

Valor de sedimentación = ml sedimento (100 - 14) (100 - % H)

## APENDICE 2. PRUEBAS REOLOGICAS

### A. FARINOGRAFO DE BRABENDER.

#### Equipos:

#### 1. El farinografo de Brabender consta de ocho partes:

- a) Mezclador
- b) Dinamometro
- c) Sistema de balanza
- d) sistema de balanzas
- e) Mecanismo registrador
- f) Termostato
- g) Gluten

#### Procedimientos:

#### 1. Acondicionamiento del equipo:

Para acondicionar el equipo, el flujo de agua debe ser uniforme, manteniendo una temperatura constante a 30 C durante todo el proceso.

#### 2. Determinacion de la curva de dosificacion:

Determinar la cantidad de agua que absorbe 50 g de harina para obtener una masa a un maximo de desarrollo y con una consistencia de 500 unidades brabender.

#### 3. Determinacion de la curva normal:

- a) pesar 50 g de harina y transferirlos a la amasadora.
- b) Adicionar la cantidad de agua determinada anteriormente en la curva de dosificacion.
- c) Conectar el aparato. El esfuerzo mecanico de la masa se registra en un papeirograma.
- d) Hacer el aparato 1. minutos despues del principio de la caída de la curva.

#### 4. Interpretación del Farinograma:

La gráfica general, representa la fuerza total de las proteínas del material analizado. Los parámetros que se calculan por la interpretación de la gráfica son los siguientes:

a) Tiempo de desarrollo de la masa (min): Es el tiempo que se lleva desde el principio del amasado hasta el desarrollo óptimo con el máximo espesor de la curva. Este valor proporciona indicaciones sobre el tiempo de mezclado de la masa.

b) Estabilidad de la masa (min): Indica el tiempo durante el cual el desarrollo de la masa, a su máxima consistencia, permanece sin cambiar desde la intersección de la línea de 500U.B. hasta cuando la curva deja esta línea. Entre mayor sea el tiempo de estabilidad de la masa mejor tolerancia tendrá al amasado.

c). Índice de tolerancia (U.B): proporciona la diferencia en unidades Brabender que se obtienen a partir del máximo de la curva a la línea 500. Harinas con bajo índice de tolerancia generalmente presentan buena tolerancia al mezclado.

d) Tiempo de llegada (min): es el tiempo requerido para alcanzar las 500 UB. Este valor es una medida de la velocidad de hidratación de la harina.

e) Tiempo de partida (min): es el tiempo que transcurre desde la primera adición de agua hasta que el tope de la curva alcance las 500 UB e iguale la suma del tiempo de llegada.

f) Absorción de agua (%): es la cantidad de agua que se requiere para dar consistencia a la masa.

Los parámetros antes mencionados se obtienen según la figura 20, cabe señalar además lo siguiente:

1. El contenido de agua adicionada a la masa está determinada por la humedad presente en la misma.

4. La absorción de agua se reborta al 14 % de humedad. Para lograrlo se emplea la siguiente ecuación:

$$I. \text{ Absorción al 14 \%} = 85 \frac{(B + H) (100 - H)}{100} = 14$$

B: Absorción leída

H: Humedad de la harina

Para la clasificación de trigos se utiliza el valorímetro de Brabender por medio del cual se puede determinar la fuerza mecánica de una masa. Trigos de gluten fuerte, generalmente dan altos valores en el valorímetro.

#### B. ALEVOGRAFO DE CHOFFIN.

Este instrumento consta principalmente de:

a) Un depósito de agua: proporciona la presión para que la burbuja de masa sea formada.

b) Un bulbo receptor de agua graduado en mil: mide la cantidad de agua requerida para que la burbuja de masa se rompa.

c) Una prensa con tapa removible: forma una lámina de masa con un espesor adecuado para el funcionamiento de este instrumento.

d) Un manómetro: registra la presión de aire requerida para romper la burbuja de masa.

e) Una cámara de reposo.



### Procedimiento:

#### 1. Preparación de la muestra:

- a) Colocar en la amasadora 250 g de harina.
- b) Adicionar la cantidad en ml de una solución salina al 2.5% de acuerdo al contenido de humedad de la harina.
- c) Amasar durante 8 minutos.
- d) Extrusión de la masa. Cortar la masa cuando hayan salido 10 cm aproximadamente de la amasadora. Laminar a un espesor determinado.
- e) Cortar con un molde la lámina para obtener un disco de masa.
- f) Colocar el disco de masa en una pequeña plancha de metal.
- g) Colocar el disco en la cámara de reposo durante 10 min.
- h) Después del tiempo transcurrido, poner el disco en la prensa para obtener una lámina a un espesor adecuado.

#### 2. Alveógrato:

- a) Inyectar poca presión a la lámina de masa.
- b) Colocar la aguja registradora en el papel diagrama.
- c) Abrir el sistema de presión. El agua contenida en el depósito, fluye hacia el bulbo receptor provocando un sistema de presión. La lámina de masa ofrece cierta resistencia que es graficada en un registrador.
- d) Cerrar el sistema al observar en la burbuja la primera fisura.
- e) Anotar la cantidad de agua obtenida en el bulbo receptor.
- f) Regresar la cantidad de agua obtenida al bulbo receptor.
- g) Sacar la grafica del tambor registrador.

### Calculos:

Los parámetros que se obtienen a partir de la medición del alveógrama son los siguientes:

a) Tenacidad (mm): Para medir la tenacidad o resistencia se mide la altura promedio (l) del alveograma con respecto a la base y se multiplica por la constante de corrección del manómetro (k = 1.1).

b) Extensibilidad (mm): se estima por la longitud (L) de la base de la curva.

c) Superficie (S) medida en centímetros cuadrados utilizando un planímetro.

d) Expansión (m): es la lectura del bulbo receptor.

e) Fuerza general del gluten (W): se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$W = (1.1 \times C \times S) / L$$

donde L = valor que está en función de la expansión (E) y el valor, en unidades de trabajo, de un centímetro cuadrado del diagrama.

f) Relación de tenacidad/extensibilidad.

### C. EXTENSÓGRAFO DE BRABENDER.

1. Este equipo está formado por las siguientes partes:

- a) Cámara de reposo
- b) Mecanismo de estiramiento
- c) Sistema graticador
- d) Termostato de circulación
- e) Boleador
- f) Accesorios de presión y formación de disco.

## Procedimiento:

### 1. Acondicionamiento del equipo:

Para acondicionar el equipo la temperatura de la cámara de reposo y la temperatura interior del gabinete del mecanismo de estiramiento debe ser ajustada a 30 C. A esta misma temperatura deberán ser ajustados todos los accesorios de presión y formación de disco.

### 2. Preparación de la muestra:

Para la preparación de la muestra se utiliza el farinógrafo de Brabender:

a) Pesar 10 g. de harina y colocarlo en el mezclador del farinógrafo, encender el aparato y premezclar la harina por 1 min (temperatura de asimilación).

b) Agregar la cantidad de agua determinada de acuerdo a la cantidad y contenido de humedad de la harina, en la que deberá ir disuelto 2 % de sal. Raspar las paredes del mezclador con una espátula y cerrar con la tapa. Encender el farinógrafo y mezclar por 3 min.

c) Retirar la masa del farinógrafo y colocarla en el boleador del extensógrafo.

d) Colocar la bola de masa en el accesorio de presión, procurando que la costura quede hacia arriba, tapar con el disco de presión.

e) Sacar el anillo de masa, el disco de tercion del dispositivo de presión. Comprimir el disco de masa con el pistón y guardarlo con tapa en la cámara de reposo durante 10 min.

f) Retirar la masa de la consola quitando la tapa y presionando con la pieza rubular hacia afuera, procurando no deformar el anillo de masa durante este proceso.

## 2. Medicion:

a) Abrir la puerta del gabinete de prueba y colocar el anillo de masa en el mecanismo de estiramiento con ayuda del dispositivo alimentador. cerrar la puerta del gabinete.

b) Encender el dispositivo graficador, asegurandose que el brazo graficador este balanceado y la pluma este en la linea 0 del papel graficador.

c) Encender el dispositivo de estiramiento. El anillo de masa es estirado y finalmente roto, al mismo tiempo que la pluma del graficador dibuja el extensograma.

## 3. Interpretacion del extensograma:

Los siguientes parametros se determinan apartir de la medicion de la curva:

a) Resistencia a la extension: esta dada por la altura del extensograma en unidades de extensograma (U.E.). Es leida a una distancia de 50 mm despues del punto de inicio de la curva.

b) Extensibilidad: Resulta de la longitud de la curva y es medida en mm.

c) Energia: esta representada por el area bajo la curva, la cual se mide con ayuda de un planimetro en centimetros cuadrados. La energia da por medio de la figura informacion acerca de la fuerza de la masa.

d) Proporcion de la figura: es un resultado de la proporcion entre la resistencia a la extension y la extensibilidad.

### ANEXO 3. PRUEBA DE PANIFICACION

#### METODO MASA-DIRECTA.

Adaptacion al metodo oficial de la HALL por el laboratorio de Farinologia del INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agricolas y Pecuarias), Chapingo, Edo. de Mexico.

#### Materiales:

1. Mezcladora de tipo experimental marca Hobart-Swanson con capacidad de 100 a 500 g de harina.

2. Termómetros para masa tipo AACO con rango de temperatura de 15-49 C y termómetro para horno con rango de 100-260 C.

3. Recipientes de fermentación de aluminio con las siguientes dimensiones:

Diametro superior	14.5 cm
Diametro inferior	5.0 cm
Profundidad	6.5 cm

4. Camara de fermentación capaz de mantener una temperatura de 30 C y una humedad relativa de por los menos 75 %.

5. Laminadora y moldeadora de rodillos tipo laboratorio

6. Moldes de panificación contruidos de hojalata con las siguientes dimensiones:

	Largo	Ancho	Profundidad
Parte superior (cm)	11.5	7.0	
Fondo (cm)	4.5	5.5	5.0

7. Horno electrico de panificación marca Desparat 15.0 con control automatico de temperatura y plato rotatorio.

## 8. Medidor de volumen de semillas de nabo.

9. Miscelaneos: Balanza digital, cucharones, espátula, pipetas, buretas, matraces, vasos de pp., etc.

### Reactivos:

1. Suspensión de levadura: disolver 100 g de levadura fresca comprimida en 410 ml de agua destilada.

2. Solución de azúcar y sal: disolver 800 g de azúcar y 240 g de sal en 1024 cc de agua destilada.

### Procedimiento:

#### 1. Mezclado:

a) Pesar en el recipiente los siguientes ingredientes:

Harina	100 g
Lecne en polvo	4 g
Grasa vegetal	3 g

b) Verter en el caso de la mezcla de levadura y añadir:

Soln. de azúcar y sal	10 ml
Soln. de levadura	10 ml
Agua destilada	50 ml

c) Mezclar por 4 min. Sacar la masa del caso, amasandola y haciendola bolita en las manos, colocarla costura hacia abajo en el recipiente de fermentación previamente engrasado.

#### 2. Fermentación:

meter el recipiente en la cámara de fermentación a 30 C y 75 % de humedad durante 2 h 50 min. Dar a la masa 3 golpes en el transcurso, el primero a la hora 10 min y el segundo 45 min. después. Dar 15 min adicionales y entonces laminar, moldear y depositar en moldes.

### 3. Foncheado (metodo manual):

Sacar la masa del recipiente y poner el lado humedo boca arriba sobre la palma de las manos, enrollar con las palmas y doblar los extremos hacia el centro con los dedos, repetir 5 a 10 veces invirtiendo los extremos, redondear y sellar la costura con las palmas. Regresar la masa al recipiente costura hacia abajo e introducir de nuevo al gabinete de fermentacion.

### 4. Laminado y moldeado:

a) Sacar la masa del recipiente, enrollar con las palmas y pasarla por harina. Laminar pasando a traves de los rodillos con el ajuste  $7/12$  in y luego por el ajuste  $3/16$  in.

b) Enrollar ligeramente la masa bajo los rodillos del moldeador, sellar costura y colocar con la costura hacia abajo dentro del molde de panificacion previamente engrasado.

### 5. periodo de prueba:

Regresar la masa al gabinete de fermentacion, ya dentro del molde por un periodo de 55 min. antes de meter al horno.

6. Hornear durante 25 min a 230 C.

### 7. Medicion y calificacion del pan:

a) Pesar el pan recién horneado.

b) Medir el volumen.

c) Calcular volumen especifico dividiendo volumen entre peso

d) Guardar los panes, ya frios, en bolsas de polietileno a temperatura ambiente.

Los parametros que se deben calificar al pan 24 hrs. despues y el valor asignado para obtener la aptitud panadera son los siguientes:

Corteza excelente	2.0
Volumen mayor a 820 cc	2.0
Color crema de la miga	2.0
Textura excelente	2.0
Porosidad homogenea	2.0
 Aptitud panadera	 10.0

Calidad abajo de estas especificaciones implica calificaciones menores en forma proporcional.

Los valores asignados para calificar volumen son:

820 cc	10
750-815	9
700-750	8
600-700	7
500-600	6
479	5

Los valores asignados para calificar color son:

Crema	10
Amarillo crema	9
Amarillo	8
Café	7
Mas oscuro	6
Muy oscuro	5

Los valores asignados para calificar textura son:

Excelente	10
Muy buena	9
buena	8
Regular	7
Pobre	6
Muy pobre	5



**Notas:**

1. El tiempo de amasado depende de la calidad de la harina.
2. La calidad de la harina utilizada puede verse modificada con el tiempo y las condiciones de almacenamiento, por lo que se sugiere guardar la harina en un recipiente cerrado y en lugar frío.
3. Al realizar la prueba de panificación es muy importante ser preciso, no solo durante el pesado de los ingredientes y el producto, sino también en el manejo de la masa durante toda la prueba. Escribir todos los detalles que surjan al rededor de la prueba.
4. Controlar cuidadosamente los rangos de temperatura y tiempo.
5. Es buena costumbre mantener un sistema formal para recoger y distribuir las muestras de harina, y el instituir hojas con formatos base para este proposito. Un ejemplo de dichas formas control son las que se anexan.

## APENDICE 4. MEDICION DE LA DUREZA DEL PAN

## PRUEBA EN EL INSTRON UNIVERSAL MOD. 1130

## Operacion:

## 1. Calibracion del aparato:

a) Encender el aparato y esperar 15 min. antes de calibrarlo (periodo de calentamiento).

b) Conectar la celda de 50 K

c) Poner el interruptor "pen" en la posicion "on" y el indicador "range" en la posicion 0

d) Con la perilla "zero" ajustar la plumilla del graficador en la posicion cero del papel graficador.

e) Poner el indicador "range" en la posicion 1, la plumilla se movera, ajustar nuevamente a cero con la perilla "balance"

f) Poner la perilla "scale" en la posicion M y el indicador "range" en la posicion 5.

g) Colocar la pesa de 5 k sobre la celda, la plumilla debera correr al maximo de la escala del papel graficador, si no, ajustar con la perilla "calibrate"

h) Quitar la pesa de la celda, al hacerlo la plumilla debera regresar a la escala minima del papel graficador, si no, colocar nuevamente el aditamento y ajustar a 0 con la perilla "balance" y repetir el procedimiento desde el paso r.

i) Con un tornillo ajustar los toques de compresion y relajacion, el tope de relajacion correspondera al espesor de la muestra (25 mm) y el de compresion a la mitad del espesor (12.5 mm).

## 2. Preparacion de la muestra:

Cortar el pan en rebanadas de 25 mm de espesor, quitarle corteza y cortarlo en cuadros de 8 x 8 cm.

## 3. Medicion:

a) Colocar la muestra entre las prensas.

b) Poner el interruptor "pen" en la posicion "on" y el indicador "range" en la posicion 5. Activar el control "cycle" y "comp".

c) Dejar que el aparato realice dos veces el ciclo de compresion y relajacion, y detener con "stop".