



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

EMPLEO DE GOMAS EN PANIFICACION PARA ALARGAR LA VIDA DE ANAQUEL

T E S I S

Que para obtener el título de QUIMICO DE ALIMENTOS

presenta

JOSE LUIS MARQUEZ MEJIA

Asesor de tesis:
M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala



México, D.F.

EXAMENES PROFESIONALES 2001
FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

JURADO ASIGNADO

Presidente	Prof.	OLGA VELÁZQUEZ MADRAZO
Vocal	Prof.	LUCÍA CORNEJO BARRERA
Secretario	Prof.	DORA LUZ VILLAGÓMEZ ZAVALA
1er. Suplente	Prof.	MA. DEL ROCÍO SANTILLANA HINOJOSA
2do. Suplente	Prof.	ALFREDO SALAZAR ZAZUETA

Sitio donde se desarrolló el tema

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Lab. de Post- Cosecha, Edificio F

Departamento de Nutrición

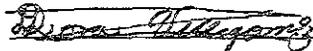
Prolongación Paseo de la Reforma # 880

Lomas de Sta. Fé, 01210

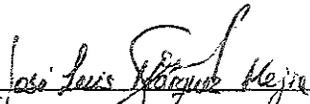
México, D.F.

Tel: 52 67 42 54, 52 67 40 89

Asesor de Tesis:


M. en C. **DORA LUZ VILLAGÓMEZ ZAVALA**

Sustentante


JOSÉ LUIS MÁRQUEZ MEJÍA

RECONOCIMIENTOS

A mi querida Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme las puertas de sus instalaciones y a todos mis profesores por compartir sus conocimientos para formarme durante todo este tiempo, ahora que termino esta etapa de mi vida comprendo el gran compromiso que es ponerse la camiseta como universitario y profesionista.

De igual manera agradezco a las siguientes Instituciones: a la Universidad Iberoamericana y en especial a todo el departamento de Ciencias de la Nutrición y de los Alimentos por el préstamo de sus instalaciones, al Instituto Nacional de la Nutrición y al CIMMYT por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

A la M. en C. Dora Luz Villagomez Zavala (Dorita), mil gracias por tu dirección y apoyo incondicional durante todo este tiempo, pero también gracias por tu amistad y confianza; la cual creo que fue importante para trabajar juntos.

A los profesores: M. en C. Olga Velázquez Madrazo, M. en C. Lucía Cornejo Barrera integrantes del jurado por sus valiosas observaciones en el mejoramiento de este trabajo; a la Dra. Ruth Pedroza Islas por sus aportaciones sobre el capítulo de goma de mezquite y finalmente a la Q.F.B. Lorena Cassis Nosthas por sus valiosos consejos.

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por llegar hasta esta etapa de mi vida, porque sin ti nada de lo que ahora tengo hubiese sido realidad, pusiste tu mirada en mí sabiendo que lo iba a lograr. Recibe este trabajo como una ofrenda de gratitud sabiendo que Tú lo eres todo en mi vida y siempre lo serás Te amo Padre.

A mis padres: Luis y Rosy, por todo su amor, cariño, paciencia, comprensión y todo aquello que solo los padres pueden dar por sus hijos. Gracias por la oportunidad que me dieron de vivir y de superarme, espero nunca fallarles. Los quiero mucho y que Dios los bendiga.

A mis hermanos Arturo y Paty, por estos años de paciencia en los cuales tuvieron que sacrificar mucho. Creo que el compartir y superar las pruebas que nos ha puesto la vida nos ha unido mas como familia. Los quiero mucho.

A mis compañeros y amigos de la carrera: Graciela, Silvia, Gaby, Cristobal, Luis, Juan Manuel, Oscar, Mónica, y Soledad gracias por su sincera amistad

Ciertamente que en el camino de la vida difícilmente uno encuentra verdaderos amigos por los cuales vale la pena luchar y conservarlos. Isidro, gracias por tus palabras que me hicieron mucho bien y por enseñarme que ningún obstáculo es lo suficientemente grande como para no llegar a la meta. Gracias por compartir tu valioso tiempo y por tu amistad que para mí es única, en verdad que eres a todo dar. Que Dios te bendiga siempre.

A las familias Ruiz Gómez y Paez Trejo por abrimme las puertas de su hogar y considerarme como uno más de su familia. Mil gracias por sus oraciones, consejos, paciencia y el ánimo que me infundieron para seguir adelante. A mi buen amigo y brother José Luis Ruiz por su amistad, paciencia y disponibilidad, pienso que todas las aventuras que hemos vivido en Cristo es una gran bendición de Dios que solo pocos se atreven a experimentarlas, ojalá y que continuemos así.

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
1.0 INTRODUCCIÓN	2
Justificación.....	3
2.0 ANTECEDENTES	
2.1 El trigo	5
2.1.1 Producción de trigo en México.....	5
2.1.2 Tipos de trigo.....	7
2.1.3 Partes del grano de trigo.....	8
2.1.4 Composición química del trigo.....	10
2.1.4.1 Contenido de humedad.....	11
2.1.4.2. Proteínas.....	11
2.1.4.3 Carbohidratos.....	12
2.1.4.4 Enzimas.....	13
2.1.4.5 Lípido.....	13
2.1.4.6 Vitaminas y minerales.....	14
2.1.5 Molienda del trigo.....	14
2.1.5.1 Limpieza.....	16
2.1.5.2 Acondicionamiento.....	16
2.1.5.3 Molienda del trigo.....	17
2.1.5.4 Tamizado.....	17
2.1.5.5 Purificadores.....	17
2.1.5.6 Tratamiento de la harina.....	18
2.1.6 Estandarización de la calidad de la harina de trigo.....	19
2.1.6.1 Análisis químico.....	19
2.1.6.2 Análisis reológico.....	21
2.2 El pan	28
2.2.1 Antecedentes.....	28

2.2.2	Ingredientes básicos y su funcionalidad en la masa.....	29
2.2.2.1	Harina	29
2.2.2.2	Agua	30
2.2.2.3	Azúcar.....	30
2.2.2.4	Levadura.....	31
2.2.2.5	Sal.....	32
2.2.3	Ingredientes opcionales.....	33
5.2.3.1	Grasas.....	33
5.2.3.2	Huevo.....	34
5.2.3.3	Leche.....	35
5.2.3.4	Sustitutos de leche.....	36
5.2.3.5	Inhibidores.....	36
5.2.3.6	Vitaminas.....	37
2.2.4	Proceso de elaboración del pan.....	38
2.2.4.1	Mezclado.....	38
2.2.4.2	Fermentación.....	40
2.2.4.3	Fresado.....	42
2.2.4.4	Modelado.....	43
2.2.4.5	Periodo de prueba final.....	44
2.2.4.6	Horneado.....	45
2.2.4.7	Enfriamiento.....	48
2.2.4.8	Envasado.....	48
2.2.5	Envejecimiento del pan.....	49
2.2.5.1	Principales aspectos del envejecimiento del pan.....	52
2.2.5.2	Envejecimiento de la corteza.....	53
2.2.5.3	Envejecimiento de la miga.....	53
2.3	Textura.....	56
2.3.1	Importancia de las propiedades de textura.....	56
2.3.2	Definición de textura.....	57
2.3.3	Análisis de Perfil de Textura (TPA).....	58

6.4.2	Cohesividad.....	131
6.4.3	Elasticidad.....	134
6.4.4	Masticabilidad	137
6.4.5	Gomosidad.....	137
7.0	CONCLUSIONES.....	144
8.0	RECOMENDACIONES.....	147
9.0	BIBLIOGRAFÍA.....	150
10.0	APÉNDICE.....	158

ÍNDICE DE TABLAS

		Pag.
Tabla		
1	Destino de la producción de trigo en México.....	6
2	Clasificación del trigo en base al gluten.....	8
3	Composición química promedio del grano de trigo.....	11
4	Fenómenos físicos y químicos durante el horneado del pan.....	47
5	Términos comunes de textura.....	58
6	Funciones típicas de las gomas en productos de cereales y en materias primas empleadas en su elaboración.....	62
7	Composición química de la carboximetilcelulosa de sodio (CMC).....	66
8	Funciones principales de la CMC en alimentos.....	67
9	Especificaciones para la goma de mezquite (GM).....	74
10	Ingredientes utilizados en la formulación estándar de pan danés.....	85
11	Factores de control para las gomas empleadas.....	91
12	Variables de respuesta a medirse en la masa y el pan.....	92
13	Arreglo de bloques aleatorizado para el experimento.....	92
14	Resultados de las pruebas químicas en la harina de trigo utilizada.....	94
15	Resultados de las pruebas físicas en la harina de trigo utilizada (granulometría).....	95
16	Parámetros reológicos en la harina de trigo utilizada en la elaboración del pan.....	95
17	Resultados de los farinogramas obtenidos con la harina de trigo control y harina con gomas.....	97
18	Resultados de los alveogramas obtenidos con la harina control y la harina con gomas.....	103
19	Variación de los parámetros amilográficos de la harina de trigo control y con tres gomas a cuatro niveles de concentración.....	106
20	Variación de volumen en el pan mediante el empleo de gomas durante el almacenamiento.....	109

21	Resultados de los valores de humedad obtenidos en el pan durante el almacenamiento.....	111
22	Ecuaciones de la cinética de pérdida de humedad en pan con gomas durante el almacenamiento.....	120
23	Resultados de la dureza del pan almacenado.....	123
24	Resultados de la cohesividad del pan almacenado.....	132
25	Resultados de la elasticidad en el pan almacenado.....	135
23	Resultados de la masticabilidad en el pan almacenado.....	138
24	Resultados de la gomosidad en el pan almacenado.....	140

..

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pag
1 Partes del grano de trigo.....	9
2 Diagrama general de bloques de la molienda del trigo.....	15
3 Representación gráfica de un farinograma.....	22
4 Representación gráfica de un alveograma.....	25
5 Representación gráfica de un amilograma.....	28
6 Proceso de envejecimiento del pan.....	51
7 Gráfica típica de un texturómetro.....	59
8 Estructura de la celulosa y de la carboximetilcelulosa (CMC).....	65
9 Estructura de la hidroxipropilcelulosa (HPC).....	69
10 Estructura de la goma de mezquite (GM).....	75
11 Diagrama general de actividades.....	83
12 Diagrama de bloques en la elaboración de pan danés.....	87
13 Efecto de las gomas CMC, GM y HPC sobre la tolerancia al mezclado en la harina de trigo.....	100
14 Efecto de las gomas sobre la relación tenacidad/extensibilidad en la harina.....	104
15 Variación de la viscosidad máxima de gelificación por efecto de tres gomas a cuatro niveles de concentración.....	107
16 Efecto de las gomas sobre la humedad del pan para un periodo de 15 días de almacenamiento.....	113
17 Pérdida de humedad en pan con CMC 0.025 %.....	114
18 Pérdida de humedad en pan con CMC 0.050 %.....	114
19 Pérdida de humedad en pan con CMC 0.075 %.....	115
20 Pérdida de humedad en pan con CMC 0.100 %.....	115
21 Pérdida de humedad en pan con GM 0.4 %.....	116
22 Pérdida de humedad en pan con GM 0.8 %.....	116
23 Pérdida de humedad en pan con GM 1.0 %.....	117
24 Pérdida de humedad en pan con GM 1.2 %.....	117

25	Pérdida de humedad en pan con HPC 0.025 %.....	118
26	Pérdida de humedad en pan con HPC 0.050 %.....	118
27	Pérdida de humedad en pan con HPC 0.075 %.....	119
28	Pérdida de humedad en pan con HPC 0.100 %.....	119
29	Dureza en el pan en un periodo de 15 días de almacenamiento.....	124
30	Dureza en pan con CMC 0.025 %.....	125
31	Dureza en pan con CMC 0.050 %.....	125
32	Dureza en pan con CMC 0.075 %.....	126
33	Dureza en pan con CMC 0.100 %.....	126
34	Dureza en pan con GM al 0.4 %.....	127
35	Dureza en pan con GM al 0.8 %.....	127
36	Dureza en pan con GM al 1.0 %.....	128
37	Dureza en pan con GM al 1.2 %.....	128
38	Dureza en pan con HPC 0.025 %.....	129
39	Dureza en pan con HPC 0.050 %.....	129
40	Dureza en pan con HPC 0.075 %.....	130
41	Dureza en pan con HPC 0.100 %.....	130
42	Cohesividad en el pan en un periodo de 15 días de almacenamiento.....	133
43	Elasticidad en el pan en un periodo de 15 días de almacenamiento.....	136
44	Masticabilidad en el pan en un periodo de 15 días de almacenamiento.....	139
45	Gomosidad en el pan en un periodo de 15 días de almacenamiento.....	141

RESUMEN

Se ha evaluado el uso de diferentes hidrocoloides para retardar el envejecimiento del pan blanco, sin embargo, poca atención se ha dado a otro tipo de pan, de ahí que el objetivo de este trabajo fuera comparar la eficacia de tres diferentes hidrocoloides en el mejoramiento de las propiedades de la masa y del pan tipo danés. Se utilizó: goma de mezquite (GM), en concentraciones de 0.4, 0.8, 1.0 y 1.2 %, goma de carboximetilcelulosa de sodio (CMC) e hidroxipropilcelulosa (HPC), ambas a las concentraciones de 0.025, 0.050, 0.075 y 0.100. Se elaboraron lotes experimentales para cada uno de los polisacáridos, así como un control, teniendo como variables de respuesta en la masa, las propiedades reológicas determinadas a partir de los valores obtenidos del alveograma, el farinograma y el amilograma. En el pan, las respuestas evaluadas fueron el cambio en la humedad, el perfil de textura y el volumen. Para determinar la vida útil de los panes, éstos fueron almacenados en bolsas de polipropileno durante 15 días a temperatura ambiente y humedad relativa controlada. Se determinó el cambio en el contenido de humedad y perfil de textura cada tres días. Sobresalió el efecto positivo de GM en las propiedades de la masa al equilibrar la relación tenacidad/extensibilidad del gluten, modificándola de 0.8 a 0.6. La fuerza de la harina se incrementó con la HPC, efecto contrario se observó con la CMC. El pan con hidrocoloides recién elaborado tuvo mayor contenido de humedad que el testigo, en todos los casos, así mismo, la suavidad fue mayor. La pérdida de humedad en el almacenamiento siguió un modelo lineal con coeficientes de correlación de 0.87 a 0.99 ($P < 0.05$). La tasa de incremento en dureza fue menor para los tratamientos con GM sobresaliendo el de concentración de 1.0 %, presentando suavidad aceptable durante 15 días.

1.0 INTRODUCCIÓN

La industria dedicada a la elaboración de productos de panificación, presenta grandes problemas debido a los cambios que sufre el pan durante su vida de anaquel, lo que trae por consecuencia una disminución en la calidad y en los atributos tanto fisicoquímicos como sensoriales. Esto provoca grandes volúmenes de mermas, producidas por el envejecimiento de estos productos.

En investigaciones recientes, se ha demostrado que la utilización de las gomas en formulaciones para pan blanco de caja, permite tener una vida de anaquel más prolongada, manteniendo la frescura original del producto por más tiempo, además de mejorar sus características sensoriales.

Por esto, el objetivo de la presente investigación es evaluar las propiedades que aportan tres gomas: Carboximetilcelulosa (CMC), goma de Mezquite (GM) e Hidroxipropilcelulosa (HPC) en productos dulces de panificación tradicional.

Para iniciar esta investigación, se procedió al desarrollo de una formulación estándar para una masa para pan tipo danés. Esta formulación se sometió a variaciones en las que se incluyeron diferentes porcentajes de las gomas.

Primeramente para conocer el efecto de las gomas sobre la harina de trigo a utilizar, se evaluaron los parámetros reológicos de mayor importancia, por medio del Farinógrafo, Alveógrafo y Amilógrafo.

La evaluación del pan, se realizó con base en diferentes parámetros, como son: cinética de la pérdida de humedad, volumen del pan y textura, los cuales dan información importante para el fin de este estudio.

JUSTIFICACIÓN

El mayor problema de la industria alimentaria a base de cereales es el rápido envejecimiento de los productos que contienen almidón, como las tortillas de maíz, tortillas de trigo, pan, etc., que se debe a una serie de cambios químicos y físicos que alteran la textura y el sabor de los productos, aspectos que, junto con otros factores, influyen en la aceptación o rechazo del consumidor.

En el pan, las principales características para su aceptación son: suavidad, sabor y una humedad adecuada, y deben conservarse el mayor tiempo posible. Pero estos atributos se pierden con el tiempo.

La comercialización del pan enfrenta el problema de su limitado tiempo de vida útil, por lo tanto cualquier investigación para evitar o retrasar el envejecimiento, así como para mejorar la textura del pan tiene una gran importancia. Este trabajo estudió la influencia de tres gomas en la elaboración de pan danés con el fin de alargar su vida útil.

2.1 El trigo

El trigo se encuentra dentro de los cultivos más antiguos y extendidos del planeta; crece en todas partes con excepción de las regiones árticas.

Durante la Edad Media, éste fue sustituido por la cebada y, después de un periodo de lento progreso, volvió a ocupar su lugar como el mejor cereal comestible. La tecnología comenzó a desarrollarse en torno a su sabor agradable, su vida de anaquel prolongada y sus propiedades únicas de formación de gluten. Actualmente, el trigo es más que una fuente alimenticia, ya que ocupa un lugar importante en el comercio mundial (51).

El trigo es un componente esencial de la dieta alimenticia de la población mexicana, ya que consume diariamente algún alimento elaborado con trigo y sus derivados, como el pan blanco o bolillo, bizcochos, tortillas de harina, sopas de pasta y galletas. Al mismo tiempo, es un producto básico que contribuye al desarrollo de la economía, ya que esta dentro de los 10 cultivos más importantes del ciclo anual; ocupa el cuarto lugar con relación a la superficie cosechada (después de maíz, sorgo y frijol) y el tercer lugar, considerando el volumen de la producción obtenida después de maíz y el sorgo (36,37).

Existe un gran número de especies del género *Triticum* (trigo), miembro de la familia de las gramíneas; aunque se comercializan tan solo cuatro: *Triticum monococcum*, *Triticum turgidum*, *Triticum timopheui* y *Triticum aestivum*. De éstos, el *Triticum aestivum*, que incluye el trigo común o de pan y el *Triticum turgidum*, que incluye el trigo duro o de pasta; son por mucho, los más cultivados en el mundo entero. De estos dos, a nosotros nos interesan exclusivamente las variedades del *Triticum aestivum* (48,51).

2.1.1 Producción de trigo en México

México es deficitario en la producción de trigo, por tal motivo se importan un promedio de 1.2 millones de toneladas de este grano, provenientes de Estados Unidos y

Canadá, principalmente, necesarias para complementar el consumo nacional que promedia 4.5 millones de toneladas anuales (2)

El cultivo de trigo en México se practica principalmente en dos regiones: la norte noroeste, conformada por los estados de Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Baja California Norte y Baja California sur, que contribuyen con el 70.1 % de la producción Nacional y la región Centro integrada por Guanajuato, Michoacán y Jalisco con el 24.3 % (36,37.).

La harina para panificación requiere características que el trigo mexicano no puede ofrecer, porque en el país se produce la variedad de trigo suave principalmente, en tanto que las variedades fuertes son las indicadas para panadería, por lo cual se deben mezclar granos nacionales con importados para lograr la calidad de panificación de la harina.

Tabla 1 Destino de la producción de trigo en México

DESTINO DE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO:	104 MOLINOS
PRODUCTOS DERIVADOS	CONSUMO DE HARINA
Galletas y pastas alimenticias (910 empresas)	7 %
Pasteles, proteínas y almidón	3 %
Panadería Industrial	25 %
Panadería Artesanal	65 %

Benitez (1998) Tecnología de Alimentos, industria y mercado. ATAM. 33 (8). Agosto (2).

Las vías para adquirir trigo son diversas, la mayoría de los 104 molinos del país registrados en cámaras, compran la materia prima directamente a los productores, en otros casos son abastecidos por comercializadores profesionales dedicados al acopio, almacenamiento y embarque del producto. En cuanto a cantidad y capacidad de compra de las cosechas, existe una concentración notable de molinos en el centro del país.

Una respuesta a los problemas de orden alimentario del país se puede encontrar en los productos derivados del trigo por ser una fuente importante de proteínas, recordemos los aproximadamente 40 millones de personas en condiciones económicas difíciles, afectados en gran medida por la desnutrición (2).

El consumo anual total de trigo en el país es del orden de cinco millones de toneladas, de las cuales 4.2 son para fines humanos y 0.6 pecuarias, en donde la diferencia es el inventario inicial para el año siguiente. Por regiones, se estima que en el área metropolitana de la ciudad de México se demandan casi dos millones de toneladas.

En el país se producen 2.4 millones de toneladas de trigos panificables y 0.8 millones de toneladas de trigos cristalinos, de los cuales 0.3 % son exportados. De la producción nacional del grano cerca del 90 % corresponde al ciclo otoño invierno, destacando principalmente el noroeste del país (2).

2.1.2 Tipos de trigo

Para propósitos comerciales, el trigo debe clasificarse por propiedades diferentes a las botánicas. Los principales factores para este propósito son: dureza del grano, época de cultivo (primavera o invierno), color del pericarpio (rojo o blanco) y su contenido de proteína (51,48).

Los trigos tanto invernales como primaverales, se dividen por la fuerza del gluten en fuertes y débiles, los trigos fuertes son generalmente muy vítreos y contienen más proteína que los débiles.

Se les llama fuertes ya que su mayor contenido de proteínas da lugar a una masa altamente elástica, la cual puede retener el dióxido de carbono y los gases producidos por otros agentes leudantes, mientras que los débiles no poseen esta cualidad de retención de gases.

En México se tienen cinco grupos de trigo de acuerdo con la calidad de su gluten:

Tabla 2 Clasificación de trigo de acuerdo al gluten

GRUPO	TIPO DE GLUTEN
I.- Fuertes	Gluten fuerte, elástico, apto para la industria mecanizada de la panificación, mejoradores de trigo débiles
II.- Medio Fuertes	Gluten medio fuerte, apto para la industria del pan hecho a mano, mejoradores de trigos débiles.
III.- Suaves	Gluten débil, suave y extensible. Apto para la industria galletera, mejoradores de trigos tenaces.
IV.- Tenaces	Gluten corto, tenaz, apto para la industria panadera y galletera, en mezcla con trigos del grupo I, II y III.
V.- Cristalinos	Gluten corto tenaz, apto para la industria de las pastas y los macarrones

Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas SARH. Laboratorio Central de Farinología
 Variedades Comerciales de Trigo. México. 1984 (37)

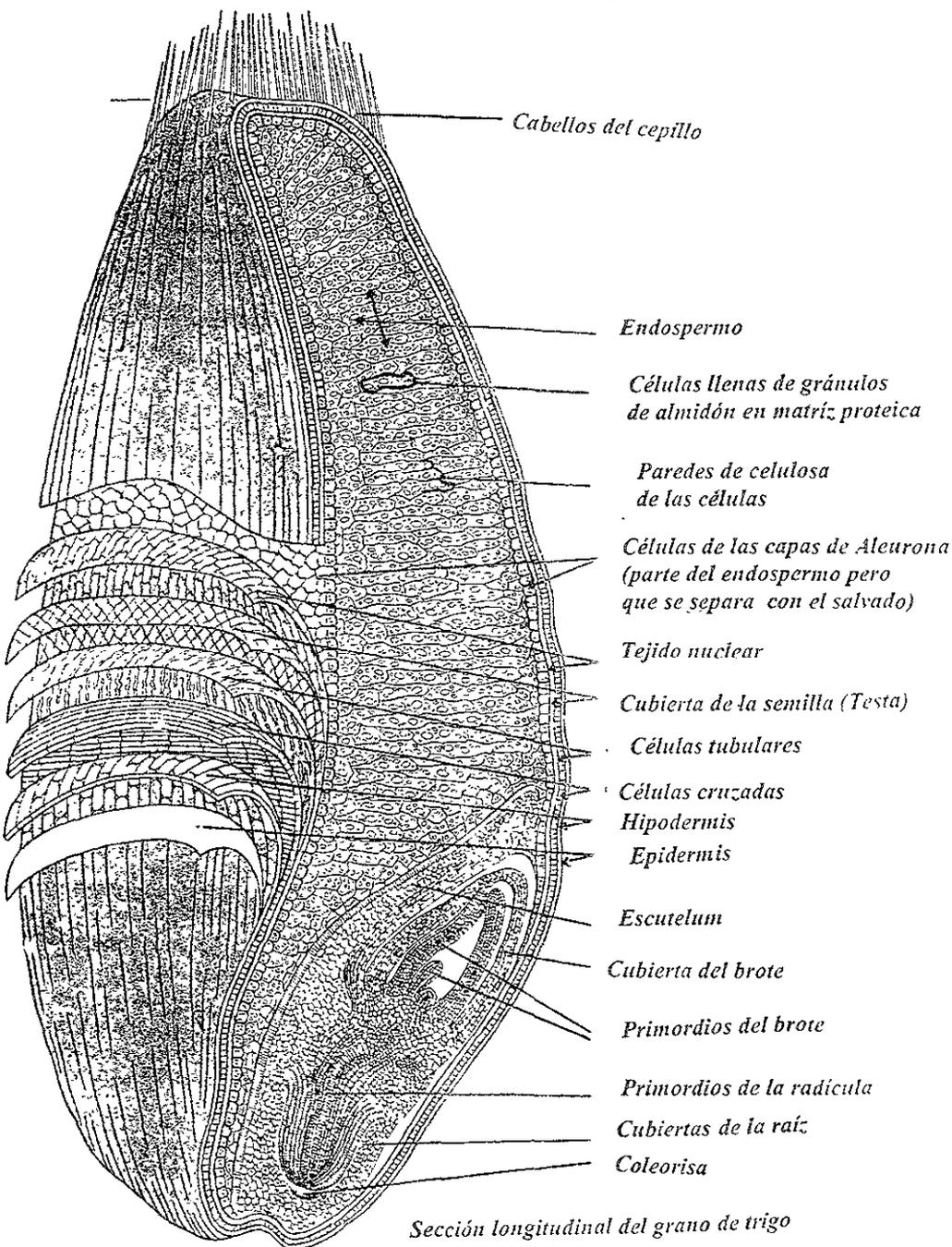
2.1.3 Partes del grano de trigo

En la figura 1, se identifican las partes básicas del grano de trigo. Es una semilla constituida por tres partes principalmente: pericarpio, endospermo y embrión.

2.1.3.1 Endospermo

El endospermo, es la porción del grano de donde se extrae la harina blanca. Contiene el 72 % de la proteína del grano, la cual no es igual en todas partes del mismo. Las proteínas formadoras del gluten se encuentran en el endospermo. También, contiene grandes cantidades de almidón, es rico en vitaminas del complejo B (riboflavina, tiamina, ácido pantoténico, niacina y pirodoxina), al igual que minerales. Su composición varía de su porción periférica a la central. Las proteínas, vitaminas y minerales van decreciendo de la periferia al centro, mientras que el

Figura No. 1 Partes del grano de trigo



almidón decrece del centro a la periferia. La proteína en su mayoría es gluten, el cual tiene una función muy importante en las masas.

2.1.3.2 Pericarpio

El pericarpio o parte exterior del grano, se incluye en la harina de trigo integral, y contiene grandes cantidades de fibra (carbohidratos no digeribles), así como minerales y vitaminas, potasio, fósforo, magnesio, calcio, niacina y ácido fólico. Su composición exacta no ha podido ser estudiada con mucha certeza ya que a la hora de separarlo del resto del grano, siempre lleva partes del endospermo.

2.1.3.3 Germen

El germen o embrión, el cual se encuentra situado en la parte inferior del grano, es rico en grasa, contando también con proteínas y vitaminas. (43, 51, 53

2.1.4 Composición química del trigo

Es muy necesario conocer la composición de los granos de trigo, ya que nos dará indicaciones de su comportamiento antes y durante el proceso. En la tabla 3 se muestran los principales componentes y a continuación se describen brevemente.

2.1.4.1 Contenido de humedad

En el trigo no debe exceder del 11 % ya que de ser así afectará la calidad del almacenamiento y causará problemas de apelmasamiento durante el proceso de molienda. Los compradores del trigo utilizan este parámetro para poder especificar el pago por kilogramo de trigo ya que a mayor contenido de humedad se debe negociar el precio o si es mayor rechazar el embarque (7,38,43).

Tabla 3 Composición química promedio del grano de trigo

COMPONENTES	%
Contenido de Humedad	11.0
Proteína	12.6
Grasa	2.1
Carbohidratos	70.2
Fibra	2.3
Cenizas	1.8

American Institute of baking. Curso de Panificación. (2)

Badú. S. Química de los Alimentos (5)

2.1.4.2 Proteínas

Gracias a las proteínas del trigo, se puede elaborar una masa fuerte, cohesiva, capaz de retener gas y dar un producto esponjoso en el cocimiento. Estas cualidades se atribuyen principalmente a las proteínas, que junto con el agua, forman el gluten. El gluten permite la estabilización de la interfase aire/agua en la espuma formada en la masa (33,51).

La harina de trigo contiene aproximadamente de 10-12% de las proteínas. El gluten está compuesto por dos grupos principales de proteínas: Las gliadinas, que son prolaminas, y las gluteninas, que son glutelinas (33,37).

Las gliadinas tienen una estructura de cadena simple y son extremadamente pegajosas cuando están hidratadas. Tienen poca o nula resistencia a la extensión y son las responsables de la coherencia de la masa. Las glutelinas son proteínas de cadena ramificada. Son elásticas, pero no coherentes. Son las responsables de conferir a la masa su propiedad de resistencia a la extensión.

Las proteínas del gluten son pobres en aminoácidos básicos, además, tienen una baja densidad de cargas, lo que significa que las fuerzas de repulsión dentro de la proteína son muy pequeñas y, por consiguiente, las cadenas proteínicas pueden interactuar fácilmente entre sí, lo que facilita la formación de la masa (33).

2.1.4.3 Carbohidratos

El trigo tiene polisacáridos no feculentos como celulosa, hemicelulosa y pentosanas, así como azúcares y oligosacáridos. Los tres primeros son los principales constituyentes de la pared celular del grano de cereal. Esto junto con la lignina, constituyen la fibra cruda (33).

La celulosa está conformada por unidades de D-glucosa unida por enlaces β -1-4. Su configuración es lineal y se asocia fuertemente consigo misma. Es insoluble en agua y ocupa el 0.3 % del endospermo (5).

La hemicelulosa y pentosanas varían en su composición, pudiendo ser desde el azúcar simple, hasta polímeros con pentosas, hexosas, fenoles y proteínas. Los azúcares que componen a la hemicelulosa son D- xilosa, L-arabinosa, D-galactosa, D-glucosa, etc. Existen celulosas solubles e insolubles en agua, y representan un 2.4 % del endospermo. (5)

Los azúcares más comunes son la glucosa, fructosa, sacarosa, rafinosa y glucofructosanas. Todas estas representan el 2.8 % de la composición del trigo. En el endospermo predominan las glucofructosanas; en el germen y salvado la sacarosa y la rafinosa (17).

El almidón es el principal constituyente de la harina. Representa una fuente de reserva para el trigo, se encuentra en forma de gránulos en el endospermo. El trigo tiene dos tipos de gránulos; los grandes lenticulares y los pequeños esféricos.

El almidón es una mezcla de amilosa [1/3] y de amilopectina [2/3] (5).

La amilosa posee una estructura lineal formada por moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos α -1-4; la amilopectina tiene una estructura similar a la de la amilosa, con la diferencia de que las moléculas de glucosa se unen a una base de cadenas ramificadas con enlaces α -1-6 (14).

Tanto la amilosa, como la amilopectina, influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente por su capacidad de hidratación y gelatinización (33).

2.1.4.4 Enzimas

El trigo contiene dos tipos de amilasas: α y β . La primera es una endoenzima que degrada al azar los enlaces glucosídicos α -1-4, produciendo una rápida disminución del tamaño de las moléculas de almidón y, por consiguiente, una disminución en la viscosidad.

La β amilasa es una exoenzima que ataca en los extremos no reductores de los polímeros. Ataca también los enlaces glucosídicos α -1-4 rompiendo uno sí y otro no, liberando maltosa. El 70 % de la amilosa se convierte en maltosa. El 50 % de la amilopectina se convierte en maltosa.

La mezcla de estas dos enzimas degrada rápidamente el almidón, ya que por cada rompimiento que hace la α -amilasa, produce un extremo no reductor que puede ser atacado por la β -amilasa.

El trigo tiene baja actividad lipásica, pero tiene importancia debido a la relación que existe con el aumento de susceptibilidad al enranciamiento oxidativo. Las proteasas en trigos maduros presentan niveles de actividad muy bajos (33).

2.1.4.5 Lípidos

El trigo presenta un 1-3 % de los lípidos. El endospermo contiene de 0.8 – 1.5 %, el germen de 6-11 % de los lípidos y el salvado de 3-5 %. El 70 % de estos lípidos son no polares, el 20 % son glucolípidos y el 10 % son fosfolípidos (33).

El efecto de los lípidos en el pan se relaciona con la interacción de las proteínas en la masa. Una harina descngrasada, aumenta la absorción de agua y el tiempo de mezclado, disminuye el volumen de la pieza de pan, deteriora la estructura de la miga y acelera el envejecimiento (5).

2.1.1.4.6 Vitaminas y minerales

La mayoría de los minerales se encuentran en la capa de aleurona. El 95 % de estos compuestos está formado por fosfatos, sulfatos de potasio, magnesio y calcio. El trigo es una importante fuente de vitaminas como son la tiamina, niacina, riboflavina, piridoxina y ácido pantoténico. Sin embargo, la mayor parte de ellas se pierde al separar el salvado y el germen de las harinas A (33).

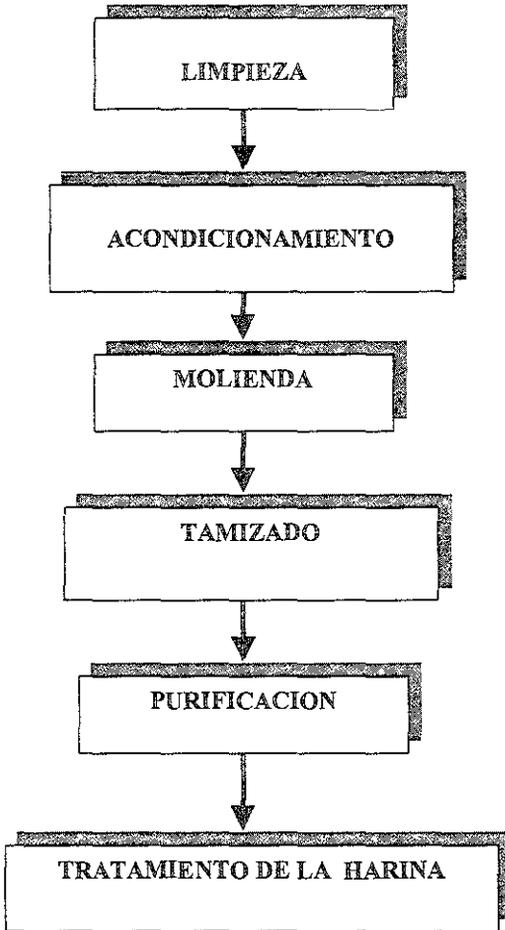
2.1.5 Molienda del trigo

La molturación es un arte antiguo, su objetivo es hacer que los cereales resulten más agradables para que sean deseados como alimento.

La molturación emplea la eliminación del material que el molinero llama salvado y la capa de aleurona, generalmente se eliminan el germen por ser relativamente rico en aceite, lo cual provoca que el producto se enrancie más rápidamente disminuyendo así su calidad. La molienda seca trata de separar las partes anatómicas del grano tan limpiamente como sea posible (33).

El proceso de molienda consta básicamente de las siguientes etapas, tal y como se muestra en la figura 2.

Figura 2 Diagrama general de bloques de la molienda del trigo



2.1.5.1 Limpieza

Con la limpieza se remueven los materiales extraños del trigo; aunque existen grandes variaciones en cuanto a sistemas y números de pasos, por lo general ciertos pasos básicos son necesarios.

Al principio del proceso un separador magnético elimina cualquier pieza metálica, posteriormente otro separador elimina palos, piedras, basura, paja, material extraño de mayor y menor tamaño que el grano. Enseguida, pasa sobre una criba de mayor tamaño que el del grano y se elimina así el material grande incluyendo los granos mayores. La criba siguiente retiene los granos más grandes pero elimina los de menor tamaño, dejando que éstos pasen. Las cribas tienen movimiento alternativo.

Otra limpieza importante del grano es el restregador. El diseño varía pero la idea básica consiste en frotar o rozar el grano entre sí contra una malla metálica perforada o contra una superficie abrasiva, para separar la suciedad adherida.

2.1.5.2 Acondicionamiento

El acondicionamiento consiste en añadir agua al grano seco y dejarlo reposar. Los objetivos principales son:

- 1) Poner correoso al salvado para que se resista a ser dividido en pequeños trozos durante la molturación
- 2) Ablandar o suavizar el endospermo para facilitar la molienda. La cantidad de agua que se añade al trigo varía dependiendo del porcentaje de agua del grano y de su dureza. El trigo blando generalmente se acondiciona de 15.0 a 15.5 %. Los trigos duros hasta 16.5 % de humedad (33).

2.1.5.3 Molienda del Trigo

La operación de molienda se hace en molinos de rodillos. Este sistema se presta a un proceso de reducción gradual.

La molturación se realiza entre parejas de rodillos que giran en sentidos opuestos y a velocidades diferentes. Así además de la acción de compresión al pasar una partícula suficientemente grande por el estrecho espacio entre los rodillos, hay una acción de corte a causa de la velocidad diferencial. El objetivo de la operación de molienda es separar el salvado, germen y endospermo. Después de hacer la separación, el objetivo es la reducción del endospermo. Para lograr esto se tienen tres tipos de molinos: de quebrantamiento, raspado y reducción.

2.1.5.4 Tamizado

Tras cada molturación, el producto del molido se separa sobre tamices y purificadores.

2.1.5.5 Purificadores

El objetivo es separar las partículas de salvado del endospermo. Un buen proceso de molienda comercial de trigo produce de 60 a 70 % de harina y de 8 % de sémolas.

Se producen corrientes individuales de harina en diferentes etapas del proceso de molienda. La combinación adecuada de las corrientes de harina dependerá de la cantidad y calidad de cada corriente. Si separamos las harinas más blancas, las cuales tiene un menor contenido de cenizas, obtenemos la harina de patente (60%). El resto de la harina que es más oscuro (o de segunda, 10–15 %) se destina para otros fines, y para el caso de utilizar toda la harina a esta se le llama de grado directo (72-75 %) (17,22,51).

Generalmente existen cinco subproductos: salvado, salvadillo “cortos o shorts”, sémolas, germen y polvos o impurezas. El total de estos representan aproximadamente un 24-

26% del total de lo producido en el molino y tiene un costo menor que la harina, lo que hace que el objetivo de cualquier molino sea obtener la mayor cantidad posible de harina de buena calidad para que se vuelva más rentable (13,59).

2.1.5.6 Tratamiento de la harina

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

En el enriquecimiento se considera que se deben reponer las vitaminas perdidas en las fracciones de salvado y germen durante el procesamiento de obtención de la harina, con la finalidad de complementar el producto desde un punto de vista nutricional. Este enriquecimiento se realiza normalmente a través de la adición de una mezcla vitamínica en forma de polvo empleando un dosificador, que de preferencia debe de ser gravimétrico (13,17,51,56)..

El blanqueo mejora la apariencia de una harina recién molida, por el cambio en su color de crema a blanco. Los agentes blanqueadores actúan sobre los pigmentos carotenoides presentes en la harina. El peróxido de benzoilo es el agente blanqueador en polvo más comúnmente usado en la actualidad; requiere de un tiempo de exposición de aproximadamente 72 horas, puede ser empleado tanto en harinas de trigos suaves como fuertes. El cloro gaseoso usado como blanqueador de harinas de trigo suave, afecta también las características estructurales y funcionales de la proteína y del almidón lo que favorece una mayor absorción, mejor volumen del producto y una mejor comestibilidad. La destrucción de los compuestos que imparten color se debe a un efecto oxidante sobre los mismos y esto puede lograrse a través de compuestos químicos o por una oxidación natural de la harina, lo cual requiere tiempos prolongados siendo financieramente un problema (5).

En el mejoramiento de la funcionalidad de las harinas pueden emplearse oxidantes que mantienen un buen balance entre las características reológicas en la masa. El bromato de potasio ha sido el oxidante más utilizado en el mundo, seguido de la azodicarbonamida (20).

2.1.6 Estandarización de la calidad de la harina de trigo

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

Las harinas de trigo se emplean para la elaboración de una amplia gama de productos. Es muy importante el tener en cuenta que cada producto se elabora de manera óptima a partir de un tipo determinado de harina, de esta forma los panes, bollos, pasteles y panqués, galletas, corteza para pay, requieren de una harina especial y diferente

La definición funcional de una harina es la suma de los diferentes análisis fisicoquímicos, reológicos, enzimáticos y microbiológicos, realizados en el laboratorio. Si queremos predecir el funcionamiento de la harina durante el proceso, con un solo análisis faltará asertividad, y por lo tanto, no se pueden realizar ajustes de formulación y/o procesos pues serán parciales o erróneos. Normalmente en la práctica, los ajustes operativos se realizan por comparación de los análisis de la nueva harina con la que se está empleando y sus condiciones de operación actuales, lo que nos indican cuales podrían ser los cambios necesarios, aunque la manera más adecuada para obtener un resultado más preciso, es realizando una prueba de panificación.

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

2.1.6.1 Análisis químico

A continuación se presentan los principales análisis químicos que se le realizan a una harina panadera, se describe la importancia que tiene y se hace mención de la técnica de análisis empleada

a) Contenido de humedad.

El método utilizado se basa en el secado de la muestra determinando su peso antes y después de haberse evaporado el contenido de humedad el cual puede realizarse por secado en estufa.

Dentro de la importancia que tiene el contenido de humedad para la harina podemos mencionar las siguientes; si excede el límite especificado de un 14 % de humedad como máximo para panadería se debe comprar sobre la base del contenido de sólidos para evitar comprar agua a precio de harina, además, el contenido excesivo de humedad trae problemas durante el almacenamiento de la harina ya que se deteriora rápidamente y facilita el desarrollo de insectos y hongos.

También en el ámbito de operación causa variación en las características del amasado y por lo tanto del producto terminado (1, 19).

b) Contenido de proteínas

Las proteínas en el trigo son las responsables de formar una estructura de capas al retener los gases de la fermentación gracias a la formación del gluten. El contenido de proteínas se determina mediante el método Kjeldahl el cual determina la cantidad de nitrógeno en la muestra de la harina.

Por lo general una harina con alto contenido de proteína tiende a ser más fuerte que una con menor contenido de proteína. Sin embargo, hay que aclarar que esto no es totalmente exacto ya que la determinación abarca tanto a las proteínas formadoras de gluten como a las no formadoras.

Para tener una correcta caracterización de la harina, debe complementarse con un análisis de calidad de proteínas lo cual se refiere a sus características de extensibilidad o tenacidad, fuerza o debilidad, y su comportamiento en el mezcládo (ver propiedades físicas) las cuales

solo pueden medirse con aparatos que determinan las propiedades físicas de la harina. Las harinas panaderas deben poseer un mínimo de proteínas que asegure junto con la determinación de calidad, un buen comportamiento durante el proceso. Un contenido de proteínas de 9.0 a 10 % se considera adecuado para harinas panaderas (3,4).

c) *Contenido de cenizas*

Las cenizas son el residuo mineral que resulta del calentamiento de la harina bajo condiciones controladas hasta que se haya destruido todo el material orgánico sin causar la volatilización de los componentes no combustibles.

Se emplean muflas eléctricas con temperaturas del orden de los 600 °C, el calentamiento se realiza en forma continua hasta que la muestra ya no presenta pérdidas de peso y el residuo de cenizas sea de color blanco grisáceo.

Debido a las grandes diferencias que existen en el contenido de cenizas entre el salvado y endospermo de trigo, la determinación de cenizas es un indicador del grado de extracción y por lo tanto de la presencia de harina con salvado, para harinas panaderas se recomiendan un contenido de cenizas máximo de 0.53 %.

2.1.6.2 Análisis reológicos (opcionales)

Existen algunos instrumentos que miden propiedades físicas de la harina y que proporcionan información acerca de atributos tales como el mezclado y la absorción mediante lo cual es posible conseguir datos confiables de la calidad de panificación de las harinas.

a) *Farinógrafo*

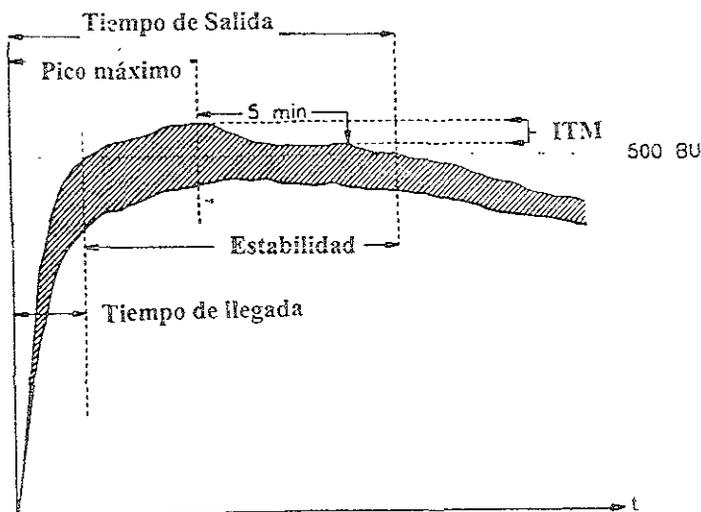
El farinógrafo Brabender- Hankoczy se emplea para verificar la uniformidad de las harinas en lo referente a sus características de mezclado. Produce una gráfica llamada farinograma de la que se obtienen los siguientes datos:

- ❖ Absorción óptima de la harina

- ❖ Tiempo óptimo de mezclado de las harinas
- ❖ Comportamiento de las harinas durante el mezclado (3,4,33,45).

El farinógrafo consiste en una mezcladora de alta velocidad, en la que la fuerza necesaria para hacer girar los dos brazos mezcladores se registra en un dinamómetro, éste, a su vez, está conectado a un graficador que produce la curva o farinograma. La figura 3 muestra un farinograma y sus parámetros de respuesta (3).

Figura 3 Representación gráfica de un farinograma.



Fuente: Hammed Faridi, Ph. D. (1990). Dough Rheology and Baked Product Texture AVI Book N.Y. (29)

El farinógrafo indica si las harinas que vienen en diferentes embarques tienen el mismo tipo de curva, si provienen del mismo trigo y probablemente si tienen los mismos requerimientos de mezclado. En la figura 3 se muestra un ejemplo de un farinograma, a partir del cual se explica su utilidad (4,58).

Las líneas verticales de la curva están espaciadas para que transcurra medio minuto de mezclado entre cada una. La gráfica posee 50 líneas horizontales, espaciadas para cubrir una

amplitud de 0 a 1000 unidades Brabender (UB) para medir viscosidad. La separación entre dos líneas horizontales es de 20 UB. Las unidades UB son arbitrarias y se usan para indicar la consistencia de la masa. La altura de la curva debe quedar centrada en la línea de 500 UB. Los inventores del aparato indican que la línea de las 500 UB corresponde a una masa con la consistencia ideal para producir el mejor pan. La cantidad de agua necesaria para lograr la consistencia de 500 UB corresponde a la absorción óptima de la harina.

Interpretación de resultados del farinograma

- ❖ **Absorción.** Es el porcentaje de agua, base harina, necesario para llevar el centro de la curva a la línea de 500 UB. Se puede leer directamente de la bureta desde la cual se agregó el agua a la harina.
- ❖ **Tiempo de desarrollo óptimo.** Es el intervalo de tiempo entre la primera adición de agua a los 0 minutos y el punto de máxima consistencia (**pico máximo**) justo antes de la primera señal de debilitamiento. Las harinas fuertes presentan un mayor tiempo de desarrollo que las débiles.
- ❖ **Tiempo de llegada.** Tiempo que transcurre para que la parte superior de la curva intercepte la línea de 500 UB.
- ❖ **Estabilidad.** Diferencia de tiempo entre el punto donde la parte superior de la curva por primera vez intercepta las 500 UB y el punto donde la parte superior de la curva deja la línea de 500 UB (Tiempo de salida). Entre mayor sea el valor de estabilidad mejor se comportará la harina durante el mezclado.
- ❖ **Índice de tolerancia de mezclado (ITM).** Es la diferencia en UB de la parte superior de la curva después de 5 minutos de haber logrado el punto desarrollado máximo. Entre mayor sea el índice de tolerancia al mezclado en UB, menor será la tolerancia. Esta es una de las aplicaciones más valiosas del farinógrafo, ya que la tolerancia al mezclado es una

de las principales características de la harina más importante para el panadero. Harinas más fuertes mostrarán mayor tolerancia al mezclado.

- ❖ **Tiempo de salida.** Es el tiempo que transcurre desde la primera adición de agua, hasta que la parte superior de la curva abandona la línea de las 500 UB. Entre mayor sea el valor de tiempo de salida, más fuerte será la harina.

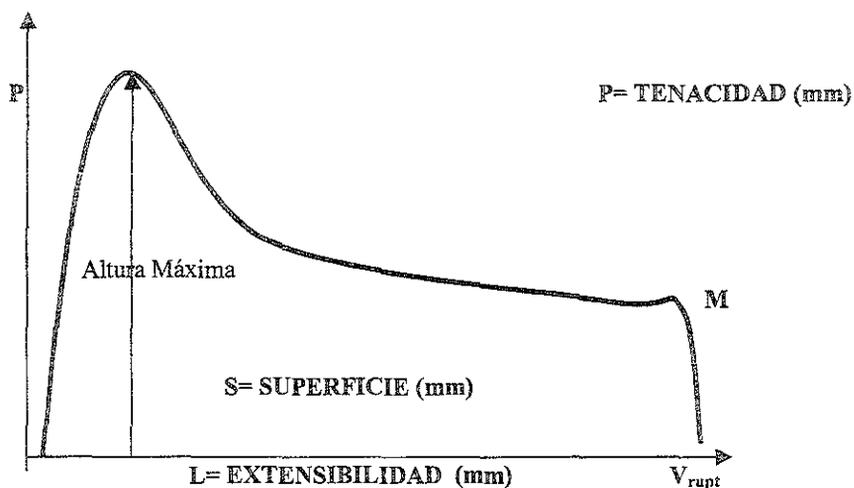
b) *Alveógrafo*

El Alveógrafo ó Extensómetro de Chopin es un aparato diseñado para medir la resistencia a la expansión y la extensibilidad de una delgada galleta de masa. Proporciona datos acerca de la fuerza de la harina, indica las características panificables de una harina. En el caso de harinas panaderas dan información de las características de crecimiento de la masa durante la fermentación y de retención del gas. En la figura 4 se muestran las características del Alveograma (3,4,33,58).

En el Alveógrafo se mide básicamente, la presión residual de un flujo de aire cuidadosamente controlado contra una delgada “galleta “ de masa, hasta que la delgada burbuja de masa se rompe. La masa se prepara bajo condiciones estándares de absorción y tiempo de mezclado. Se extruye para cortar discos de masa que se reposan 20 minutos en una cámara de temperatura controlada.

Durante la prueba se asegura la galleta de masa entre dos placas, la superior tiene un agujero circular grande por donde crecerá la burbuja de masa. La placa inferior está dotada de una pequeña válvula conectada a una cámara de aire hacia donde se dirige la presión. La cámara de aire adicionalmente esta conectada a un manómetro graficador, el cual registra el comportamiento que presenta la masa al aire inyectado. El aire que no llega a deformar a la masa actúa sobre una columna de agua que lleva un flotador unido a una pluma, la cual hace la gráfica característica de cada harina. La prueba debe hacerse por triplicado trazándose una gráfica promedio a partir de la cual se toman los resultados (3,4).

Figura 4 Representación gráfica de un alveograma



Fuente: Hammed Faridi (1990). Dought Rheology and Baked product Texture. AVI Book. NY (29).

Significado de P/L

El Alveógrafo muestra que la resistencia de la masa a la expansión es mayor al comienzo, lo que resulta en una elevación de la curva hasta el punto P. La expresión inicial a vencer se debe a la falta de orientación de las cadenas de gluten. En el punto de máxima presión (P), las cadenas se alinean en paralelo y comienzan a estirarse y deslizarse una sobre otra con mayor facilidad. El resultado es un decrecimiento rápido de la curva seguido por un decrecimiento más gradual, el cual es característico de cada harina, hasta que la membrana de masa se rompe (punto M). Esto provoca que todo el aire se escape a través de la membrana rota de la masa, por lo que ya no actúa sobre la pluma del graficador y la curva cae.

La altura P es un indicio de la fuerza ténsil, tenacidad o resistencia a la deformación de la masa y se lee en milímetros.

La extensibilidad de la masa se expresa como L , y se determina mediante el volumen total obtenido por la burbuja de aire de masa.

Los valores de P o L aislados no brindan mucha información acerca del comportamiento integral de la harina.

Una harina puede ser tenaz y no extensible, tenaz y extensible, extensible y no tenaz (3,4).

Para que una masa pueda aumentar de volumen, es necesario que la harina tenga una buena extensibilidad. Para que pueda retener el gas generado y así sostener el volumen, debe mostrar cierta tenacidad. La relación aritmética entre los valores P y L , es decir, P/L , brinda la información deseada para conocer el uso al que están destinadas las harinas.

En una relación $P/L = 5$, se encuentran balanceadas la tenacidad y extensibilidad por lo que esta harina es apta para panificación. Una harina con P/L mayor a 5 es una harina más tenaz que extensible. Una harina con P/L menor a 5 es una harina más extensible que tenaz (3,4,38).

Significado de W

El valor W indica la fuerza de la harina. En el alveografo la corriente de aire que extiende a la masa efectúa un trabajo mecánico, el cual es mayor conforme la harina va siendo más tenaz o conforme va siendo más extensible. El valor W proporciona la medida de ese trabajo.

Entre mas fuerte sea la harina, mayor será el trabajo de deformación que se necesite y entre más débil sea la harina menor será el trabajo de deformación. El valor W se obtiene a partir de la determinación del área bajo la curva del alveograma (3,4,12,33)

c) *Amilógrafo*

El Amilógrafo es un viscosímetro registrador de torsión que consta de un vaso cilíndrico calibrado con capacidad de 500 mililitros.

En él coloca una suspensión de harina-agua que consta de 80 gramos de muestra con base al 14 % de humedad y 450 ml de agua destilada. Se pone a funcionar con una velocidad constante de 75 revoluciones por minuto y durante el tiempo que este está funcionando la temperatura aumenta uniforme y automáticamente 1.5 °C por minuto.

El amilógrafo es calibrado arbitrariamente en unidades amilográficas, lo que representa la viscosidad en una escala de 0 a 1000. Los valores de actividad amilolítica de la harina, son inversamente proporcionales a los valores dados en el amilógrafo.

El registrador del amilógrafo grafica una curva (figura 5) que registra las variaciones de viscosidad a lo largo del análisis. Esta curva se llama amilograma.

Los cambios que sufre el almidón durante el transcurso del amilograma por la acción del calor, son los siguientes:

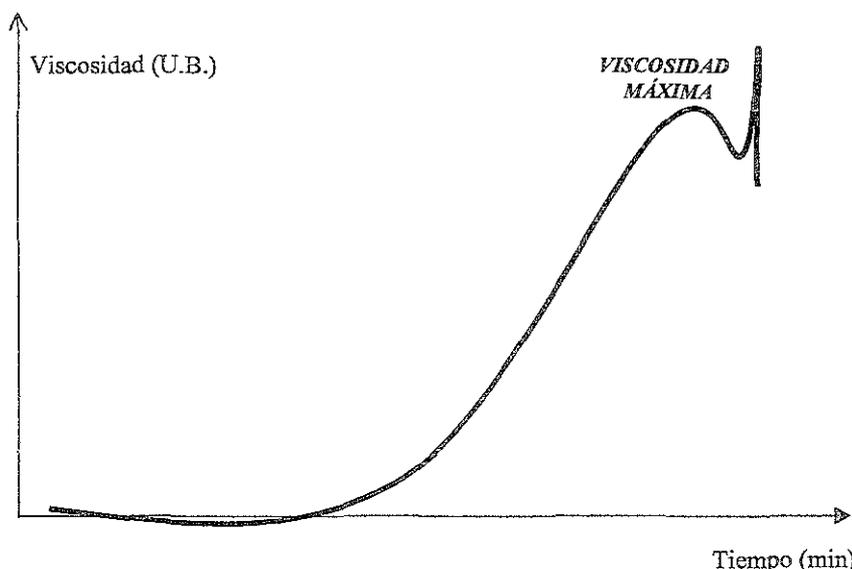
- 1) Absorción reversible de agua con hinchamiento limitado de los gránulos de almidón, con pequeños incrementos de la viscosidad.
- 2) Hinchamiento rápido con un considerable aumento del tamaño de los gránulos de almidón que pierden su birrefringencia, aumento rápido en la viscosidad.
- 3) Los gránulos de almidón se rompen y aparecen moléculas libres hidratadas de amilosa y amilopectina. La viscosidad de la pasta se reduce hasta alcanzar un cierto valor estable.

Para determinar las características del almidón de la harina, se determinaron a cada una los siguientes parámetros.

1. -Viscosidad máxima: Es el valor alcanzado por la curva amilográfica, expresado en unidades amilográficas (U.A.)

2. -Temperatura de gelatinización. Es la temperatura en °C correspondiente al punto más alto de la curva amilográfica, es decir, a la viscosidad máxima, calculada con base en el tiempo de funcionamiento del amilógrafo. (65).

Figura 5 Representación gráfica de un amilograma



Fuente: Shuey W.C. and Tipples, K.H. (1980). Amilograph Handbook. American Association of Cereal chemists. The Association St. Paul Minnesota.

2.2 El pan

2.2.1 Antecedentes

El pan es el alimento que provee más nutrimentos que cualquier otro alrededor de todo el mundo. En 53 % de los países, el consumo del pan representa la mitad del total de la ingesta de calorías. En el continente americano, el pan provee cerca del 50 % de los requerimientos nutricionales de México, Chile, Perú y Venezuela (52).

En México, hasta hace pocos años no era difícil encontrarse una panadería al caminar por la calle. Ahí mismo horneaban y vendían una gran variedad de pan. Hoy en día, tiende a

desaparecer este tipo de establecimientos. Son diversas las razones de este fenómeno, entre las que se encuentran: el control de precios; el alto costo de hornear y vender; escasez de personal capacitado y con experiencia, la gran variedad de panes industrializados, etc., pero la de mayor importancia es de que el producto se mantiene fresco por un tiempo reducido, por lo que la gente no compra mucho.

La formulación básica para el pan consiste en harina, levadura, sal y agua. Otros ingredientes que se encuentran frecuentemente en las formulaciones del pan son grasas, azúcar, leche y derivados, reforzadores, surfactantes, enzimas y conservadores para la protección contra hongos.

Las formulaciones se basan en el peso de la harina, considerando el 100 %, y de éste se toma como referencia los demás ingredientes, a este porcentaje se le conoce como “porcentaje panadero”. De aquí en adelante todos los porcentajes mencionados en este trabajo serán relacionados a porcentajes panaderos (33).

2.2.2 Ingredientes básicos y su funcionalidad en la masa

2.2.2.1 Harina

Generalmente la harina se utiliza entre un 60 a 66% del total de la formulación. Siendo el componente estructural más importante, responsable de formar junto con el agua la masa viscoelástica que retiene el gas (21,63).

Las propiedades de la masa son el resultado de la actuación de muchos de sus componentes, tales como proteínas, almidón y lípidos. Sin embargo, las proteínas del gluten: gliadina y glutenina, tienen un papel fundamental, ya que al ser hidratadas, imparten la cohesividad y elasticidad de la masa. Durante la fermentación, carbohidratos como el almidón, sirven como sustrato de las levaduras y de esta manera se puede lograr la formación de gases.

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

2.2.2.2 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 empiecen a gelatinizar, sirve como medio activador de la enzima 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 (18).

2.2.2.3 Azúcares

El azúcar añadido es un suplemento de los azúcares presentes en la harina (glucosa, fructosa, sacarosa y maltosa) que sirven como sustratos de la levadura en la fermentación. El azúcar añadido además de resalta el sabor y color del pan, y retiene el agua en la miga para conservarlo fresco.

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 maíz 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 (52, 56).

2.2.2.4 Levadura

La levadura para productos de panificación esta compuesta de células de cepas selectas del microorganismo *Saccharomyces cerevisiae*. La levadura se presenta en diferentes formas comerciales, como crema, comprimida, seca activa y seca instantánea; teniendo cada una sus ventajas e inconvenientes (13,52,56).

- ❖ La acción básica de la levadura en productos de panificación es:
- ❖ La producción de bióxido de carbono (CO₂), que provoca el crecimiento de la masa.
- ❖ El desarrollo o maduración de la masa, y;
- ❖ El desarrollo de precursores de sabor.

La levadura logra esta acción mediante el rompimiento inicial de azúcares, como la sacarosa (no fermentable) que por acción de la invertasa la cual esta en la pared celular de la levadura, forma azúcares fermentables, como la glucosa, fructosa y manosa. Éstas son empleadas para formar dióxido de carbono, aldehídos y cetonas, quienes producen el aroma y sabor característico del pan a través de las complejas reacciones que se llevan a cabo dentro de la levadura (1)

La fermentación alcohólica puede ser definida en términos generales como la conversión enzimática de carbohidratos en etanol y dióxido de carbono, como productos principales; el proceso se lleva a cabo en condiciones anaerobias. Se estima que el 95% de la glucosa es convertida en etanol y CO₂, liberando energía en forma de calor

Para el crecimiento y reproducción de la levadura se requieren algunos nutrimentos adicionales tales como azúcares fermentables, una fuente de nitrógeno (sales de amonio, urea, aminoácidos y amidas), azufre, minerales y muchas de las vitaminas solubles en agua, los cuales pueden ser adicionados a la formulación (56).

2.2.2.5 Sal

El cloruro de sodio o sal común es un ingrediente en menor cantidad, pero cualitativamente muy importante. En los productos de fermentación cumple con varias funciones, la más importante es el mejoramiento del sabor del pan, acentúa otros sabores, mejorando el balance de los mismos.

La sal posee un efecto inhibitorio sobre la fermentación de la levadura, que comienza en niveles de entre el 1.5 % al 2.0 % (base harina), reflejando en una actividad reducida de levadura y, por tanto, en un menor poder de gasificación (52).

La sal previene una acción excesiva de la levadura, especialmente en masas de fermentación prolongada. El efecto de la sal es indeseable cuando se desea una mayor rapidez de fermentación, bajo condiciones controladas de temperatura. La sal tiene también, en cierto grado, un efecto inhibitorio sobre la actividad de otros microorganismos, inhibiendo la acción de las bacterias productoras de ácido (56).

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

A pesar de que el brillo de la corteza generalmente se asocia con azúcares y dextrosas, también es necesaria la sal. En panes en donde se ha omitido, se observa un aspecto de corteza pálido y poco brillante. La sal tiene un efecto sobre la temperatura a la cual caramelizan los azúcares (5,17,56).

2.2.3 Ingredientes opcionales

2.2.3.1 Grasas

La importancia de las grasas en panificación depende principalmente del producto a desarrollar. Las funciones principales de las grasas en la formulación del pan son: suavizan la estructura del gluten, impiden la salida de los gases formados durante la fermentación, mejoran la estructura de la miga del pan y la firmeza de la corteza, aumentan el volumen del producto, extienden la vida útil del producto y aumentan su valor calórico (52,56).

Las pastas hojaldradas y la masa danesa, se elaboran con laminas de masa y capas de antiaglutinante o mantequilla. Para obtener las laminas, se trabaja la masa hasta un calibre determinado, luego se calibra la mitad con grasa y se pliega la masa para dejar la masa en forma de "sándwich"; la operación se repite laminando y plegando. Esto da lugar a múltiples capas alternas de masa y grasa. Para que el sistema funcione convenientemente, la grasa debe tener las propiedades físicas correctas. Como las características de la grasa se alteran rápidamente con la temperatura, se debe controlar cuidadosamente la temperatura de la masa. Una práctica común es laminar un número determinado de veces y luego devolverla a un retardador (refrigerador) para que repose y enfríe antes de ser sometida a otra serie de laminaciones (33).

La función de la grasa, además de separar los extractos de la mezcla, imparte a la estructura impermeabilidad al vapor de agua que se desarrolla durante la cocción; de esta forma se va hinchando hasta la formación del volumen deseado. Tal volumen depende no sólo del desarrollo y de la fuerza del gluten húmedo, que expandiéndose con la cocción, confiere al producto ligereza, sino también de la temperatura del horno.

La adición de margarinas dulces o hidrogenadas (grasas para el amasado) en cantidades de 70-140 g. por Kg, de harina, dejan la masa más blanda, más fácil de trabajar y más crujiente debido a la acción que ejerce la grasa sobre la estructura del gluten.

La grasa adicionada envuelve las partículas de harina, reduciendo la capacidad del agua de unirse a las proteínas y por eso forman una malla glutínica muy pequeña.

La cantidad de grasas estratificadas y las puestas en la masa deben estar justamente equilibradas ya que éstas presentan efectos tecnológicos opuestos. De hecho, aumentando la cantidad de las grasas estratificadas aumentan la capacidad de fermentación y, por tanto, el volumen; al contrario un aumento de las grasas de la masa disminuye la elasticidad no permitiendo, como ya se ha dicho, la formación de mallas glutínicas muy grandes y, por consiguiente, afectando al volumen y en definitiva empeorando las características cualitativas del producto final (58).

2.2.3.2 Huevo

El huevo es uno de los ingredientes más importantes usados por el panadero llegando a representar en ocasiones hasta el 50 % del costo total de los ingredientes.

El uso del huevo en productos de panificación contribuye al aporte nutricional ya que es una fuente rica en proteínas de alta calidad que aporta todos los aminoácidos esenciales. La proteína de la yema que es una fuente de material constructor de tejidos es una rica fuente de grasa, vitaminas y minerales esenciales principalmente hierro, fósforo y calcio, en cuanto al aporte de vitaminas contiene cantidades considerables de A, D, E, K y vitaminas del complejo B₁₂.

Los beneficios del huevo en el pan son:

1. Aporte a la estructura debido a la gran cantidad de proteínas con la propiedad de formar una espuma al ser parcialmente batidas que al desnaturalizarse originan una estructura aireada relativamente estable que es capaz de sostener a otros ingredientes. El huevo es capaz de leudar de 5 a 6 veces su propio peso de ingredientes.
2. Mejoran el color y sabor de los productos, esto siempre y cuando sus características originales sean buenas ya que en caso de presentar anomalías como por ejemplo un sabor

malo, este predominará también en los productos horneados. El color de la miga depende también en gran parte del color de la yema sobre todo en los lugares donde no es permitido el uso del color artificial, mientras que el color de la corteza se mejora por el aporte de proteínas que da y que participan en las reacciones de oscurecimiento con azúcares reductores.

En la actualidad debido a la gran cantidad de productos elaborados con huevo, se manejan mezclas de clara y yema dependiendo del efecto deseado. Sin embargo, se debe tener cuidado al realizar estas mezclas tomando en cuenta que la clara provoca un marcado efecto endurecedor de la miga mientras que la yema tiene un efecto suavizante y es la responsable de que el huevo entero tenga un efecto más suavizante que endurecedor (3,4,45).

2.2.3.3 Leche

Su inclusión en la formulación garantiza un aumento en la calidad del pan, aporta valor nutricional, mejora textura y da mejor color a la corteza. En México en los últimos años se ha tratado de trabajar con sustitutos de leche debido a la mala calidad de la leche nacional, sus altos costos y constantes desabastos. Sin embargo, a pesar de que estos sustitutos traen algunas ventajas, sus elevados costos son un impedimento muy fuerte para su empleo constante, además de no poder igualar todos los beneficios de la leche. La presentación más solicitada en las industrias es la leche en polvo descremada (3,4,19,58).

Otro de los derivados de la leche que ha sido utilizada con bastante frecuencia ha sido el suero de leche, el cual es un subproducto de la fabricación de quesos. En cuanto al color de la corteza el suero produce un color más pronunciado debido al elevado contenido de lactosa, el cual al ser reductor incrementa las reacciones de oscurecimiento (4,17,19).

El valor nutritivo de la leche es una de las principales razones de su uso en productos de panificación, ya que complementa el aporte que hace la harina de trigo en lo que se refiere a la lisína la cual es mucho más abundante en la leche. La leche descremada en polvo contiene una mayor cantidad de riboflavina y minerales en comparación con la que aporta la harina blanca.

Tiene acción estructurante al tener un efecto enlazante sobre las proteínas de la harina con lo que se retiene agua durante el horneado, manteniendo una miga suave y fresca en el pan durante el anaquel.

2.2.3.4 Sustitutos de leche

En los últimos años se ha intensificado el uso de sustitutos de leche, los cuales están formados principalmente de suero y de otros sustitutos parciales de leche con los que se realizan mezclas hasta lograr una aplicación específica. Actualmente hay sustitutos en polvo grado alimenticio los cuales son secados por aspersión para reemplazar a la leche en polvo descremada, estos productos pueden ser:

- ❖ suero
- ❖ Caseinato de sodio
- ❖ Leche descremada
- ❖ Lecitina
- ❖ -Fosfato de calcio

Estas mezclas poseen un sabor y olor normal, con una humedad del 3.8 % como máximo, un contenido de grasa de 2.5% y un contenido de proteínas de 2.8 % (26,59).

2.2.3.5 Inhibidores

Los inhibidores pueden ser químicos o naturales. Estos afectan el crecimiento de microorganismos, alterando sus membranas celulares, su actividad enzimática o sus mecanismos genéticos.

Cualquiera que sea el inhibidor usado debe cumplir ciertas características como son: ser efectivos a bajas concentraciones de pH del producto, no ser tóxicos para el consumo humano, no perjudicar las características de la masa y productos horneados como son el sabor y olor, ser de fácil manejo, solubles en agua y de costo razonablemente económico (5,7,58).

Los principales inhibidores utilizados en productos de panificación son los siguientes:

❖ *Propionatos*

Los tres más utilizados son el diacetato de sodio, el propionato de calcio y el propionato de sodio, estos dos últimos presentan aproximadamente el 75 % del total de los inhibidores usados en panificación, son usado en concentraciones del 0.1 % al 0.45 % dependiendo del producto

❖ *Sorbatos*

El sorbato de potasio y el ácido sórbico han sido muy utilizados en pasteles, pays, rellenos para pays y panque con frutas. El ácido sórbico es un ácido graso insaturado mucho más efectivo que los ácidos grasos saturados ya que tienen un poder inhibitor tres o cuatro veces mayor. Sin embargo, debido a la disociación que presentan en pH's alcalinos no puede usarse para inhibir el desarrollo de hongos, pero en productos con pH's ácidos su amplio uso se recomienda a niveles de 0.03 % a 0.125 % tomando como base el peso total de la masa.

❖ *Benzoatos*

Es la sal de sodio del ácido benzoico (benzoato de sodio). Se usa más frecuentemente debido a la poca solubilidad del ácido libre, tiene la desventaja de ser relativamente ineficaz a pH próximo a la neutralidad siendo su efecto más notable al aumentar la acidez del medio a niveles del 2.5 a 4.0 (3,4,5,7,18,35,58).

2.2.3.6 Vitaminas

Las vitaminas son compuestos orgánicos necesarios para el desarrollo fisiológico de un organismo. Se requieren en cantidades muy pequeñas y cumplen funciones catalíticas específicas. Su carencia produce trastornos generales del crecimiento y afecta específicamente la estructura y función de diferentes órganos y tejidos (3,5,7,58).

Las vitaminas se clasifican por su solubilidad en; liposolubles (A, D, E, K) e hidrosolubles (complejo B) (5).

El pan es generalmente rico en carbohidratos, grasas y proteínas, es por eso que la adición de una mezcla vitamínica en la fórmula eleva su valor nutricional. Como la formulación de cada producto es diferente, la cantidad agregada varía en función de las disposiciones y requerimientos establecidos por la secretaria de salud.

2.2.4 Proceso de elaboración del pan

Los cambios que ocurren en la transformación de los ingredientes utilizados en la obtención de productos de panificación son muchos y muy complejos. En la actualidad se emplean diferentes tipos de procesos en el ámbito industrial, tales como el proceso de esponja-masa, esponja líquida, masas directas, masas en tiempo, etc.

La principal diferencia entre éstos, son las características finales del producto y la cantidad y tipo de equipo empleado para su procesamiento. Sin embargo, se pueden distinguir etapas que son comunes en la elaboración del pan, tales como: mezclado, modelado, fermentado, horneado, enfriado y empaçado,

A continuación se describen solo aquellas de mayor importancia desde el punto de vista del tema tratado en este trabajo.

2.2.4.1 Mezclado

El mezclado tiene la finalidad de incorporar todos los ingredientes hasta formar una masa homogénea y poder desarrollar las proteínas de gluten en una estructura tridimensional que imparta a la masa el grado deseado de elasticidad y plasticidad, para con esto obtener una retención del gas producido durante el proceso de fermentación (17,56).

El gluten en procesos como el de esponja-masa sufre un desarrollo bioquímico previo al mezclado, dicha estructura es la que dará las características de calidad tales como volumen de la hogaza, grano, miga, etc.

En la producción del pan, el mezclado inicia con una serie de cambios complejos e interacciones entre diversos componentes, haciendo que estos entren en íntimo contacto a través del trabajo mecánico, lo que finalmente resulta en una masa homogénea.

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

Se deben cumplir dos condiciones para que la masa producida tenga las propiedades deseadas:

- 1) Un balance adecuado entre los ingredientes de la fórmula.
- 2) Distribución homogénea de los ingredientes en toda la masa.

Los efectos físicos durante la fase de mezclado se pueden diferenciar en: incorporación, hidratación, levantamiento y desarrollo, después de la cual se puede sobremezclar la masa, perdiendo las propiedades funcionales de retención de los gases. Los marcados cambios en la apariencia y comportamiento durante el desarrollo de la masa son atribuidos a una alteración básica en las características del gluten (56).

La masa, a nivel molecular se puede ver como una red tridimensional compuesta de cadenas largas de proteínas unidas por varios tipos de enlaces químicos. El más significativo de entre ellos es el enlace covalente de sulfuro (-S-S-) el cual, a través de la reacción de intercambio disulfuro, sulfhidrilo, rápidamente se adapta a los requerimientos dinámicos impuestos por la acción de mezclado, el intercambio de enlaces disulfuro se cree que es iniciada por la reducción del grupo tiol, o sulfhidrilo (-SH) de los grupos -S-S- sobre los grupos -S-H en la proteína del trigo, un número limitado de grupos tiol es capaz de catalizar el

intercambio de grandes enlaces -S-S. La sola reducción al 7 % de los enlaces disulfuro en una masa han demostrado producir grandes cambios en las propiedades físicas (5).

Otros enlaces importantes son: enlaces de hidrógeno, hidrofóbicos, iónicos y fuerzas de Van der Waals. Los enlaces de hidrógeno están formados por numerosos grupos amino de residuos de glutamina presentes en la proteína del trigo, mientras que residuos no polares de aminoácidos como leucina y valina forman enlaces hidrofóbicos en presencia de agua (5,17).

Durante el mezclado el aire tiene diferentes efectos en la masa, ya que el nitrógeno del aire provee de bases para la formación de celdillas durante la fermentación y el producto horneado.

A través de su efecto oxidante el oxígeno del aire causa la desaparición de los grupos tiol de la harina y por lo tanto aumenta la resistencia de la masa a la extensión, disminuye su movilidad y su tiempo de mezclado.

Durante esta etapa es común la adición de algunos mejoradores de la calidad de la harina tales como: oxidantes, reforzadores, reductores, enzimas antienvjecimiento, etc.

2.2.4.2 Fermentación

La fermentación tiene como objetivo producir una hogaza ligera y aireada con aroma y sabor agradable. La fermentación 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.

Como resultado de la acción fermentativa de la levadura sobre los azúcares de la harina se obtiene:

- ❖ Producción de dióxido de carbono, que gasifica y levanta la masa.

- ❖ Producción simultánea de numerosos compuestos orgánicos, ésteres, compuestos carbonílicos, etc., que influyen en el aroma y sabor del pan.
- ❖ Modificación de las propiedades químicas de la masa que conducen a la “maduración” 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 presión de las mismas. Las propiedades viscoelásticas de la masa permiten la expansión de dichos alveolos para equilibrar la presión.

La masa crece como resultado de la retención del gas, esta capacidad la determinan las propiedades reológicas de la masa, que se ven modificadas favorablemente por los productos generados en la fermentación. El modo en que se desarrolla este efecto se desconoce, sin embargo, el pH asociado al tiempo de fermentación parece ser importante.

La suma total de reacciones y cambios que ocurren en la masa durante la fermentación se conoce como desarrollo o maduración. Una masa alcanza su punto óptimo de maduración cuando el gluten alcanza su máxima elasticidad y capacidad de retención de gas. El tiempo adecuado de fermentación puede determinarse controlando algunos factores como son el nivel de levadura, temperatura, humedad relativa y presión.

La velocidad de fermentación esta estrechamente relacionada a la temperatura. La levadura será más activa cuando la masa esta entre 26 y 29 °C. La humedad relativa mantiene la corteza de la masa húmeda y evita la formación de costras, granos y hongos en el producto final. En general se recomienda una humedad relativa del 75 al 80 % (56).

Frenado de la masa

Este procedimiento es más adecuado para repostería. Siempre se han de observar ciertas condiciones fundamentales:

1. El sistema de frenado ha de estar concebido de tal modo que reduzca, tan rápidamente como sea posible, la temperatura de la masa a 1.5 °C, con el fin de paralizar la actividad de la levadura. Si no se consigue así, tendrá lugar una maduración prolongada, con el perjuicio consiguiente para la estructura de la miga y la presentación de los artículos.
2. Se debe mantener una humedad de 85 %.
3. La temperatura del bloque de masa en el momento de la división no debe pasar los 24.5°C. Esta condición frecuentemente exige un aumento de 20 % en la levadura de la masa.
4. Cuando se necesite hornear el producto se sacan las bandejas de la cámara de refrigeración y se colocan en otra cámara de maduración con vapor, donde sufren la maduración final. Esto debe hacerse a unos 37.5°C y con vapor suficiente para evitar la formación de costra. No se debe intentar forzar la maduración, que debe tardar hasta 45 minutos; tiempos más cortos producen ampollas, particularmente en barras.
5. La pasta danesa se puede tratar del mismo modo, o bien se puede almacenar en bloque y trabajaría según se va haciendo falta. En este caso, debe dejarse la masa al ambiente de la panadería durante cierto tiempo para que suba la temperatura antes de continuar con el proceso. Se encontrará que esta masa es más fácil de manipular y que dará productos de mayor volumen y más ligeros al paladar.

Al sacar de la cámara de refrigeración las piezas, se deben dejar al ambiente durante 15 minutos y luego se pasan a la cámara de maduración a 29.5°C, con vapor suficiente para mantener húmeda la superficie. La maduración final debe ser lenta, pues si no se producen ampollas y la corteza puede resquebrajarse al enfriarse el pan (10).

2.2.4.3 Fresado

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 distribución del gas producido, redistribuir la levadura y sus nutrientes, acelerar la fermentación y uniformar la producción de gas. En algunos procesos como el de masa directa es común dar uno o dos fresados a la masa durante el periodo de fermentación.

2.2.4.4 Modelado

El modelado se puede considerar en varias subetapas.

a) División

La división es el primer paso en el manejo de la masa después de fermentada, consiste en cortar la masa en piezas individuales del tamaño deseado.

En esta operación es muy importante el control del peso de la pieza, las divisoras automáticas lo hacen en base al volumen en tanto la densidad se mantenga constante, por ello es importante también realizarla lo más rápido 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 por minuto (13,17,56).

b) Boleado

El boleado prepara a la masa para que después del reposo en la cámara de fermentación se pueda moldear fácilmente; con el se favorece la formación de una piel delgada alrededor de la pieza, que minimiza la difusión del gas al exterior, reorienta la estructura del gluten para mejorar la retención del gas, y al darle una forma esférica facilita el manejo de la masa en las etapas subsecuentes.

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

c) Periodo de prueba intermedia

Consiste en dejar reposar la masa que ha sido dividida y boleada. El tiempo de reposo es de aproximadamente 30 minutos a una temperatura de 27 a 29 °C y con una humedad relativa de 75-85 %. Durante este periodo la levadura permanece activa produciendo bióxido de carbono que vuelve a aerear la masa, haciéndola más dócil. De esta manera la masa se

recupera del daño sufrido en el boleado, una masa relajada no se rasgará ni encogerá y será más fácil de trabajar.

d) Modelado

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

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

2.2.4.5 Periodo de prueba final

Consiste en dejar la masa en charolas por espacio de 45-60 minutos de 35 a 41 °C y una humedad relativa de 80-85%. Durante este periodo la levadura continua produciendo gas permitiendo que la hogaza vuelva a aerearse y aumente de volumen. Esta operación es importante, ya que después del moldeado, la masa es severamente castigada y prácticamente no contiene gas, si se hornea de inmediato producirá un pan con volumen pequeño, grano denso y textura áspera.

Cuando la masa sale de la cámara de vapor, se puede detectar si todavía tiene fuerza para crecer la última etapa en el horno y si el color será adecuado ó pálido dependiendo de la corteza, esto está correlacionado directamente con la calidad y fortalecimiento de la harina. Si ésta es tersa, brillante y no pegajosa la masa se encuentra en óptimas condiciones para el horneado. Si por el contrario aparecen ampollas se dice que la masa está “picada” o sobrefermentada y por lo tanto, débil, no crecerá adecuadamente en el horno, las celdillas estarán colapsadas y el color será pálido. La estabilidad de la harina determina la cantidad de

sobrefermentación o rudeza de manejo, y es en esta etapa y durante el horneado donde más se puede observar la funcionalidad de la harina y de los aditivos o reforzadores (10).

2.2.4.6 Horneado

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

El proceso de cocción de las piezas de masa consiste en una serie de transformaciones de tipo físico, químico y biológico, con lo que se obtiene un producto comestible y de excelentes características sensoriales y nutritivas.

El calor se propaga del ambiente hasta el interior del producto por convección, radiación y conducción, estableciéndose un gradiente de temperatura entre el ambiente y el interior del producto. Se genera un movimiento del interior hacia el exterior, de moléculas de agua, que al llegar a la superficie se evaporan, por lo cual la temperatura en el producto tiende a disminuir hacia el interior, además de que se va formando una capa natural de aislamiento térmico por el aire retenido dentro de la masa (13,56).

Durante la cocción, además de la evaporación del agua, también ocurre la volatilización de todas aquellas sustancias que tienen una temperatura de evaporación inferior a los 100 °C tales como alcohol etílico y sustancias aromáticas (aldehídos, éteres, ácidos, etc.) que se forman tanto en la fermentación como en la cocción (56).

Debido a la expansión del gas y al aumento de la tensión de vapor del agua durante el horneado, la masa desarrolla un volumen máximo después de 5 a 10 minutos de haberse introducido en el horno, la cual varía con el peso, la forma y calidad de la masa.

El desarrollo de la masa durante el horneado está relacionado con tres factores:

1. Elasticidad
2. Concentración del gas y resistencia de la masa, y
3. La capacidad de retención

También, el desarrollo del pan depende de la calidad y cantidad del gluten, la cantidad de azúcares reductores por su capacidad para formar gas, la cantidad de levadura, sal y de otros ingredientes tales como la grasa y el azúcar; otros parámetros tecnológicos como la temperatura y velocidad de cocción, características de las piezas, ciclo de elaboración y duración de la fermentación, tienen importancia en la obtención de un volumen óptimo del pan.

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

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

La temperatura de cocción reduce notablemente la cantidad de tiamina (B₁) y la riboflavina (B₂) en el pan. El almidón sufre cambios estructurales durante la cocción, pasando de un estado de suspensión a un gel para posteriormente ser fijado por la pérdida de agua, generando la estructura interna conocida como miga del pan. Sobre la superficie del pan, la temperatura más alta provoca el proceso de dextrinización y caramelización de los azúcares y aminoácidos presentes. Además, se elimina el gas acumulado en la masa y hay pérdidas de sustancias volátiles y aromáticas como los alcoholes, éteres y todos aquellos productos derivados de la reacción de Maillard con lo que se forma el aroma característico del pan. En la

tabla 4 se resumen todos los cambios que ocurren durante la etapa de horneado del pan de acuerdo con la temperatura interna de la hogaza (5,13,17,52,56).

Tabla 4. - Fenómenos físicos y químicos durante el horneado del pan

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

Quaglia, G. (1991) Ciencia y Tecnología de la Panificación. Editorial Acribia. España (58)

2.2.4.7 Enfriamiento

En el momento en que el pan sale del horno, el siguiente proceso que se desarrolla es el enfriamiento, y es en este punto en donde por primera vez se puede hacer una evaluación o inspección de la calidad considerando al pan como un producto terminado.

El enfriamiento es una etapa mucho más importante de lo que normalmente se piensa y afecta la calidad de los productos en forma importante. Cuando el pan deja la cámara del horno, el almidón no se encuentra aún solidificado debido a que está en forma de una masa gelatinosa, la grasa está en forma líquida y mucha humedad aún está en proceso de evaporación. Por lo tanto el pan no presenta una estructura lo suficientemente rígida por lo que podría causarle daños si se pretendiera manejarlo en ese momento (3,4,62).

A medida que el pan sale del horno empieza a disminuir su temperatura interna y externa tratando de igualarse con la del medio ambiente, lo cual está en función tanto del tiempo como del tipo de enfriamiento que se le dé. El enfriamiento puede producirse en forma natural dejando el producto expuesto al medio ambiente o puede ser inducido.

La contaminación microbiológica es uno de los problemas de calidad que más frecuentemente se presentan en los productos que son envueltos en películas plásticas. Estos se originan por el inadecuado proceso de enfriamiento. Debido a que al ser envueltos a una temperatura muy alta en la que la humedad aún se está evaporando, se origina condensación del agua dentro de la envoltura favoreciendo el desarrollo de microorganismos, por lo que hay que asegurar que el producto alcance una temperatura interna de entre 30 a 32 °C antes de proceder a su envoltura (3,4,30).

2.2.4.8 Envasado

Una de las cualidades más importantes que debe poseer el envase de estos productos es el de conservar el producto con el contenido de humedad prefijada para el mismo, esto es: evitar que exista una transmisión del vapor de agua ya sea del producto al ambiente causando

el secado del producto o bien del ambiente al producto causando que éste capte humedad. Evitar un intercambio de vapor de agua dará, por tanto, un alargamiento en la vida del producto en el mercado, reduciendo así las quejas por problemas de productos envejecidos, secos, desmoronables, húmedos, rancios y contaminados (42,49,62).

2.2.5 Envejecimiento del pan

La vida de anaquel del pan está definida por la velocidad del envejecimiento, y éste dependerá de la formulación, proceso, empaque, condiciones de almacenamiento, etc. La vida de anaquel de los productos dulces de panificación es de aproximadamente de 10 días, sin embargo, varía de acuerdo a cada formulación (16,21).

El pan a la salida del horno presenta una corteza crujiente y con una miga mórvida, elástica, húmeda y que no se desmorona. Con el paso del tiempo, estas características sufren cambios y mientras la corteza tiende a ablandarse, y después a endurecerse, la miga se desmorona y después se endurece. Al conjunto de estos cambios se le conoce con el nombre de endurecimiento del pan.

Las causas de este proceso pueden ser muy variables y en parte a aún desconocidas. *Durante la conservación, en la superficie del producto se produce una evaporación de la humedad que inicialmente ablanda la corteza para después endurecerla* (58).

Los factores que determinan el envejecimiento del pan son múltiples, dentro de los cuales, se encuentra la migración de la humedad, la evaporización del agua y la retrogradación del almidón.

Con el objeto de retardar el endurecimiento se pueden utilizar diferentes ingredientes como es el azúcar invertido, el sorbitol, grasas especiales para la panificación y el suero de la leche, jarabe de glucosa, dextrina comercial, harina de malta, extracto de malta, emulsificantes, harina de soya, etc. (52,58).

Los monoglicéridos de ácidos grasos tienen un efecto suavizante en el pan. Al parecer, estos compuestos alteran la tensión superficial entre la grasa y el agua, aumentando el coeficiente de dispersión de la grasa, dando como resultado un grado de dispersión de la grasa más fina (52).

El endurecimiento eventualmente causa que el producto no sea aceptado por el consumidor. Se estima que el 3-5 % de todos los productos de panificación elaborados en Estados Unidos, no sean aceptados por la pérdida de frescura; esta pérdida de frescura puede llegar a exceder el billón de dólares por 30 billones de productos de panificación en 1990. Es obvio que, el prolongar la textura de los productos de panificación, es un beneficio tanto para el consumidor como para el productor (15,32).

El mecanismo de endurecimiento se debe a una transición de almidón de una estructura amorfa a un estado cristalino, tal y como se muestra en la figura 6. La humedad se vuelve a distribuir en el producto durante este periodo de transición (11).

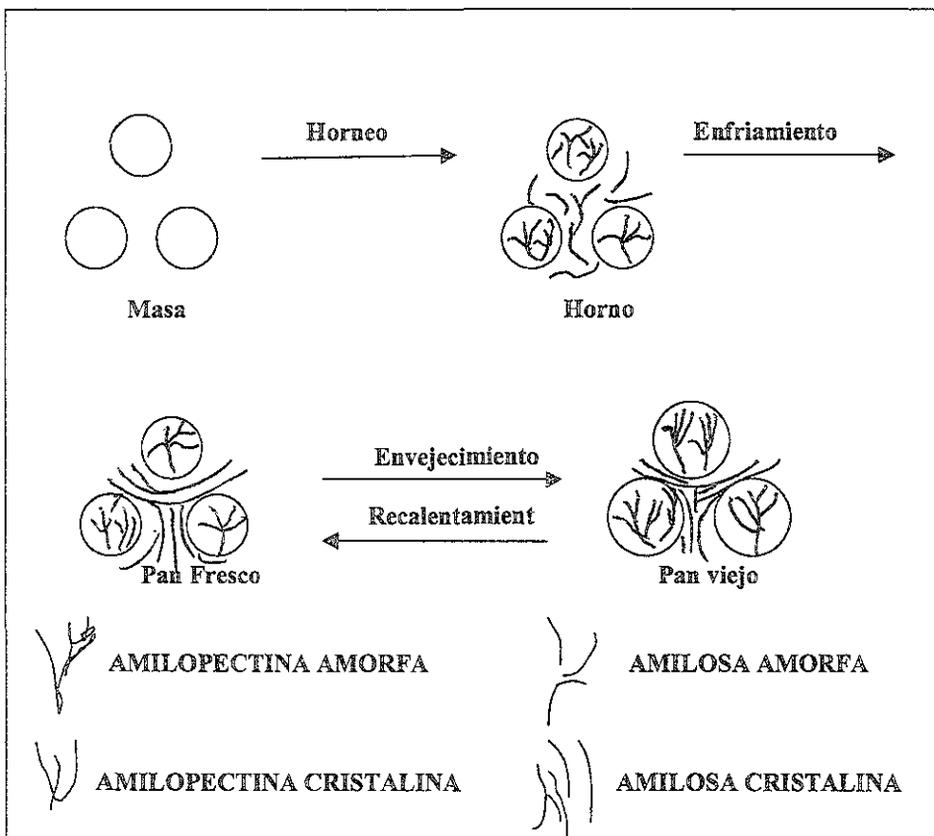
El aumento en la cristalización de los componentes del almidón es causado por una asociación intermolecular de hidrógeno α -1-4. Su retrogradación es rápida dado a que su estructura es lineal, la amilopectina es la fracción ramificada con enlaces α -1-6; su estructura interfiere con la alineación molecular por lo que su retrogradación es más lenta (51).

Durante el homeado los granulados de almidón absorben agua, aumentando así su volumen, y, por lo tanto la gelatinización no se realiza totalmente debido a la poca cantidad de agua presente. Conforme los gránulos absorben humedad por acción del calor, causan que la amilosa se difunda de los gránulos a un espacio intersticial. Estas moléculas lineales solubles retrogradan rápidamente y forman una red. La característica de la estructura del pan que se forma durante el enfriado es causado por la asociación de la amilosa.

La amilopectina permanece en el gránulo de almidón y retrograda lentamente durante el almacenamiento del producto. La retrogradación ocurre por una asociación intermolecular

de las fracciones lineales. Conforme aumenta la retrogradación se forma lentamente una estructura tridimensional, causando así el endurecimiento (58).

Figura 6 Proceso de envejecimiento del pan



Fuente: Kulp K. Staling of bread. AIB. 1979. 8:4.

Los factores que controlan este endurecimiento son el tiempo, la temperatura, la humedad y la presencia de aditivos como surfactantes. El grado de endurecimiento indica una respuesta en el tiempo que se puede disminuir, manteniendo la mayor cantidad de humedad posible en el producto, almacenándolo a temperaturas bajas. La refrigeración promueve el endurecimiento, ya que el grado de retrogradación es óptimo a esas temperaturas (11).

2.2.5.1 Principales aspectos de envejecimiento del pan

La gran mayoría de los intentos que se hicieron en el pasado para controlar el endurecimiento, se limitaba a la utilización de sustancias conservadoras de la humedad que actuaban en el pan terminado. El endurecimiento no solo depende de la cantidad de humedad presente; es decir, la pérdida de 2-3 % de humedad no puede ser responsable de la sequedad o solidez que presentan las diferentes variedades de pan duro.

Se puede decir que el pan ha envejecido cuando la miga está seca y se desmorona, exige mucha saliva para deglutir y no da la sensación de que se disuelve a su paso por la boca. Estas particularidades del envejecimiento se suman a las del sabor, que en el pan reciente puede calificarse de dulce, y en el pan envejecido de insípido.

Los aspectos principales del envejecimiento del pan son los siguientes:

1. Envejecimiento de la corteza
2. Envejecimiento de la miga, que incluye:
 - a) Envejecimiento químico
 - b) Aparición del desmoronamiento.
 - c) Aparición del endurecimiento.

Se puede considerar que la aparición de desmoronamiento y de endurecimiento, constituye el envejecimiento físico, que depende del químico, pero que aparece en una etapa posterior.

- 3 La cualidad de conservación es afectada por el envejecimiento de los modos siguientes:
 - a) Pérdida de aroma y sabor.
 - b) Aparición en el paladar de la sensación de sequedad.
 - c) Dureza y facilidad para desmoronarse la miga en el momento de consumirla.
4. Pérdida de humedad. Esta es importante solamente cuando el pan tiene ya varios días.

2.2.5.2 Envejecimiento de la corteza

Es motivada por la higroscopicidad de la corteza. La presión de vapor de agua en la corteza del pan es casi tan alta como la del agua pura, de modo que el agua se evapora fácilmente de la corteza al ambiente y es retenida parcialmente por la corteza, si no hay una ventilación adecuada en el almacén. Esto produce una corteza blanda y húmeda, frecuentemente correosa.

La causa principal del envejecimiento rápido de la corteza depende de un mal almacenamiento debido a una atmósfera húmeda, y una ventilación no adecuada. Lo mismo puede ocurrir si el pan se empaqueta antes de haberse enfriado totalmente.

Es necesario controlar la humedad durante el almacenamiento del pan, pues si la humedad relativa supera el 75 %, algo de humedad es absorbida por el pan. Las variaciones de temperatura también pueden producir dificultades, ya que un rápido enfriamiento del aire puede producir una condensación de humedad en la superficie del pan, por lo que la humedad se absorberá.

Los factores principales que ayudan a la conservación de la corteza en estado crujiente, son:

- a) Utilización de harinas adecuadas para cada procedimiento.
- b) Fermentación correcta de la harina
- c) Cocción correcta y desecación correcta de la corteza
- d) Condiciones de almacenaje del pan.

2.2.5.3 Envejecimiento de la miga

J.R. Katz y otros investigadores han demostrado que en el envejecimiento del pan se producen alteraciones en la molécula del almidón y que la proteína es afectada principalmente

por el agua liberada por el almidón. Estas alteraciones se han demostrado gracias a investigaciones de la estructura del almidón por medio de rayos X.

Si se calienta con agua el almidón se gelifica. Al cocer el pan no hay agua suficiente para que se gelifique completamente todo el almidón de la masa. Sin embargo, hay lo suficiente como para producir lo que se llama “gelificación de primer grado”, en cuyo estado las celdillas de almidón se hinchan fuertemente y contienen 50 % de agua. Este almidón hinchado se puede considerar como la condición de todo el almidón de pan reciente. Poco tiempo después de haberse enfriado, el almidón que esta en su estado muy inestable, empieza a ceder el agua, las celdillas se encogen, se endurecen, se hacen menos elásticas y más secas. Esta es la situación en la que se encuentra el pan envejecido. Al calentar, el almidón reabsorbe el agua exudada y de nuevo se hinchan las celdillas, se ablandan y se hacen más elásticas, volviendo a la situación en la que estaban cuando el pan era reciente; así, el pan envejecido vuelve a adquirir las propiedades del pan recién cocido (ver figura 5).

Este proceso como hizo observar Boussingaut, es reversible y constituye un ejemplo de sinéresis. Dicha palabra describe la condición variable del almidón durante el envejecimiento del pan como se observa en cualquier muestra de engrudo de almidón espeso.

La retracción de celdillas de almidón en la estructura del gluten del pan que se producen durante el envejecimiento, ocasiona el endurecimiento y la facilidad para desmoronarse, las cuales están asociados al pan envejecido. Se ha visto que el pan con estructura fina y uniforme tiene una gran dependencia con el grado y rapidez del envejecimiento. Esto, a su vez, indica la importancia que tiene la producción de pan con buenas condiciones de conservación, donde la masa haya sido trabajada y fermentada adecuadamente.

No se sabe si toda el agua liberada por el almidón es absorbida por el gluten o si se mantiene en el pan por capilaridad. Otros factores que intervienen en el envejecimiento de la miga son:

- ❖ El tipo de gluten desarrollado en la masa.

- ❖ El tipo de fermentación alcanzado por la masa
- ❖ El grado de absorción de agua durante el amasado

El grado de cocción alcanzado por la gelificación de la mayor cantidad posible de almidón. El pan de buena calidad siempre se conservará fresco durante un periodo de tiempo mayor que el pan que, inicialmente, es ya de calidad mediocre.

El almacenamiento del pan a temperaturas por debajo del punto de congelación retrasa el envejecimiento químico, y cuanto más baja es la temperatura utilizada mejor es el resultado. Se ha establecido que -15°C es una temperatura muy adecuada. Pero cuando este pan recobra la temperatura ambiente pronto envejece, como de costumbre.

En lo que se refiere a la pérdida de humedad por el pan después de salir del horno, Wimper da a conocer los resultados observados y deducidos de sus numerosos experimentos, como sigue:

1. El enfriamiento del pan tiene lugar en dos etapas:
 - a) Periodo de vapor, durante el cual tiene lugar la mayor parte de la desecación.
 - b) Periodo de condensación, durante el cual la desecación es solamente la quinta parte del periodo de vapor.
2. La pérdida de humedad en el centro de pieza no tiene un efecto muy marcado hasta las 100 horas, bajo condiciones ordinarias, pero es frecuente observar un aumento durante este tiempo.
3. Hasta las 100 horas la zona de desecación de una pieza es muy estrecha, unos 25 mm desde la corteza exterior. Después de 100 horas, la humedad se difunde gradualmente del interior de la pieza, pero a una velocidad tan lenta que siempre hay una diferencia entre la miga del centro y la exterior por debajo de la corteza.
4. La pérdida de agua durante el enfriamiento y desecación de la pieza no es la responsable del envejecimiento.

5. Durante el proceso de envejecimiento se produce un descenso en el extracto soluble que se tiene de la miga y sigue, después de cierto tiempo, un aumento (10).

2.3 La Textura

2.3.1 Importancia de las propiedades de la textura

En los alimentos existen cuatro principales factores de calidad, como son:

1. Apariencia.- comprende el color, la forma, el tamaño, el brillo, etc., esta basada en las propiedades ópticas y en la manifestación visual del tamaño y de la forma.
2. Sabor.- comprende al gusto (percibido en la boca) y al olor (percibido en el centro olfativo de la nariz).
3. Textura.- es la responsable del sentido táctil y del estímulo físico que resulta del contacto entre una parte del cuerpo y la otra del alimento.
4. Nutrición.

Existen otros factores, tales como el costo, conveniencia y empaque que también son importantes.

Pero no son considerados como factores de calidad en los alimentos. Los tres primeros factores mencionados se denominan como factores de aceptabilidad sensorial, ya que se perciben directamente por los sentidos. En cambio la nutrición no es percibida por los sentidos.

Los factores de aceptabilidad sensorial de los alimentos son extremadamente importantes, debido a que la gente disfruta del comer.

La importancia de la textura en la aceptación de los alimentos varía ampliamente del tipo de alimento. Por sus diferencias podríamos agrupar a los alimentos en tres grupos:

1. Críticos.- incluyen a aquellos alimentos en los que la textura es la característica de calidad predominante; por ejemplo, carne, botanas como papas y snacks.
2. Importantes: incluyen a aquellos alimentos en los que la textura es significativa pero no predominante en la calidad total del producto. De igual manera pasa con el sabor y la apariencia.
3. Menores: en este tipo de alimentos la textura pasa a un segundo plano al evaluar la calidad de un producto; por ejemplo la mayoría de las bebidas y sopas ligeras.

Sin embargo, la importancia de la textura dentro de los factores de calidad de los alimentos, puede ser afectada por la cultura.

2.3.2 Definición de textura

Es difícil definir este término, ya que puede significar diferentes cosas para la gente, la textura en alimentos se refiere a la estructura en cuanto a su distribución, calidad y forma.

La textura en el pan se refiere a la uniformidad de la superficie o costra y a la distribución en el tamaño de la miga, pero se puede agregar también la suavidad o la dureza del mismo.

A pesar de existir un gran número de definiciones, no del todo completas para el caso de alimentos, se puede decir que la textura posee las siguientes características:

- ❖ Es un grupo de propiedades físicas que se derivan de la estructura del alimento.
- ❖ Pertenece a las características físicas mecánicas o reológicas.
- ❖ Consta de un grupo de propiedades, no es una sola propiedad.
- ❖ La textura es percibida por el sentido del tacto, comúnmente el bucal, pero otras partes del cuerpo pueden ser involucradas, como por ejemplo las manos.
- ❖ No está relacionada con los sentidos químicos del sabor y olor.
- ❖ Posee medidas objetivas.

En la tabla 5 se muestran las relaciones entre parámetros de textura y la nomenclatura popular

Tabla 5 Términos comunes de textura

CARACTERÍSTICAS MECANICAS PARAMETROS PRIMARIOS	PARAMETROS SECUNDARIOS	TÉRMINOS POPULARES
Dureza	Fracturabilidad	Suave→Firme→Duro
Cohesividad	Masticabilidad	Crujiente→Crunchy→Esponjos
	Gomosidad	Tierno→Masticable→Tieso
		Poco gomoso→Medio gomoso
		Pastoso→Gomoso
Viscosidad		Fluido→Viscoso
Elasticidad		Plástico→Elastico
Adhesividad		Pegajoso

Bourne, M.C.. (1982) Food Texture and Viscosity. USA. Academic Press INC(8)

Varios de los procesos a los que se han sometido los alimentos están dirigidos al cambio de sus propiedades en cuanto a textura, generalmente en la dirección del debilitamiento de la estructura con el objeto de hacerlos más masticables. El trigo se puede comer como grano, pero es difícil de comer. Es por eso que la estructura del grano de trigo es destruida para transformarla en harina de trigo, la cual puede ser preparada y horneada para producir pan y así tener una estructura completamente diferente a la del grano (8).

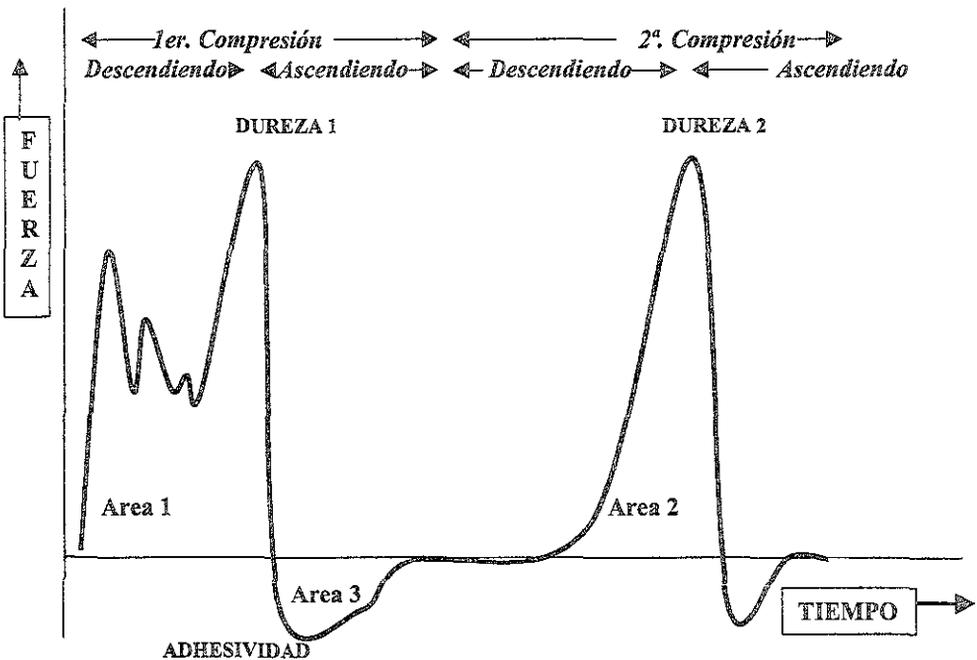
2.3.3 Análisis del perfil de textura (TPA)

El análisis de perfil de textura (TPA) es una prueba que consiste en comprimir dos veces un pedazo de alimento con un movimiento similar a la acción de la quijada, y, como resultado se obtiene una curva de fuerza vs. tiempo, en donde los diversos parámetros se pueden correlacionar con la evaluación sensorial.

En la figura 7 se muestra una curva típica que de un texturómetro durante la prueba de TPA (8,9).

La altura del pico de fuerza durante la primera compresión, que equivale a la primera mordida, está definida como dureza. La fracturabilidad está definida como la fuerza del rompimiento en la curva en la primera compresión. El radio de las áreas de fuerzas positivas sobre la primera y segunda compresión se ha definido como cohesividad. El área de fuerza negativa de la primera mordida o compresión que representa el trabajo necesario para jalar el émbolo de la muestra se denomina adhesividad. La distancia en la que el alimento recobra su altura entre el final de la primera compresión y el principio de la segunda se llama elasticidad o resorteo.

Figura 7. Gráfica típica de un texturómetro



Fuente: Hammed Faridi, (1990) Dought rheology and Baker Product texture. AVI Book NY. (29).

Existen otros dos parámetros que se derivan del cálculo de los parámetros de medición, y son: gomosidad, definida como el producto de la dureza por la cohesividad y la masticabilidad que esta definida por el producto de la gomosidad por la elasticidad (lo cual es dureza x cohesividad x elasticidad).

Los parámetros de medición de textura sensorialmente tienen el siguiente significado:

- ❖ **Dureza:** es la fuerza requerida para comprimir una muestra entre los dientes molares (para sólidos) o entre la lengua y el paladar (para semisólidos) ante una deformación o penetración dada.
- ❖ **Cohesividad:** Es la extensión de la deformación de una muestra antes de su ruptura.
- ❖ **Elasticidad:** El grado de recuperación después de una fuerza deformadora; o bien, el rango en que un material deformado recobra su condición original al retirar la fuerza deformadora.
- ❖ **Masticabilidad:** La cantidad de tiempo o el número de masticaciones requeridas para poder tragar un alimento sólido
- ❖ **Gomosidad:** La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido y poder ser tragado (44).

La textura puede ser medida por diferentes tipos de texturómetros, cuyo fundamento prácticamente es el mismo, es decir, la simulación o imitación de los movimientos de la masticación.

Entre los texturómetros más comunes se encuentran: el Instron, el GF Texturometer (General Foods Texturometer), el Texture Analyzer, etc. (8,9).

2.2 Gomas

2.4.1 Gomas de uso alimentario

El término gomas se usa para referirse a un vasto grupo de polímeros hidrocoloides de cadenas largas y alto peso molecular, que se pueden dispersar o disolver en agua fría o caliente produciendo un aumento de la viscosidad, obteniendo un efecto gelificante o espesante.

Originalmente las gomas se consideraban como productos de exudación de plantas, sin embargo, actualmente dentro de este grupo se incluyen muchos polímeros sintéticos.

Los hidrocoloides tanto naturales como sintéticos se utilizan ampliamente en la industria alimentaria para muchos productos, en concentraciones que varían de 0.05 hasta 5 % (5,69).

2.4.1.1 Selección de gomas para productos alimenticios

La selección recomendable de una goma para una formulación específica puede basarse en la comprensión de sus propiedades físicas y químicas así como de interacciones sinérgicas con otros hidrocoloides o compuestos del alimento.

En general, los principios que guían para escoger un espesante o gelificante se sitúan a diversos niveles entre los que se sitúan; en el ámbito organoléptico, mas bien desde el punto de vista de la apariencia que de la textura del alimento y en el ámbito de la reglamentación, puesto que no todos los hidrocoloides están autorizados (73).

2.4.1.2 Funciones de las gomas hidrosolubles usadas en productos de cereales

Las gomas son muy útiles en la industria alimentaria en una gran cantidad de productos. Bajo condiciones apropiadas pueden funcionar como adhesivos, espesantes, emulsificantes, ligadores de agua y lubricantes (69).

Las propiedades funcionales de las gomas son afectadas por el tamaño molecular, orientación de sus moléculas, formación de puentes de hidrógeno, enlaces iónicos (uniones iónicas), tamaño de partícula, temperatura, concentración, las interacciones que tenga con otros constituyentes y muchos otros factores. En la industria de productos de cereales hay algunas aplicaciones típicas de las gomas como lo muestra la tabla 6 (69,73).

Tabla 6. - Funciones típicas de las gomas en productos de cereales y en materias primas empleadas en su elaboración

FUNCION	PRODUCTO	EJEMPLO
Adhesivo	Frituras de maíz, barras de granóla	Goma Acacia
Agente Encapsulante	Saborizantes secados por aspersión para bocadillos	Goma Acacia
Emulsificante	Bocadillos horneados, pan danés	Tragacanto
Aditivo para fibra	Granola, Frituras de maíz	Goma Acacia Guar
Formación de película	Cubierta de nueces para pastel	Derivados de celulosa Goma Acacia
Plastificante	Tacos suaves y dorados	Derivados de celulosa Guar
Extender proteína	Galletas y bizcochos con poco desarrollo de gluten	Carragenina-Alginato
Espesante	Salsas para fritura	Guar Xantana Pectina
Formación de una barrera de aceite	Bocadillos fríos	Derivados de Celulosa
Reemplazo de grasa	Bocadillos con carne bajos en grasa, sazonadores	Goma Acacia-Alginato
Ligar agua	Saborizantes de queso y extrudidos de maíz	Locust bean Xantana

Fuente: Ward, F.M. "Water-Soluble Gums Used in Snack foods", 1993 (73).

Los hidrocoloides son comúnmente adicionados a los productos de panadería para dar estabilidad en el anaquel por la retención de más agua y para retardar el envejecimiento. Sin embargo, la adición de hidrocoloides también afecta al proceso y las cualidades del producto. Por lo tanto debe encontrarse el equilibrio entre impartir estabilidad en el anaquel, buena eficiencia en el proceso y cualidades parecidas a una muestra sin hidrocoloides e incluso mejorarlas (70,59).

El uso de gomas solubles en agua como ingredientes en los productos de cereales probablemente aumente en el futuro. Las cantidades de gomas utilizadas para lograr los propósitos deseados son bastante bajas y por lo tanto no aumentan significativamente el precio del producto final.

Debido a su capacidad para retener cantidades importantes de agua y a sus propiedades reológicas producen diferentes beneficios a los alimentos a los que se añaden, incluyendo retención de agua, aumento de la vida de anaquel y una mayor estabilidad. Además, muchas gomas pueden calificarse como de origen natural y fibra cruda soluble, estas propiedades aunadas a la disminución de la grasa contribuyen a mejorar la imagen de los productos de cereales ante el consumidor (73).

2.4.2 Carboximetilcelulosa de sodio (CMC)

La goma carboximetilcelulosa de sodio se encuentra dentro de los hidrocoloides que presentan un alto consumo para fines alimenticios a nivel mundial. Esta goma se utiliza en una gran variedad de productos alimenticios como estabilizante o para retener agua. Las consideraciones importantes para su uso con relación a la legislación, son:

- ❖ que no se transforman en el organismo,
- ❖ que no tenga valor alimenticio y,
- ❖ se excrete sin modificaciones en las heces (46,69).

a) *Características de la carboximetilcelulosa de sodio*

La carboximetilcelulosa de sodio (CMC) es un hidrocoloide en polvo, derivado de la celulosa por síntesis química, mediante la introducción a su molécula de un número controlado de grupos carboximetil sódicos.

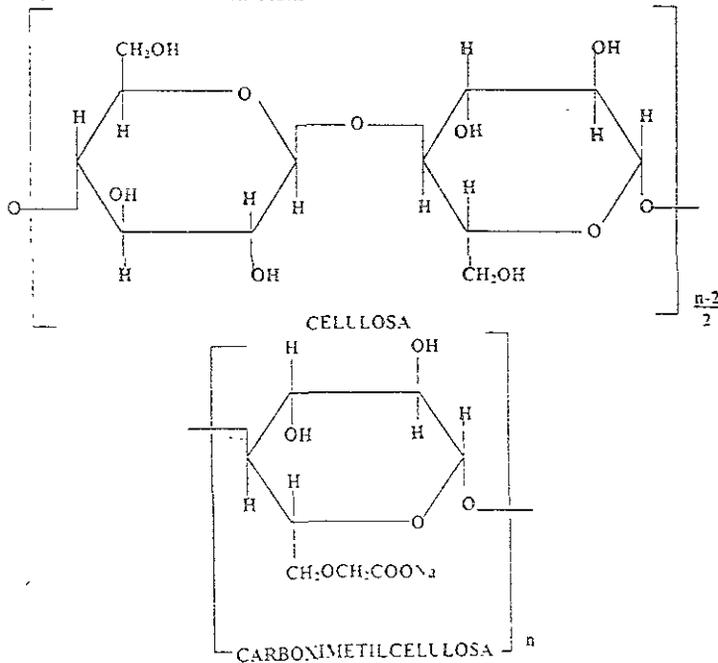
En la fabricación de carboximetilcelulosa de sodio, la celulosa purificada es tratada primeramente con hidróxido de sodio para hinchar las fibras y luego reacciona con monocloroacetato de sodio bajo condiciones rígidamente controladas. Teóricamente una reacción completa significa la introducción de tres grupos Carboximetil por unidad de anhidroglucosa, resultando un producto que tendría un grado de sustitución de 3. Para la aplicación de la carboximetilcelulosa de sodio en alimentos, el grado de sustitución esta limitado a un máximo de 0.9 (39).

b) *Estructura de la carboximetilcelulosa de sodio*

La estructura de la molécula de celulosa se observa como una cadena poliédrica compuesta de unidades de celobiosa (entre corchetes) dichas unidades están compuestas por dos unidades de anhidroglucosa (residuos de β -glucopiranosas) como lo muestra la figura 8. En esta estructura, n es el número de unidades de anhidroglucosa, las cuales están unidas a través de enlaces 1,4 glucosídicos, donde n representa el grado de polimerización de la celulosa.

La estructura de la CMC se muestra en la figura 8. El número promedio de grupos hidroxilo sustituidos por uniones anhidroglucosa se conoce como el grado de sustitución o GS. Si los tres grupos hidroxilos son reemplazados el máximo grado de sustitución teórico es de tres, lo cual es imposible en la practica, siendo que teóricamente el rango máximo de sustitución varia de 0.5 a 1.5. La carboximetilcelulosa de sodio (CMC) es un polisacárido lineal formado de uniones β -anhidroglucosa [D-glucosa β -(1-4)], la CMC tiene como origen botánico a la madera o el algodón (5).

Figura 8 Estructura de la celulosa v de la carboximetilcelulosa de sodio



Fuente: Ward, F.,M. and Andson S.A.(1993) Water soluble gums used in snack foods and Cereal products. Cereal Foods World. 38 (10) (73)

c) Solubilidad de la carboximetilcelulosa de sodio

Las características de solubilidad en agua de la carboximetilcelulosa de sodio dependen del grado de sustitución y de la distribución uniforme de los grupos carboximetil sustituidos en la cadena del polímero. Entre más uniforme es la distribución, las soluciones son mas tersas y menos tixotrópicas. Esta goma tiene en promedio un alto grado de polimerización por lo que produce soluciones de alta viscosidad. La CMC es soluble en agua e insoluble en solventes orgánicos como el alcohol y la acetona. Se pueden preparar soluciones de CMC con aumento en la viscosidad en solución en concentraciones desde 0.02 %. La excelente propiedad de absorción de agua de la CMC y su excelente habilidad para hidratarse en bases frías son dos factores para considerar su uso (39,41).

d) *Composición de la carboximetilcelulosa de sodio*

La carboximetilcelulosa de sodio se compone de polisacáridos pero puede contener trazas de proteínas, lípidos y sales minerales como se muestra en la tabla 7 (73).

Tabla 7 Composición química de la carboximetilcelulosa de sodio

COMPONENTE	CANTIDAD
Proteína (%)	0.0
Cenizas (%)	8.0
Fibra (%)	75.0
Sodio (mg/100 g)	8.000

Fuente: Ward, F.M. (1993) "Water-Soluble gums Used in Snack Foods"(73)

e) *Aplicaciones de la carboximetilcelulosa de sodio en alimentos de cereales*

Las funciones principales que la carboximetil celulosa de sodio en los productos alimenticios son las de estabilizante, espesante, absorción y retención de agua, como lo muestra la tabla 8 (69).

En el caso de los productos de cereales se ha encontrado una gran gama de aplicaciones para la CMC tanto para mejorar el producto como para ayudar durante el proceso. Por ejemplo, en el proceso de panificación la presencia de carboximetilcelulosa de sodio ejerce un efecto sinérgico en presencia de gluten de trigo; debido a que acelera la absorción de agua y el desarrollo del gluten, lo cual resulta en un menor tiempo de mezclado, aumento en la capacidad de retención de agua de las harinas y el volumen de las masas; durante el horneado aumenta el volumen y mejora la calidad del pan (69).

La presencia de carboximetilcelulosa de sodio puede retardar el endurecimiento en el pan, con lo que se alarga su vida de anaquel. El uso de carboximetilcelulosa de sodio puede

aumentar la retención de humedad al menos cinco días más y el pan o pastel que resulta es más suave. Se piensa que el efecto de la carboximetilcelulosa de sodio en el fenómeno de envejecimiento se debe a que la goma y el agua recubren los gránulos de almidón, haciendo más lentos sus cambios normales durante el proceso de endurecimiento del pan.

Tabla 8 Funciones principales de la carboximetilcelulosa de sodio en alimentos

Alimento	Función	Concentración (%)
Helado	Espesante, estabilizante	0.1-0.3
Bebidas de Frutas	Espesante	0.1-0.4
Leches agrias	Estabilizante	0.1-0.2
Mezclas para pastel	Retención de agua	0.2-0.4
Nieves	Espesante, liga agua	0.1-0.2
Bebidos	Espesante, estabilizante	0.2-0.4
Almíbares	Estabilizante	0.1-0.3
Mezclas secas para bebidas	Estabilizante	0.2-0.6

Fuente: Información Técnica de Ideal CMC. Carboximetil Celulosa de Sodio (31)

En las masas para donas de los tipos con o sin levadura la goma carboximetilcelulosa de sodio se utiliza a concentraciones de 0.25% para mejorar el rendimiento, disminuir la absorción de grasa, enfatizar la suavidad, mejorar la adherencia del glase y alargar la vida de anaquel (39,41).

2.4.3 Hidroxipropilcelulosa (HPC)

Como se ha mencionado anteriormente, los derivados de la celulosa son altamente usados para la preparación de productos alimenticios.

La hidroxipropilcelulosa de sodio, al igual que la carboximetilcelulosa de sodio son dos derivados celulósicos solubles en agua fría y desarrollan propiedades y funciones en

común. Sin embargo, su respectiva sustitución en los grupos carboximetil ó hidroxipropil imparten a cada uno de ellos, propiedades de solubilidad específica y en particular el comportamiento dependerá de los productos e ingredientes usados (27).

La hidroxipropilcelulosa es un éter de celulosa no iónico con remarcada combinación de propiedades características propias de otros polímeros de celulosa que también son solubles en agua. Estas combinan: solubilidad en solventes orgánicos, termoplasticidad y actividad superficial, como espesante y estabilizante

a) *Química*

La hidroxipropilcelulosa se obtiene de la reacción de celulosa en medio alcalino con óxido de propileno a temperaturas y presión elevadas.

El óxido de propileno puede substituirse en la celulosa, en los enlaces tipo éter correspondiente a los tres grupos hidroxilo a través de un enlace en los tres grupos hidroxilo

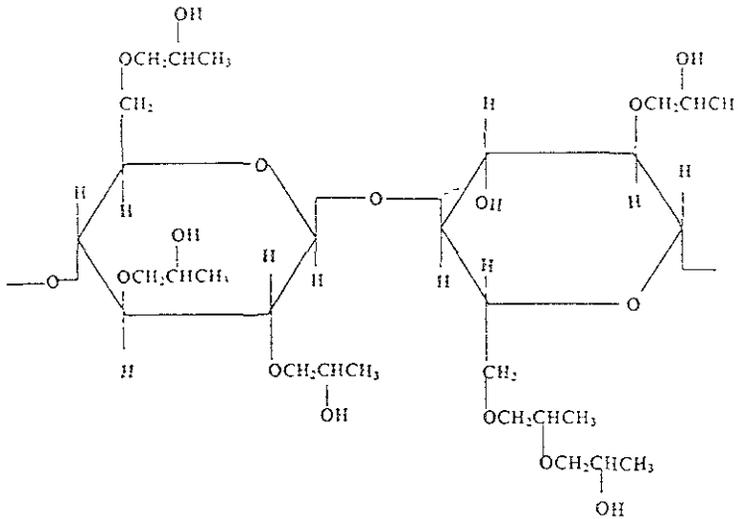
La esterificación toma lugar de tal modo que los grupos substituyentes hidroxipropil contienen solamente grupos hidroxilos secundarios.

El hidroxilo secundario presente en la cadena lateral esta disponible para reacciones posteriores con el óxido. Estos resultados en la formación de cadenas laterales contiene mas de una mol de oxido de propileno combinado.

Es probable que muchos de los hidroxilos primarios en la celulosa hayan sido substituidos y que los grupos reactivos que permanecen en la molécula son los hidroxilos secundarios

Una representación de una porción de la molécula de hidroxipropilcelulosa con una sustitución molar (MS) de 3.0 se muestra en la Figura 9. En la elaboración de HPC se utilizada celulosa de madera (27).

Figura 9 Estructura de la hidroxipropilcelulosa (MS 3.0)



Fuente: Información Técnica de Klucel (Hidroxipropilcelulose). Aqualon (40).

b) *Grados y tipos de viscosidad*

La hidroxipropil celulosa se produce en dos grados, dependiendo del tipo de uso.

- ❖ Grado estándar: para uso industrial.
- ❖ Grado alimenticio: para uso en alimentos, farmacéuticos y cosméticos (40).

c) *Aplicaciones en alimentos*

En la preparación de alimentos, CMC y HPC actúan como espesantes, estabilizantes, suavizantes, emulsificantes, retenedores de agua, protectores de coloides y asistentes en la obtención de la textura y consistencia deseada, mejorando las propiedades organolépticas. Así, gracias a estas funciones, la CMC y HPC pueden ser usadas en diferentes campos de la industria de alimentos.

- ❖ Alimentos congelados (helados y nieves)
- ❖ Productos de panadería
- ❖ Refrescos, sodas y jugos de frutas
- ❖ Productos lácteos (yoghurt, leches, mantequillas, etc.)
- ❖ Ensaladas y salsas
- ❖ Productos de crema batida (73).

d) *Propiedades*

1. *Dispersión y disolución de hidroxipropilcelulosa*

La hidroxipropilcelulosa es soluble en agua a temperatura ambiente e insoluble por arriba de los 45 °C. Soluble en disolventes orgánicos calientes o fríos. Otros factores que pueden modificar la solubilidad y la viscosidad de las soluciones de HPC son: temperatura, pH, contenido de sales, azúcares y otros polímeros, estos últimos compiten por el solvente disminuyendo la solubilidad del polímero (27,40).

La HPC es menos soluble en agua caliente que en agua fría. En solventes orgánicos la aplicación de calor acelera la velocidad, generalmente los mejores solventes orgánicos para HPC son: metil y etil glicol, propilenglicol y dioxano.

2. *Temperatura de precipitación en agua*

La temperatura de precipitación es de 40° a 45 °C siendo completamente reversible. Sin embargo, el polímero se redisuelve bajo enfriamiento por debajo de los 40 °C y en constante agitación, recobrándose así mismo la viscosidad original.

Las soluciones de HPC tienen una baja tensión superficial en comparación a las proporcionadas por la CMC a una concentración equivalente. Por lo que HPC es usada como emulsificante (27).

La compatibilidad del HPC con agentes surfactantes activos varía de acuerdo al agente y concentración del surfactante usado, así como del grado y concentración del HPC empleado.

El HPC es mas lipofílico en natural que otros derivados de celulosa. De acuerdo con esto, es compatible con un amplio rango de surfactantes aniónicos, no iónicos, catiónicos y anfotéricos.

3. *Efectos del pH*

Siendo que HPC es un polímero no iónico, y la viscosidad en soluciones acuosas no es afectada por los cambios en el pH. La viscosidad en las soluciones de HPC permanece invariable a pH de 2.0 a 11.

4. *Efecto de sales inorgánicas*

La compatibilidad de la HPC con sales inorgánicas disueltas en agua varía con el tipo de sal. A una concentración relativamente alta, la sal puede reducir la solubilidad de la HPC ocasionando un descenso en la viscosidad, así como también reducción en la temperatura de precipitación. El efecto de las sales es generalmente de menor importancia cuando la CMC Y HPC son disueltas primero en agua y posteriormente es adicionada la sal.

La solubilidad de la CMC y HPC puede ser también modificada por la adición de solventes o de otros productos como azúcares, almidones y otras gomas. Contrario a la CMC, la HPC es muy soluble en ciertos solventes como el etanol.

e) *Status regulatorio*

El grado alimenticio, designado como "F", es usado en alimentos, farmacéuticos y cosméticos. El grado alimenticio conforme a las especificaciones para HPC esta determinado en el Código de regulación Federal de los Estados Unidos, título 21, sección 172.870.

El HPC es un aditivo alimentario que promete servir en muchos y muy variadas funciones, excepto en ciertos alimentos estandarizados en cuyas definiciones regulatorias no está permitida la adición de HPC.

e) *Toxicología*

Pruebas toxicológicas indican que el HPC es fisiológicamente inerte.

2.4.4 Goma de mezquite (GM)

a) *Manufactura*

Los árboles de mezquite son originarios de México, existen 44 especies, de las cuales 42 se encuentran en el continente americano en dos grandes localizaciones: Norte América (México-Texas) y Sur América (Argentina-Paraguay-Chile), aunque el árbol de *Prosopis* también ha sido introducido en zonas áridas del este de la India, Australia, África y recientemente Hawái.

En Norteamérica el complejo está compuesto de 10 especies y todas ellas existen en México, de la cual la más abundante y estudiada es la especie *P. juliflora* la cual algunas veces se considera idéntica a *P. laevigata*. Estas especies crecen en las periferias del Océano Pacífico desde Sinaloa México hasta Panamá, en un medio ambiente de poca humedad hasta en áreas donde llueve mucho.

Muchas de las plantas que crecen en Norteamérica producen un exudado natural conocido como goma de mezquite (GM), que es diferente de la goma obtenida de la vaina del mezquite.

La goma de mezquite puede ser definida como “la exudación obtenida del tronco y ramas de la especie *Prosopis juliflora*, D.C. o especies relacionadas a la *Prosopis* (Fam. *Leguminosae*)”

Según la literatura consultada, la goma de mezquite es considerada como un sustituto de menor calidad que la goma arábica basándose solamente en las diferencias de color, lo cual no es suficiente éste parámetro para otorgarle esta clasificación. Por lo que en este trabajo se pretende aportar un estudio comparativo con otras gomas utilizadas en la industria de la panificación con el fin de alargar la vida de anaquel del pan y con base en los resultados obtenidos aportar datos que desmientan ó acepten dicha clasificación.

b) Recolección

Como la goma de mezquite (GM) es un exudado de los arboles de *Prosopis*, ésta crece en forma esférica con semejanza a una gota ó lágrima. La recolección de la goma es muy tediosa por ser una operación manual en condiciones ambientales extremas tales como baja humedad y alta temperatura. En México la recolección de la goma se lleva acabo en dos periodos. La primera es durante los meses de octubre-diciembre, y la segunda durante los meses de febrero-mayo.

c) Especificaciones

Los estándares mínimos de buena calidad para la goma de mezquite (GM) sugeridos por la Secretaria de Salud en México se muestran en la tabla 9.

d) Estado regulatorio.

La goma de mezquite (GM) ha sido utilizada desde tiempos precolombinos en México y los Estados Unidos, pero esta no es considerada como una sustancia GRAS.

Sin embargo, su uso en México ha sido aprobado por la Secretaria de Salud durante pruebas que confirman su no-toxicidad, además de la recomendación que hacen otras agencias de salud alrededor del mundo. Dicha autorización fue dada por un estudio toxicológico, que incluía la toxicidad y mutagenicidad en tres generaciones de ratas.

Los resultados del ensayo de mutagenicidad indican que la goma de mezquite (GM) no induce a ningún tipo de mutagenicidad, por lo que no presenta ninguna actividad carcinogénica.

Tabla 9 Especificaciones para la goma de mezquite

Algunas especificaciones para la goma de mezquite	
Arsénico	No más de 3 ppm
Cenizas (soluble en ácido)	No más de 0.5 %
Cenizas (total)	No más de 4.0 %
Metales pesados (como Pb)	No más de 0.003 %
Materia insoluble	No más de 1.0 %
Plomo	No más de 10 ppm
Pérdida y secado	No más de 15.0 %
Relación de otras gomas	No más de 2.0 %
Almidón o dextrinas	Pasa la prueba

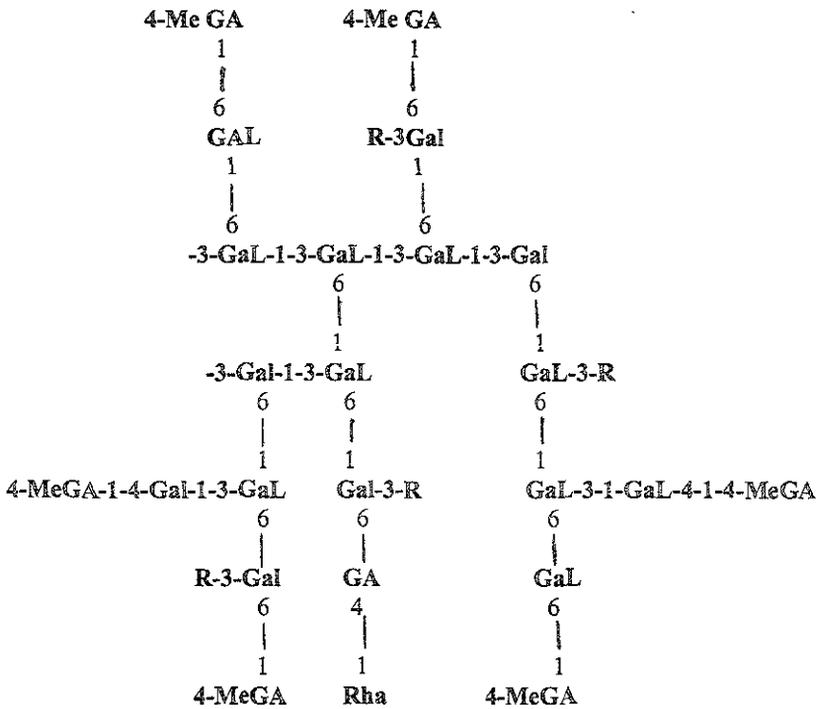
e) *Estructura*

La goma de mezquite (GM) es la sal neutra de un polisacárido ácido complejo ramificado por un corazón de residuos de β -D-galactosa, comprendiendo una estructura central con uniones (1-3) y uniones (1-6) para las ramificaciones unidas a la cadena central comprendidas por L-Arabinosa (forma de anillos de piranosa y furanosa), L-ramnosa, β -D-Glucoronato y 4.0-metil- β -D-glucoromato como azúcar simple o cadenas laterales de oligosacaridos. Figura 10.

La goma de mezquite (GM) contiene una pequeña cantidad de proteínas (0.7-5.8 %), de estructura primaria central o periférica y que representa un papel crucial en la

emulsificación. En condiciones de hidrólisis con ácido mineral, la goma de mezquite (GM) aporta L-Arabinosa, D-Galactosa y 4-metil-D-ácido Glucorónico, en la molécula el contenido de L-Arabinosa es casi del 50 %. La composición de las cenizas indica que la goma de mezquite (GM) se encuentra predominantemente en la forma de una sal de calcio.

Figura 10. Estructura de la goma de Mezquite



GaL = Galactosa

Me GA = Metil glucoronato

Rha = Ramnosa

f) *Propiedades*

❖ *Solubilidad*

La goma de mezquite (GM) es altamente soluble en agua, dando soluciones por encima del 50 % en concentración (w/w), éstas varían desde un color café claro a bajas concentraciones hasta un café oscuro a altas concentraciones.

La goma de mezquite (GM) es insoluble en aceites y en la mayor parte de solventes orgánicos. Esta goma es soluble en etanol acuoso por arriba del 70 % y poco soluble en glicerol y etilenglicol.

❖ *Efecto de Electrolitos*

La goma de mezquite (GM) es un polielectrolito, la cual es una molécula que posee un gran número de grupos ionizables. En disolución las moléculas de goma de mezquite (GM) se disocian en macro-ión polivalente y un largo número de contraiones, dando paso a un campo eléctrico, en donde las interacciones determinan la conformación en solución de la goma de mezquite (GM).

El grado de ionización de las moléculas de goma de mezquite (GM) disminuye con un incremento en la concentración de electrolitos, el cual causa cambios poliméricos en la estructura y disminuye la viscosidad de la goma en solución.

❖ *Efecto del pH*

A pH's de 4.0 a 7.0 la viscosidad incrementa debido a la sustitución de los iones H^+ por los iones Na^+ los cuales tienen un alto grado de disociación, causando una dispersión del macroión y por lo tanto un aumento en la viscosidad. A pH's de 7.0 a 9.0, la viscosidad disminuye debido a que el macroión no puede dispersarse por efectos estéricos contrarios, y como la cantidad de contraiones Na^+ aumenta protegiendo el macroión cargado, esto causa un plegamiento en la molécula por lo que la viscosidad disminuye.

❖ *Propiedades emulsificantes*

La goma de mezquite (GM) es un agente emulsificante muy efectivo debido a su funcionalidad coloidal protectora y la habilidad para formar capas viscoelásticas aceite-agua interfacial. El mecanismo de emulsificación se supone esta relacionado con el contenido de proteína en la molécula de la goma, como es el caso de la goma arábica.

❖ *Compatibilidad*

La goma de mezquite (GM) ha sido usada en combinación con la goma arábica en la estabilización de emulsiones produciendo un efecto sinérgico. En tales casos la compatibilidad e incompatibilidad puede ser controlado por el pH y concentración.

g) *Aplicaciones en Alimentos*

La goma de mezquite (GM) ha sido aprobada recientemente por la FDA (Food and Drugs Administration) para ser usado en productos de consumo humano y animal.

Sin embargo, como mencionamos anteriormente la goma de mezquite ha sido extensamente usada en alimentos con aplicaciones en el pasado, aunque tradicionalmente es considerada como un sustituto de la goma arábica, es considerada de inferior calidad debido a su color obscuro. Hasta ahora, de los diversos estudios realizados a la goma de mezquite (GM), ninguno de ellos reporta un simple estudio comparativo o factor en donde se dé peso a la superioridad de la goma arábica.

De la literatura revisada es evidente que se pueden dar nuevos y benéficos usos en sistemas alimenticios, ejemplos de ellos se encuentran en la estabilización de pigmentos y no permitir su degradación, emulsiones de oleorresinas del chile, estabilización del aceite esencial de naranja y su microencapsulación, como agente espumante, protector coloidal y productos horneados como es el caso del pan. (72)

3.0 OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar el efecto de tres gomas (Carboximetilcelulosa de sodio, Hidroxipropilcelulosa de sodio y goma de Mezquite) en la elaboración de pan danés para alargar la vida de anaquel.

ESPECIFICOS

- ✓ Determinar el efecto de las gomas en las características reológicas de la masa
- ✓ Encontrar la concentración óptima de las gomas que alarguen la vida útil del producto
- ✓ Mejorar las características de textura del pan mediante el empleo de las gomas

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE INVESTIGACIONES
CIENTÍFICAS Y DE INGENIERÍA

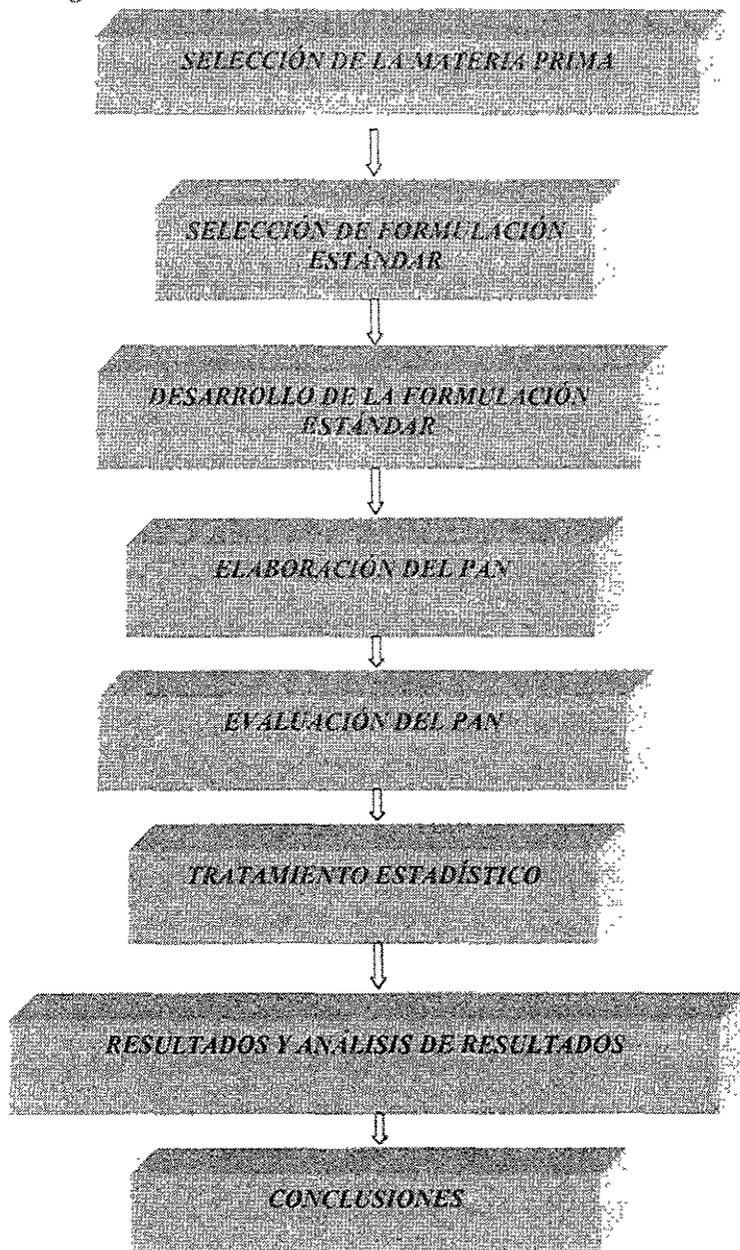
4.0 HIPÓTESIS

H_i: Existen diferencias significativas en los atributos de la masa y el pan cuando se emplean gomas en la formulación

H_o: No existen diferencias significativas en los atributos de la masa y el pan cuando se emplean gomas en la formulación.

5.0 METODOLOGÍA

Figura 11 *DIAGRAMA GENERAL DE ACTIVIDADES*



5.1.1 Selección de la materia prima

Se pidió al proveedor de la harina de trigo que ésta cumpliera con las especificaciones para ser utilizada en panificación manual. La muestra se recibió en un costal de 50 Kg el cual se guardó en el laboratorio a condiciones de temperatura y humedad ambiente. Posteriormente se procedió a realizar las pruebas físicas, químicas y reológicas de la harina para su caracterización.

5.1.1.1 Determinaciones físicas y químicas (ver apéndice del capítulo 10)

a) Determinación del tamaño de partícula

Se colocaron los tamices 200, 150, 100 y 60 u.s. sobre la bandeja del cernedor Cenco Meizer Sieve Shaker. Se depositaron 100 gramos de la muestra sobre el tamiz superior y se ajustó todo el ensamble del sistema adecuadamente. Se sometió todo el juego de tamices a una vibración de 70 revoluciones por minuto durante diez minutos. Pasado este tiempo se recolectaron los residuos que quedaron sobre los tamices y bandeja separadamente, se pesaron.

b) Determinación de humedad

La determinación del contenido de humedad se llevó a cabo por el método 44 15 A de la A.A.C.C., método directo en la estufa a presión atmosférica. Se fundamenta en la evaporación del agua superficial de la muestra (1).

c) Determinación de cenizas

Para la determinación del contenido de cenizas se utilizó el método 08 12 de la A.A.C.C.

d) Determinación de proteína

La determinación del contenido de proteína se efectuó conforme al método de la A.A.C.C. Número 46 10. (Método Kjeldahl).

e) Determinación de gluten

La determinación del contenido de gluten se llevó a cabo por el método 30 10 de la A.A.C.C. (Método del lavado manual)

5.1.1.2 Determinaciones reológicas.

a) Determinación del Farinograma.

La determinación de la calidad del gluten se realizó por el método 54-24 de la A.A.C.C. (Método del farinógrafo para harina).

b) Determinación del Alveograma

La determinación de las características de tenacidad, elasticidad y fuerza de la masa preparada con harina y agua se realizó por el método 54-30 de la A.A.C.C. (Determinación de alveogramas en harina).

c) Determinación del Amilograma

La determinación de la temperatura de gelatinización se realizó conforme al método 22-10 de la A.A.C.C.

5.1.2 Selección de formulación estándar

Se buscaron varias formulaciones para el tipo de pan a manejar, y se seleccionó aquella que cumplieran con las características deseadas. Finalmente la formulación estándar fue la siguiente:

Tabla 10. - Ingredientes utilizados en la formulación estándar de pan danés

INGREDIENTES	% (BASE HARINA)	GRAMOS
Harina	100	500
Huevo	40	200
Agua	26	130
Azúcar	112.5	22.5
Levadura	5.0	25
Mantequilla	3.3	50
Sal	1.5	7.5
Mantequilla para Laminado	44	220

5.1.3 Variación de las formulaciones estándar con las tres gomas a cuatro niveles de concentración

Una vez obtenida la formulación definitiva, se incluyeron en su formulación, las tres gomas a los cuatro niveles de concentración cada una (ver tabla 11).

5.1.4 Elaboración del pan

En la figura 12 se muestran los pasos a seguir para la elaboración de pan danés.

5.1.4.1 Pesado y mezclado de los ingredientes

Se pesaron cada uno de los ingredientes necesarios para la elaboración del pan y se fueron integrando según el orden siguiente:

Primeramente la harina de trigo previamente mezclada con la goma, el azúcar, la levadura en polvo y la sal son mezcladas en la batidora por cinco minutos hasta que se observa una incorporación total de todos los ingredientes secos

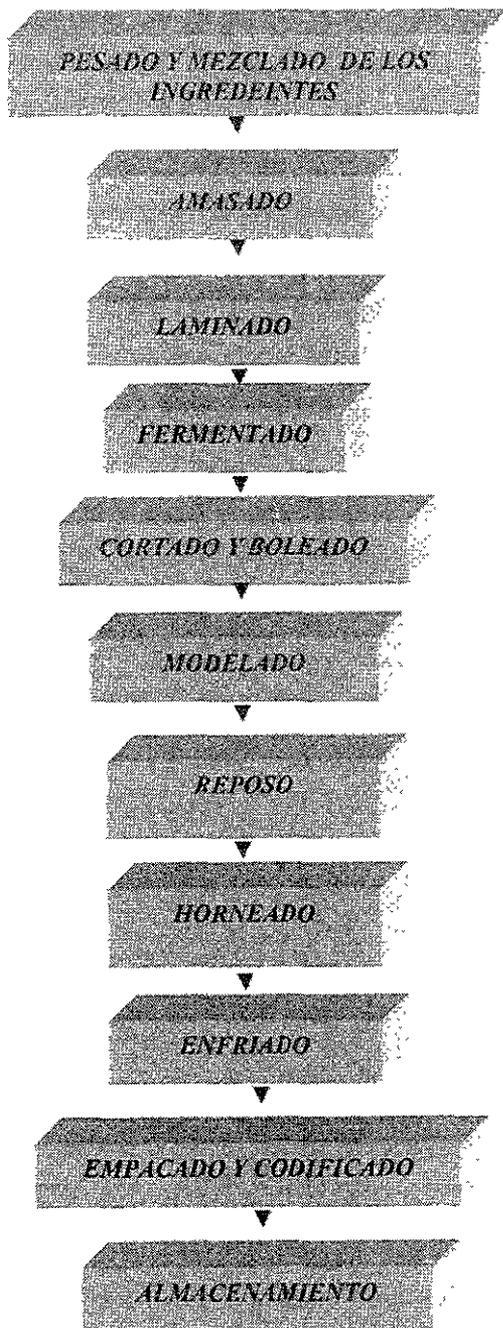
5.1.4.2 Amasado

A los ingredientes secos se les agrega el huevo, la mantequilla y el agua necesaria para formar una masa homogénea no pegajosa batiéndose por 5 minutos con el gancho a velocidad alta.

5.1.4.3 Laminado

Terminada la operación de amasado se extiende la masa sobre la mesa con la ayuda de un rodillo hasta obtener un grosor uniforme de 3 mm. Con la mantequilla restante de la formulación, un tercio del total es untada sobre la masa hasta obtener una capa uniforme, se le dan dos dobleces a la masa. El primero a la mitad del área total y el segundo nuevamente a la mitad del área total restante. La masa se introduce al refrigerador por una hora y la operación de laminado se repite nuevamente como el paso anterior.

Figura 12. DIAGRAMA DE ELABORACIÓN DEL PAN



5.1.4.4 Fermentado (ó frenado de la masa)

La masa se introduce en el refrigerador el cual esta a una temperatura de 9°C por un periodo de 24 horas.

5.1.4.5 Cortado y boleado.

La masa se saca del refrigerador y se extiende nuevamente con la ayuda de un rodillo, se corta la masa y se pesan cantidades de 60 gramos.

5.1.4.6 Modelado

Esta operación consistió en darle la forma final al pan, para lo cual a la masa se le da forma con movimientos envolventes con la mano hasta alcanzar una superficie lisa y tersa para formar una hojaldra.

5.1.4.7. Reposo.

Una vez modelado la masa se colocan sobre las charolas y son llevadas a la cámara de fermentación a condiciones de temperatura de 27°C por 30 minutos.

5.1.4.8. Horneado

El pan es horneado a 170°C por 18 minutos en un horno rotatorio de charolas

5.1.4.9. Enfriado.

El pan es enfriado hasta alcanzar la temperatura ambiente.

5.1.4.10. Empacado y codificado.

Una vez frío el pan, es empacado en bolsas de polietileno, además de codificarlo con el tipo de goma, concentración utilizada y día de elaboración.

5.1.4.11. Almacenamiento.

El pan se depositó sobre anaqueles y se almacenó en condiciones de temperatura y humedad ambiente por un periodo de 15 días en el cual se realizaron las pruebas de humedad, volumen y textura.

5.1.5 Evaluación del pan

En el pan, las pruebas que se realizaron fueron: pérdida de humedad, determinación del volumen y textura.

5.1.5.1 Pérdida de humedad

Se realizó con la ayuda de la termobalanza y las mediciones se realizaron al 1,3,6,9, 12 y 15 días de almacenamiento.

5.1.5.2. Volumen en el pan.

El volumen en el pan se midió con el objeto de observar si se presentaba un encogimiento o expansión de la estructura con el paso del tiempo, además de que es una medida indirecta de la textura del pan.

Esta prueba se midió por el método de desplazamiento de semilla de colza, es decir, se tiene un volumen constante y conocido de semilla en un contenedor, en el cual previamente vaciado, se coloca el pan y se vacía dicha semilla. La semilla sobrenadante se mide en volumen y así se conoce directamente el volumen del pan (44).

5.1.5.3. Textura del pan.

El método clásico para medir la frescura del pan es el de la “firmeza de la miga”. Esta cuantificación se basa en la medición de la compresibilidad del pan. Actualmente para estos propósitos se utiliza normalmente el Universal Testing Machina de la Instrón Corporación U.S. Este aparato basa sus mediciones en dos tipos de movimientos: tensión y compresión.

La metodología para medir la compresibilidad del pan utilizada en un texturómetro es:

1. Se coloca la muestra del pan sobre una plataforma en la parte inferior del aparato.
2. Un émbolo se desliza hacia abajo a una velocidad programada, presionando el pan hasta perforarlo.
3. Dicha medición es cuantificada y graficada por una computadora (integrada al aparato), arrojando una gráfica. (16)

El tipo de cabezal seleccionado fue de 50-500 Kg, la velocidad de 240 mm/minuto y el rango del registrador de 20. A partir de las gráficas obtenidas durante el ensayo, se calculan los índices de dureza, cohesividad, elasticidad, masticabilidad y gomosidad en el pan durante un periodo de 15 días de almacenamiento.

5.1.6 Tratamiento estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados se empleó el análisis de varianza (ANOVA) en una sola dirección y para conocer cuales de los tratamientos eran significativamente diferentes a un nivel de confianza del 5 % se utilizo la prueba de Duncan

5.1.7 Interpretación de resultados

Siguiendo la metodología del diseño de experimentos, se procesaron los resultados para obtener la información significativa para el presente estudio.

5.1.8 Conclusiones

De acuerdo con los resultados y el análisis realizado se concluye sobre el efecto de las gomas sobre los parámetros de estudio.

5.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Para esta investigación se decidió estudiar tres gomas a cuatro niveles de concentración cada una, por lo tanto las variables de estudio son:

Factores de control:

A: Gomas: Carboximetilcelulosa (nivel 1)
Goma de mezquite (nivel 2)
Hidroxipropilcelulosa (nivel 3)

B: Concentración: Cuatro concentraciones para cada una de las gomas que corresponden a los siguientes niveles como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla II Factores de control para las gomas empleadas

GOMA	CONCENTRACION			
	NIVEL 1 (%)	NIVEL 2 (%)	NIVEL 3 (%)	NIVEL 4 (%)
Carboximetilcelulosa (CMC)	0.025	0.050	0.075	0.100
Goma de Mezquite (GM).	0.4	0.8	1.0	1.2
Hidroxipropilcelulosa (HPC)	0.025	0.050	0.075	0.100
Testigo	---	---	---	---

VARIABLES DE RESPUESTA

Las variables de respuesta se evaluaron tanto en la masa como en el producto terminado de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 12 Variables de respuesta a medirse en la masa y el pan

EN LA MASA		EN EL PAN	
Determinación del Farinograma	del	Porcentaje de humedad	
Determinación del Alveograma	del	Determinación de volumen	
Determinaciones subjetivas: Manejo de la masa		Determinaciones de textura (dureza, cohesividad, elasticidad, masticabilidad y gomosidad)	

El experimento final consistió de dos repeticiones con la formulación definida por el siguiente arreglo de bloques aleatorizado para el factor A con un bloque dividido en A para el factor B. Definiéndose con mayor precisión los efectos principales para el efecto de las dosis de las gomas (factor A).

Tabla 13 Arreglo de bloques aleatorizado para el experimento

FORMULACIÓN	FACTOR A	FACTOR B
1	1	1
2	1	2
3	1	3
4	1	4
5	2	1
6	2	2
7	2	3
8	2	4
9	3	1
10	3	2
11	3	3
12	3	4
Testigo ó control	0	0

6.0 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Resultados de la materia prima

En las tablas 14, 15 y 16 se reportan los análisis en la harina de trigo utilizada para la elaboración del pan. Se determinó que es una harina blanca con un grado de extracción del 70 % y que cumple con las especificaciones dispuestas por la Norma Oficial Mexicana para una harina de grado 1, la cual es adecuada para el proceso de panificación.

El contenido de proteínas fue de 9.8 %, el cual es bajo si se compara con el recomendado por la bibliografía, ésta específica que una harina blanca que se destinará a panificación debe tener como mínimo 10.7 % (64).

La deficiencia en el contenido de proteínas se reflejó también en el bajo porcentaje de absorción de agua (58.8 %) que en comparación por lo recomendado, esta debería de tener un 70 % (55).

El contenido de humedad en la harina de 12.5 % no rebasó lo especificado por la Norma Oficial Mexicana que marcó 13.5 % como máximo, esto favoreció la estabilidad y conservación de la materia prima, ya que harinas con un mayor porcentaje de humedad son susceptibles a la degradación por microorganismos, ácaros e insectos. (31,51,55,61).

Tabla 14 Resultados de las pruebas químicas en la harina de trigo utilizada

DETERMINACION	RESULTADOS QUIMICOS	NOM-F-7-1982
Humedad	13.5 %	9.5 – 14.0 %
Proteína	9.8 %	9.5 % mínimo
Gluten Húmedo	30.9 %	31.3 % mínimo
Cenizas	0.49 %	0.55 % máximo

Tabla 15 Resultados de las pruebas físicas en la harina de trigo empleada (granulometría)

TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO
Tamiz No. 60	59.4 %
Tamiz No. 100	34.5 %
Tamiz No 150	3.3 %
Tamiz No.200	0.1 %

Tabla 16 Parámetros reológicos en la harina de trigo comercial utilizada en la elaboración de pan

PARÁMETRO REOLÓGICO	RESULTADO EXPERIMENTAL
<i>Farinograma</i>	
Absorción	58.8 %
Estabilidad	13 minutos
Desarrollo	2.5 minutos
I.T.M.	21 U.B.
<i>Alveograma</i>	
Tenacidad (P)	80.3 mm
Extensibilidad (L)	100 mm
Fuerza (W)	287 x 10 ⁻⁴ Joules
P/L	0.8

La tabla 16 muestra los resultados reológicos de la harina de trigo utilizada, ésta tiene un trabajo de $W = 287 \times 10^{-4}$ J, el cual es superior a lo recomendado para harinas destinadas a panificación que recomienda como mínimo un $W = 250 \times 10^{-4}$ J.

Un gluten equilibrado apto para panificación debe tener una relación de $P/L = 0.5 - 0.6$ (51,55) pero la harina que se utilizó tuvo una relación $P/L = 0.8$ lo que indica que es más tenaz. Este parámetro es muy importante porque expresa el equilibrio entre tenacidad y

extensibilidad en un pan. Sobre la base de estos resultados se determinó que la harina es un poco más tenaz que extensible con un gluten fuerte (4,54,57)

6.2 Resultados de los valores de respuesta en la harina.

6.2.1 Farinograma

En la tabla 17 se muestran los parámetros de los farinogramas en las harinas con gomas y la harina testigo.

Absorción

La absorción de las harinas panaderas es un importante factor de calidad en panificación. Lo recomendado en absorción para una harina panadera es del 64 % (58). Sin embargo, la tabla 17 muestra que ninguna de las harinas analizadas cumple con esta especificación. Una posible explicación a esto es de que se partió de una harina pobre en proteínas (9.8 %).

Solo la goma HPC modificó significativamente la absorción de agua en la harina en comparación con las harinas que contenían GM y CMC.

No hubo un efecto significativo en cuanto al nivel de concentración utilizado, esto último tal vez se debió a que la variación entre concentraciones fue muy pequeña o que tal vez el aparato no es lo suficientemente sensible para detectar estos cambios en absorción.

Es posible que la HPC modificó de una manera más notoria la absorción de la harina debido al tipo de grupos sustituyentes (óxido de propileno y grupos hidroxilo) y la conformación de la molécula que adquiere a la hora de dispersarse, la cual es diferente a las otras gomas empleadas (25,27).

Tabla 17 Resultados de los farinogramas obtenidos con la harina de trigo testigo y harina con gomas

Harina	Concentración (%)	Absorción (%)	Tiempo de llegada (min.)	Tiempo de salida (min.)	Estabilidad (min.)	Desarrollo (min.)	I.T.M (U.B.)
Testigo (sin goma)	—	58.8	1.0	16.0	15.0	2.5	21.0
CMC	0.025	59.0	1.3	16.0	14.7	5.3	30.0
	0.050	59.0	1.3	16.0	14.2	6.0	25.0
	0.075	59.6	1.8	15.0	13.2	5.2	28.0
	0.100	59.0	1.5	15.4	13.9	4.0	30.0
GM	0.4	59.4	1.5	16.0	14.5	5.5	50.0
	0.8	57.8	2.4	14.4	12.0	6.8	30.0
	1.0	57.4	1.2	16.8	15.6	6.9	35.0
	1.2	58.0	1.5	13.5	12.0	5.7	48.0
HPC	0.025	60.4	1.0	24.5	23.5	6.0	25.0
	0.050	60.4	1.0	19.0	18.0	6.5	25.0
	0.075	60.4	1.5	17.0	15.5	6.4	35.0
	0.100	60.4	1.5	18.5	17.0	5.7	25.0

Los resultados del análisis estadístico muestran un efecto significativo entre gomas pero no entre concentraciones. Las tres gomas son diferentes entre sí pero la que tiene mayor efecto es HPC.

Tiempo de llegada

El tiempo de llegada indica la velocidad de hidratación de las proteínas de la harina. En la tabla 14 se observa que en este parámetro si hubo un efecto significativo aunque no hubo una tendencia ni con respecto a goma o concentración.

La harina con 0.8 % de GM fue la que tuvo un tiempo de llegada más alto (2.4 minutos); lo cual indica que esta goma está compitiendo por el agua con las proteínas de la harina de trigo, retardando el tiempo de llegada a los 500 UB en el farinógrafo (51,58).

Los resultados del análisis estadístico demostraron que no hay diferencias significativas entre gomas y concentraciones empleadas con respecto al testigo.

Tiempo de salida

Este parámetro indica la fuerza de la harina. Entre más alto es el valor, es más fuerte la harina. En la tabla 17 se aprecia que con la goma de HPC se tuvo un efecto positivo. La tendencia fue que conforme se disminuía la concentración aumentaba la fuerza de la harina, esto indica posiblemente que la goma tiene una interacción con las proteínas de la harina y principalmente con las proteínas del gluten. Tal parece que la goma está actuando como un agente madurador o acondicionador ya que está mejorando la fuerza de la harina.

En cambio CMC y GM tuvieron un efecto negativo sobre la harina, volviéndola más débil. Sin embargo, las tres gomas empleadas a sus cuatro niveles de concentración, al parecer tuvieron una reacción con las proteínas del gluten. Los resultados del análisis estadístico mostraron un efecto significativo únicamente entre gomas. Las tres gomas son diferentes entre sí pero la que ejerce mayor efecto es HPC (55).

Estabilidad

Este parámetro reológico lo que nos indica es el tiempo que se puede manejar una masa sin que se pierdan sus propiedades funcionales. En la tabla 17 se aprecia que HPC tuvo un efecto positivo sobre la harina, en donde la tendencia fue que al aumentar la concentración de la goma era mayor la estabilidad de la masa. Estos resultados al parecer reafirman lo anterior en donde la goma posiblemente esta teniendo una interacción con las proteínas del gluten (55,61).

El análisis estadístico demostró que solo hay un efecto significativo entre gomas. Las tres gomas empleadas son diferentes entre sí con el testigo.

Desarrollo

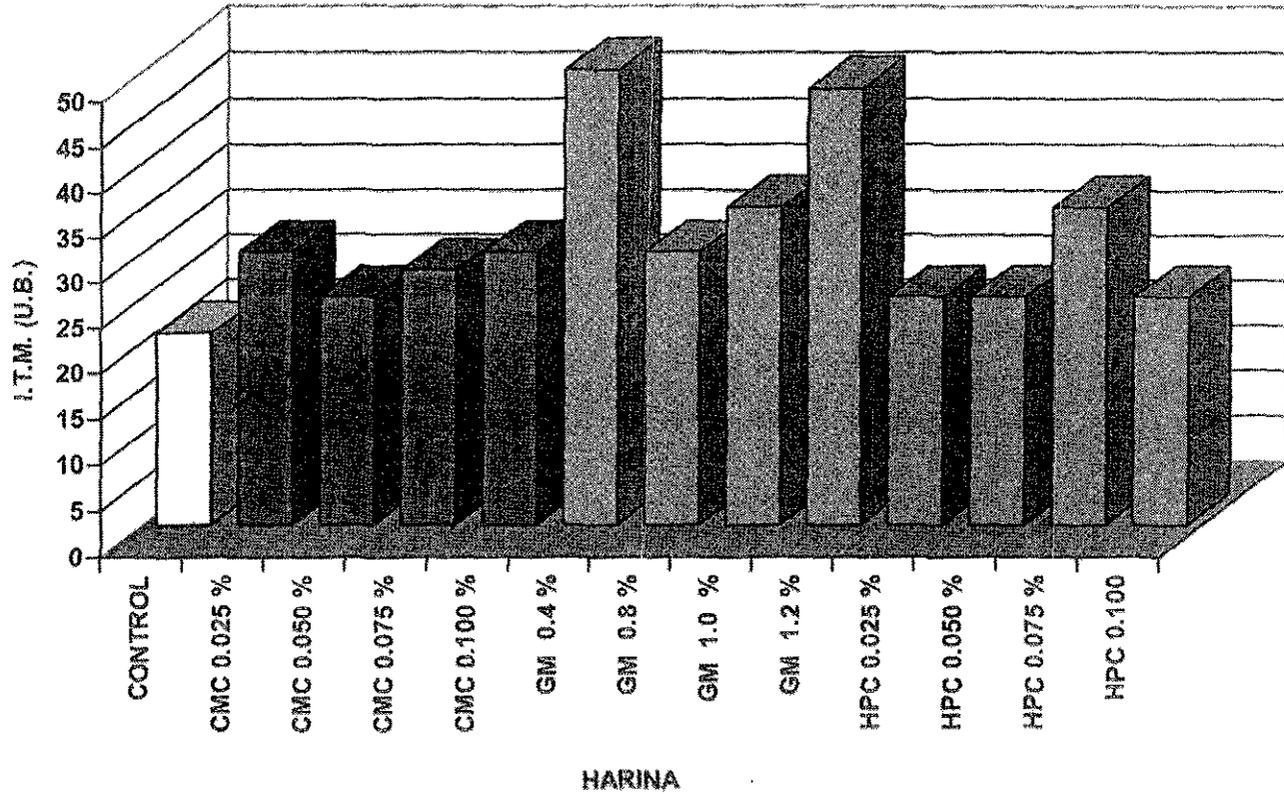
Indica el tiempo necesario para que el gluten se desarrolle. Como se observa en la tabla 17 las tres gomas empleadas a todas las concentraciones tuvieron un efecto significativo lo cual nos indica que las gomas están teniendo interacción con las proteínas del gluten. No hubo una tendencia marcada entre las concentraciones. La goma GM a la concentración de 1.0 % fue la que tuvo el valor mas alto de 6.9 minutos y el valor mas bajo de 4.0 minutos se obtuvo con 0.1 % de CMC.

En general podemos decir que las gomas empleadas volvieron al gluten mas fuerte y por lo que este tipo de harinas requieren tiempos de mezclado más largos (5). Estas variaciones en el desarrollo del gluten nos indican la posible interacción proteína-polisacárido durante el amasado. En tanto que las gomas empleadas están actuando como reforzadores del gluten, mejorando las características finales de la masa.

Finalmente, los beneficios que se obtuvieron fueron los de mejorar la calidad del gluten y aumentar la tolerancia de la masa al mezclado.

El análisis estadístico mostró un efecto significativo entre gomas y concentraciones.

Figura 13
EFECTO DE LAS GOMAS CMC, GM Y HPC SOBRE LA TOLERANCIA AL MEZCLADO
EN LA HARINA DE TRIGO



Por los atributos evaluados en el farinógrafo se determinó que la harina de mejor calidad fue cuando se empleó GM seguida por HPC.

Tolerancia

Esta es una de las aplicaciones más importantes dentro del farinógrafo, ya que la tolerancia al mezclado es una de las características más importantes de la harina, en donde observamos que el empleo de las gomas dan como resultado harinas más fuertes con una mayor tolerancia al mezclado.

Estadísticamente se ha encontrado que el efecto de las gomas sobre la tolerancia al mezclado es significativamente diferente para GM, la cual presenta altos valores en cuanto a la tolerancia, aún por encima de la masa testigo.

Las harinas panaderas deben poseer una buena tolerancia, sobre todo durante el mezclado y la fermentación. Deben tener una capacidad al sobremezclado y, con un pequeño exceso de fermentación, las masas no deben volverse demasiado flojas o pegajosas. Estas cualidades se vieron reflejadas notablemente en masas que contenían GM en su formulación.

Como la tolerancia de las harinas esta relacionada con la calidad del gluten, el empleo de GM modificó las propiedades funcionales y reológicas de las proteínas, al igual que CMC y HPC, tal y como lo muestra la figura 13.

6.2.2 Alveograma

En la tabla 18 se muestran los resultados de los alveogramas de las harinas con goma y la harina de trigo testigo. El mayor efecto de las gomas empleadas fue sobre las propiedades de tenacidad (p) y extensibilidad. Lo que indica una interacción de las gomas con las proteínas del gluten.

La GM disminuyó la tenacidad (p) conforme se aumentó la concentración de la goma y la extensibilidad la modificó en menor grado. Este hecho fue favorable para mejorar la aptitud panadera de la harina, ya que tuvo una relación de P/L = 0.5–0.6 que se acercaba mas al equilibrio, lo cual es lo el recomendable para harinas destinadas a panificación (34,51).

El efecto que tuvo la goma de HPC sobre la tenacidad y extensibilidad de la masa fue contrario a lo obtenido por GM. Con un nivel de 0.025 % de HPC se obtuvo la máxima tenacidad de todos los tratamientos. La tendencia fue que conforme aumentaba la concentración de la goma, disminuía la tenacidad del gluten

HPC disminuyó la extensibilidad del gluten (tabla 18), aunque no hubo una tendencia clara en cuanto a la concentración. Esto trajo como consecuencia que se obtuvieran harinas con gluten desequilibrado con un balance de P/L = 1.2, el cual resulta ser mas apropiado para pastas y no para panificación (31,34,58)

La goma CMC tuvo un efecto en los parámetros de tenacidad-extensibilidad, siendo más notable en la extensibilidad, por lo cual también modificó la relación P/L, la cual es muy parecida a la obtenida por la harina control tal y como se observa en la figura 14.

Los resultados del análisis estadístico para estos dos parámetros mostró que para la tenacidad hay un efecto significativo tanto para concentración como para gomas; en cambio para extensibilidad solo hay un fecho significativo entre gomas.

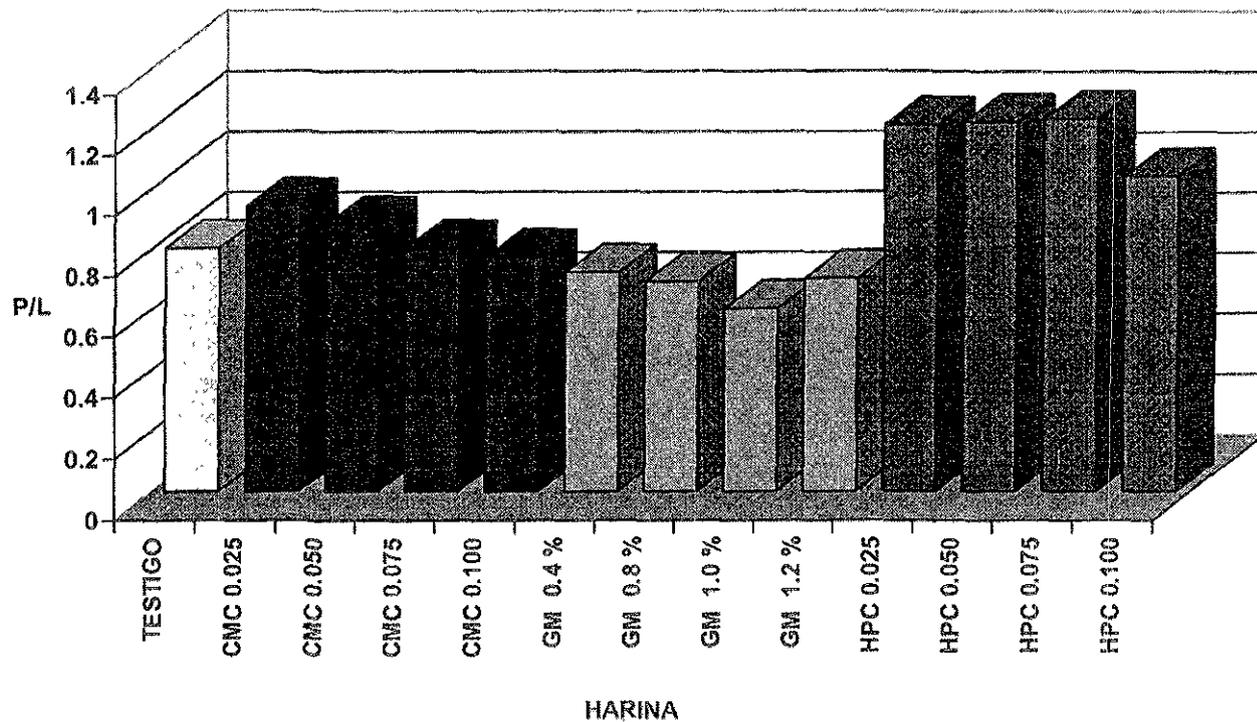
Al variar la extensibilidad y tenacidad en una harina, se modifica la fuerza del gluten (W), volviendo al gluten más débil o más fuerte. De las gomas empleadas, solo CMC al 0.075 % aumentó significativamente la fuerza del gluten ($W=347 \times 10^{-4} J$) en comparación con el testigo ($287 \times 10^{-4} J$) y las otras gomas.

A pesar de que las otras gomas empleadas a las concentraciones estudiadas tuvieron una disminución sobre la fuerza del gluten todas quedaron dentro del rango de un gluten fuerte.

Tabla 18 Resultados de los alveogramas obtenidos con la harina de trigo testigo y las harinas con gomas

Harina	Concentración (%)	Tenacidad (P) mm	Extensibilidad (L) mm	Fuerza (W) (10 ⁴ J)	P/L
Testigo (sin goma)	---	80.3	100.0	287	0.80
CMC	0.025	80.0	85.0	282	0.90
	0.050	83.6	94.0	285	0.88
	0.075	83.0	103.0	347	0.80
	0.100	70.0	90.0	249	0.77
GM	0.4	68.0	94.0	262	0.72
	0.8	59.0	85.0	201	0.69
	1.0	60.0	100.0	238	0.60
	1.2	54.0	76.0	163	0.71
HPC	0.025	93.5	77.0	268	1.20
	0.050	85.8	70.0	230	1.21
	0.075	88.0	71.0	232	1.23
	0.100	77.0	74.0	213	1.04

Figura 14
EFECTO DE LAS GOMAS SOBRE LA RELACION TENACIDAD/EXTENSIBILIDAD EN LA
HARINA



Por lo anterior podemos considerar que la GM a las concentraciones empleadas mejora la calidad de la harina haciéndola más apta para panificación

El parámetro G nos indica la hinchazón de la harina. La bibliografía da un valor de 20 a 23 cm cuando la harina se va a destinar a panificación (31,51,58). La harina control tuvo un $G=19 \text{ cm}^3$, en cambio las harinas que contenían la GM tuvieron un valor G de 20 – 22 cm^3 .

6.2.3. Amilograma

La tabla 16 muestra los valores obtenidos por el amilógrafo Brabender a las muestras de harina con y sin aditivos.

Viscosidad máxima (U.B.)

La presencia de gomas tuvo una competencia por el agua de hidratación lo que provocó cambios en el almidón, reducción de la velocidad de la gelatinización y de la viscosidad final. Las gomas de mezquite y CMC a sus diferentes niveles de concentración, estadísticamente son diferentes del testigo puesto que al aumentar la concentración disminuyen la viscosidad. (véase la figura 15).

El hecho de que una mezcla de almidón y gomas absorba menos agua que la esperada es un reflejo de la interacción que existe y que hace que el polímero no desarrolle toda su capacidad de hidratación. Algunas gomas y sales aceleran la velocidad de gelatinización, como lo mostrado por la goma de HPC al nivel de 0.025 %, mientras que otras la reducen como se observa en la tabla 19.

Al reducir la cantidad de agua disponible por las gomas, hay una disminución en el porcentaje de birrefringencia del almidón según trabajos hechos por Dolby y colaboradores (60).

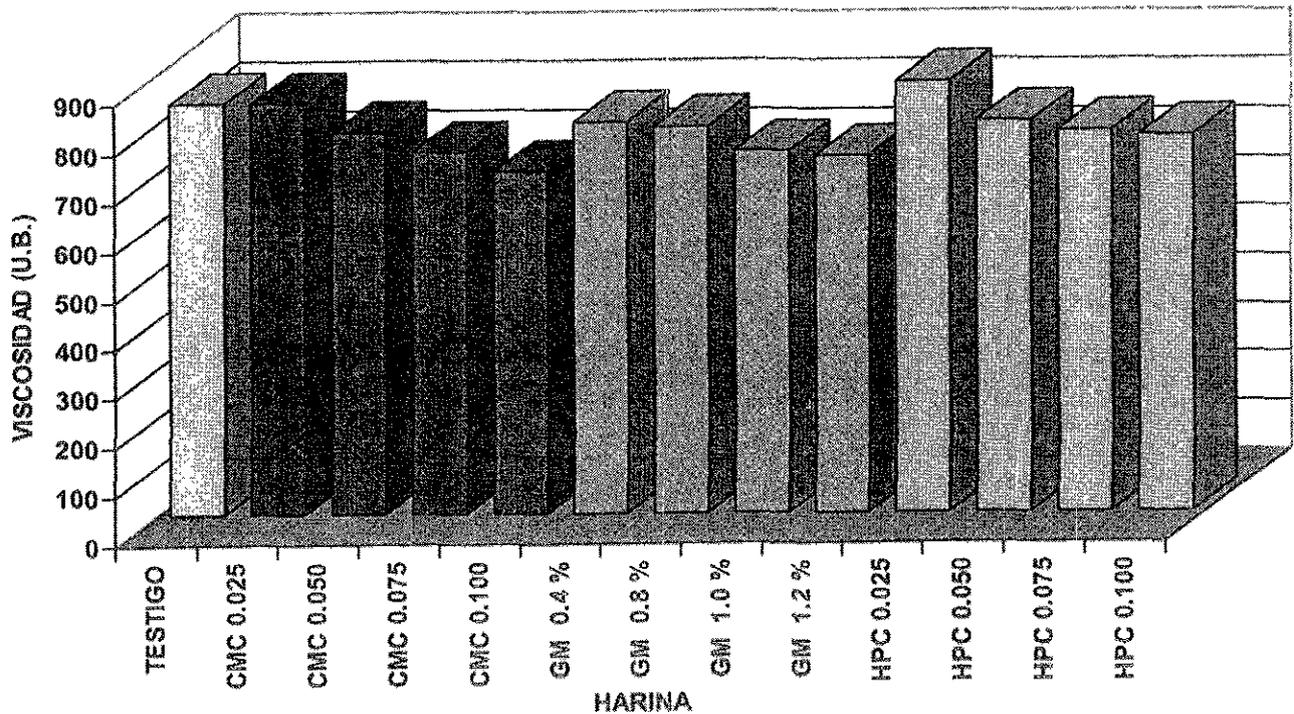
Tabla 19 Variación de los parámetros amilográficos de la harina de trigo-testigo y harina con tres gomas a cuatro niveles de concentración

Muestra	Concentración (%)	Temperatura (°C)*	Viscosidad (U.B.)**
Testigo (sin goma)	—	94.0	840
CMC	0.025	94.0	840
	0.050	92.5	780
	0.075	94.0	740
	0.100	92.5	700
GM	0.4	94.0	800
	0.8	92.5	790
	1.0	94.0	740
	1.2	94.0	730
HPC	0.025	94.0	880
	0.050	94.0	800
	0.075	92.5	760
	0.100	94.0	770

(*) Temperatura máxima de gelificación

(**) Viscosidad máxima de gelificación (U.B.)

Figura 15 VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD MÁXIMA DE GELIFICACIÓN POR EFECTO DE TRES GOMAS A CUATRO NIVELES DE CONCENTRACIÓN



Temperatura de gelificación (°C)

La temperatura de gelatinización también se modificó por las gomas empleadas puesto que son compuestos químicos que favorecen los puentes de hidrogeno. Sin embargo, los efectos de las gomas a sus diferentes niveles de concentración no son significativamente diferentes al control. Aunque hay un rango de hasta 10°C en la temperatura de gelificación de los primeros gránulos con respecto a los últimos, ya que aunque provengan de la misma fuente botánica, tienen diferente composición y grado de cristalinidad, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros (60).

6.3. Resultados de los valores de respuesta en el pan

6.3.1. Volumen del pan

Estadísticamente si hay diferencias significativas en cuanto al uso de gomas. De las tres gomas utilizadas, todas son diferentes al testigo (véase tabla 20). Se observó un mayor volumen con la goma de CMC, que es superior en volumen al testigo, lo cual era de esperarse con anterioridad debido a que ésta tuvo una mayor extensibilidad en la masa. Además, se observó que el pan con menor volumen lo proporciona la goma de HPC, la cual en el análisis Alveográfico mostró tener una menor extensibilidad.

Para el caso de la goma CMC al 0.025 % de concentración, en el pan recién elaborado se observó un aumento en el volumen. Posteriormente se realizó un segundo análisis después del almacenamiento para observar los cambios en volumen; se encontró que estadísticamente si hay diferencias significativas en el volumen en cuanto al uso de gomas, en donde disminuyó significativamente el volumen del pan al aumentar la concentración de CMC. Una posible explicación es que ocurre una mayor retrogradación del almidón, una mayor pérdida de humedad y una disminución en el tamaño de sus celdillas, lo que provoca una disminución acelerada del volumen (29,66). En tanto que en el pan con HPC y GM la pérdida de volumen fue mínima, aunque no significativa.

Es notable que en el caso del pan con CMC la goma mejora la calidad y fuerza del gluten, sin embargo, con el paso del tiempo el volumen disminuye notablemente.

Tabla 20 Variación del volumen en el pan mediante el empleo de gomas durante el almacenamiento.

Pan	(%)	Volumen inicial Día 1	Volumen final Día 15
Testigo (sin goma)	---	163.75 ml	157.50 ml
CMC	0.025	188.75 ml	170.00 ml
	0.050	158.75 ml	155.00 ml
	0.075	165.50 ml	165.00 ml
	0.100	161.25 ml	155.00 ml
GM	0.4	138.75 ml	132.50 ml
	0.8	145.00 ml	141.25 ml
	1.0	147.50 ml	141.25 ml
	1.2	147.50 ml	143.75 ml
HPC	0.025	132.50 ml	130.00 ml
	0.050	140.00 ml	136.25 ml
	0.075	132.50 ml	128.75 ml
	0.100	127.50 ml	125.00 ml

6.3.2 Humedad en el pan

En la tabla 21 se muestra la humedad del pan en el día que se elaboró y durante el almacenamiento de 15 días por lo que esta tabla se analizará en tres partes:

- a) La humedad que contenía el pan recién elaborado
- b) Durante el almacenamiento
- c) La humedad del pan a los 15 días

a) Humedad del pan recién elaborado

Los resultados del análisis estadístico demostraron que existe una diferencia significativa entre la humedad de los panes que fueron elaborados con harina que contenía goma en su formulación y el pan testigo.

Las tres gomas empleadas mostraron un efecto positivo sobre la humedad del pan si se comparan con el testigo. Esto es favorable porque se tiene un pan de miga más suave y un mayor rendimiento en el proceso (28,66).

En el pan recién elaborado se encontró que con GM a la concentración de 1.2 % se obtuvo la mayor humedad (19.3) y la menor humedad se obtuvo con CMC al 0.1 % (14.05), incluso más baja que en el pan testigo (15.9). Esto coincidió con las determinaciones de textura en donde el pan más suave fue el que contenía GM en su formulación y el más duro el que contiene CMC.

En cuanto al efecto de la concentración, para la goma de CMC, la tendencia es que a menor concentración proporciona una mayor humedad en el pan. En cambio, en GM la tendencia es contraria; conforme aumenta la concentración se incrementa la humedad del pan. En la goma de HPC no se observó una tendencia con respecto a la concentración.

Tabla 18 Resultados de la humedad en el pan durante el almacenamiento

Pan	Concentración (%)	Humedad (%)					
		Día 1	Día 3	Día 6	Día 9	Día 12	Día 15
Testigo(sin goma)	---	15.90	15.45	15.15	14.90	14.70	14.20
CMC	0.025	19.00	18.50	17.25	16.65	15.10	14.15
	0.050	18.65	18.35	17.50	16.65	15.50	14.95
	0.075	16.05	15.25	14.75	12.75	12.00	10.70
	0.100	14.05	13.65	13.45	13.00	12.40	10.75
GM	0.4	17.50	16.90	16.35	15.95	15.60	14.65
	0.8	18.00	17.55	17.20	16.90	16.65	15.80
	1.0	18.0	17.50	17.15	16.65	15.85	14.86
	1.2	19.3	17.25	16.85	16.75	16.25	15.05
HPC	0.025	17.4	17.10	15.90	15.75	15.50	15.10
	0.050	16.8	16.40	15.35	14.75	14.65	14.40
	0.075	17.4	16.85	16.25	15.85	15.25	14.45
	0.100	16.4	15.75	15.00	14.90	14.40	14.20

Investigaciones recientes mencionan que las propiedades del gluten se mejoran con la adición de hidrocoloides, los cuales producen altas viscosidades si se emplean a concentraciones bajas. Estas variaciones en la viscosidad se observaron mas claramente en los parámetros reportados por el amilógrafo, en donde CMC, GM y HPC tuvieron diferentes viscosidades debido al diferente tipo de estructura que presentan cada una (figuras 8,9 y 10).

Una explicación posible del porque la CMC y otros polisacáridos que desarrollan altas viscosidades no funcionan bien en la elaboración del pan, puede ser la competencia por el agua entre proteínas y polisacáridos, teniendo mayor ventaja los últimos, por el tipo de grupos sustituyentes que tienen. Al no hidratarse completamente las proteínas, el gluten no puede desarrollarse plenamente, lo que trae como consecuencia un pan con características no deseables (27,33,58).

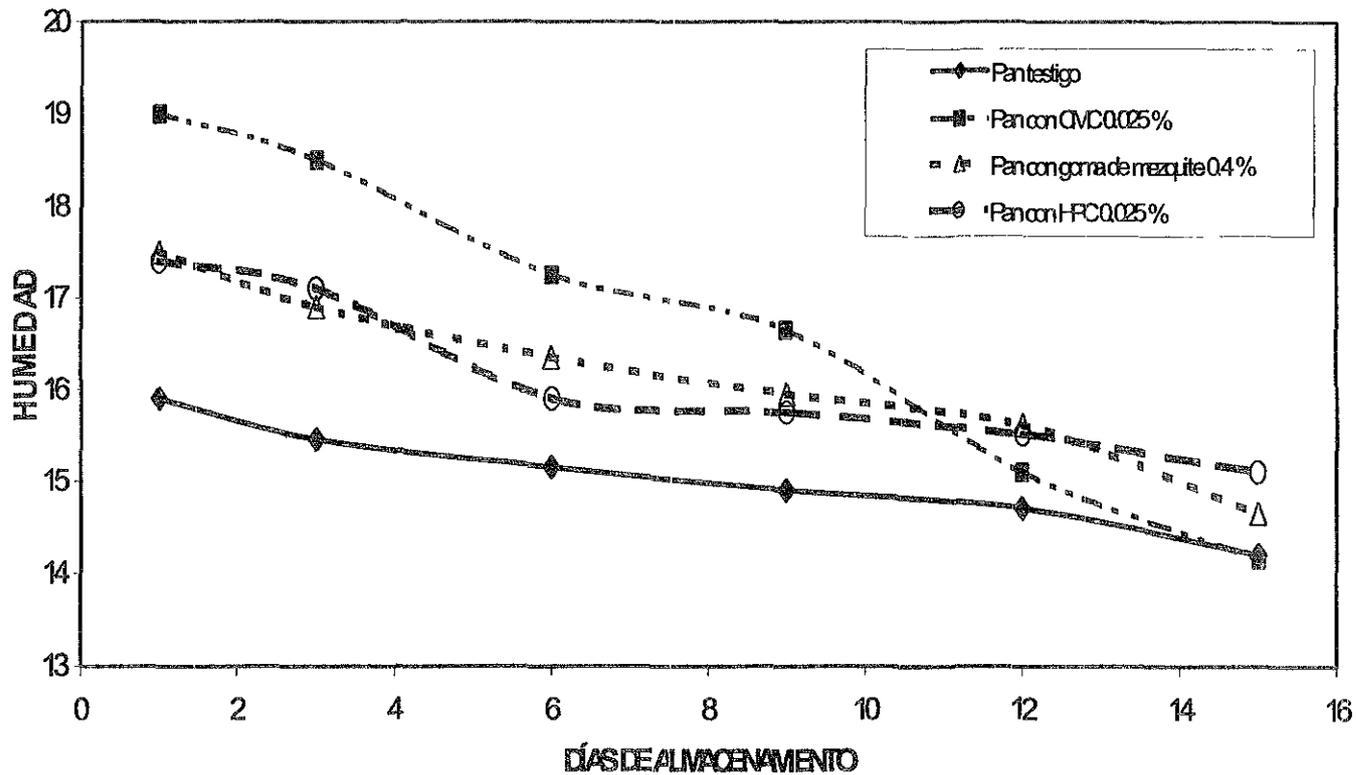
b) Humedad del pan durante el almacenamiento

El efecto que tuvieron las gomas sobre el pan, permitió que al principio y durante los 15 días de almacenamiento éste conservara su humedad aún por encima de la humedad final del pan testigo (sin goma), y esto ocurrió prácticamente con las tres gomas en sus diferentes niveles de concentración, tal y como se muestra en la figura 16.

La variación de humedad del pan durante el almacenamiento se muestra en la tabla 18. Se obtuvo una disminución de la misma conforme pasaba el tiempo, esto en todos los lotes experimentales. Los resultados se ajustaron a cinéticas lineales puesto que los coeficientes de correlación lineal siempre fueron superiores a 0.90 y con un nivel de significancia menor al 0.05 %. Los resultados condujeron a utilizar las pendientes de cada ecuación como fórmula de la velocidad de pérdida de humedad del pan (tabla 21 y figuras 17-28).

El pan elaborado con CMC mostró las pendientes más altas (0.38 a 0.20) Es decir, fueron los tratamientos que tuvieron la mayor velocidad de pérdida de humedad, aún mayor que el testigo

FIGURA 16
EFECTO DE LAS GOMAS SOBRE LA HUMEDAD DEL PAN PARA UN PERIODO DE 15 DÍAS DE ALMACENAMIENTO



TENDENCIA DE LA HUMEDAD EN EL PAN CON GOMAS ALMACENADO A TEMPERATURA AMBIENTE

Figura 17 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON CMC 0.025 %

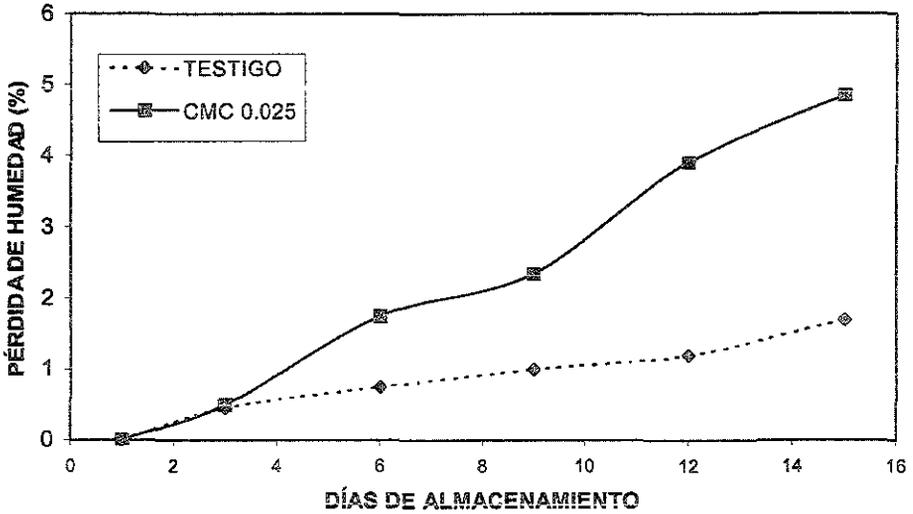


Figura 18 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON CMC 0.050 %

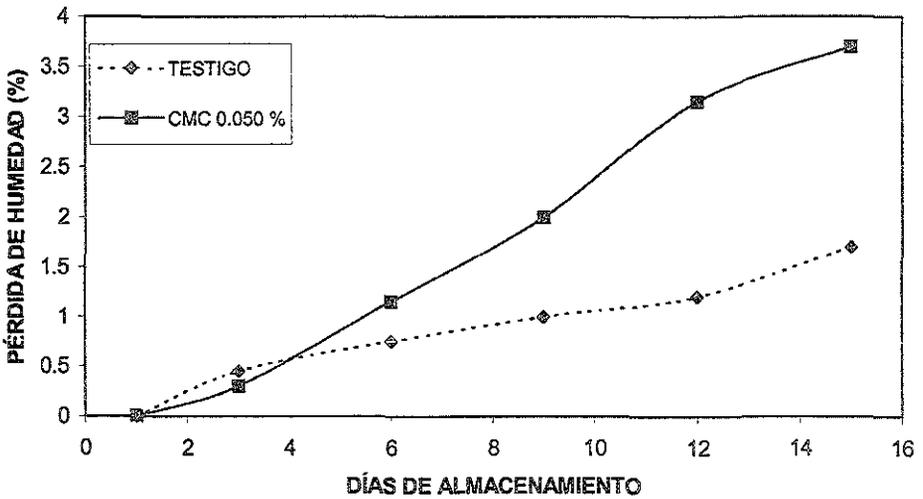


Figura 19 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON CMC 0.075 %

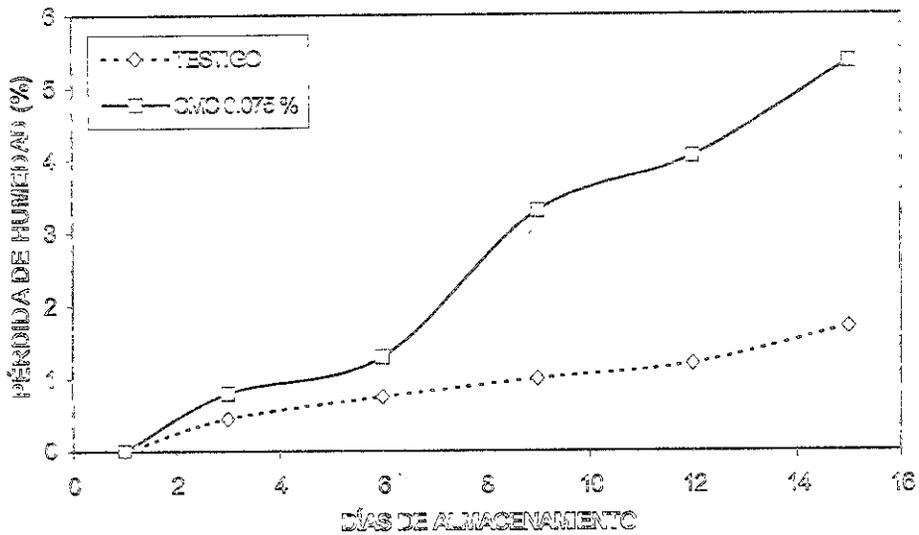


Figura 20 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON CMC 0.100 %

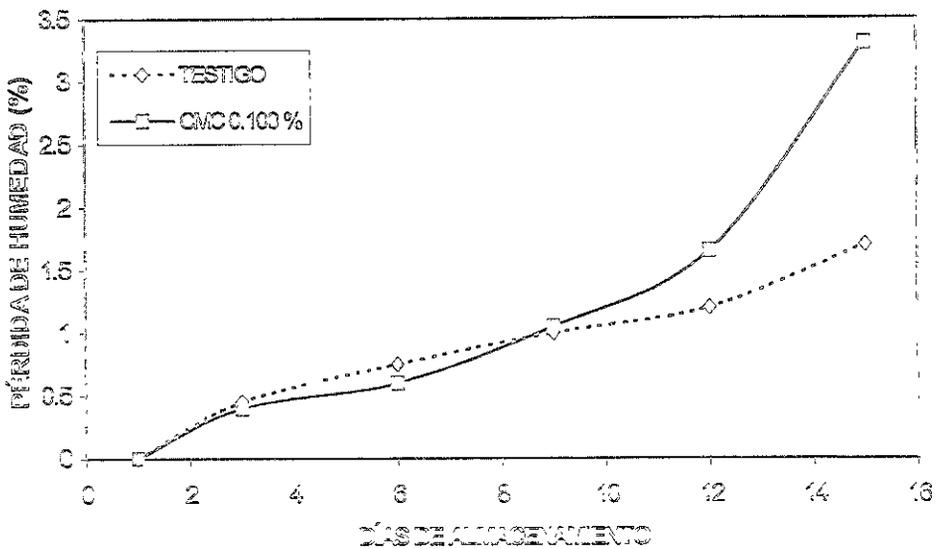


Figura 21 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON GM AL 0.4 %

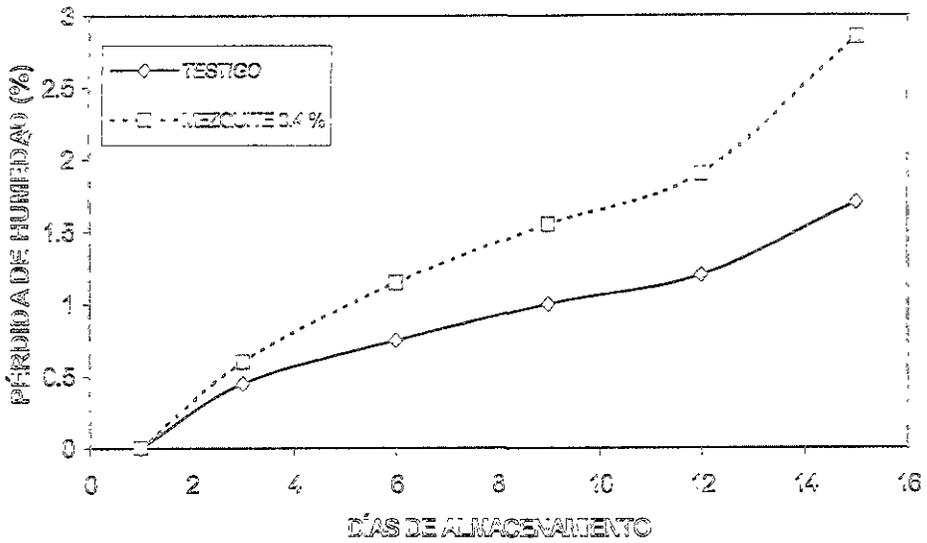


Figura 22 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON GM AL 0.8 %

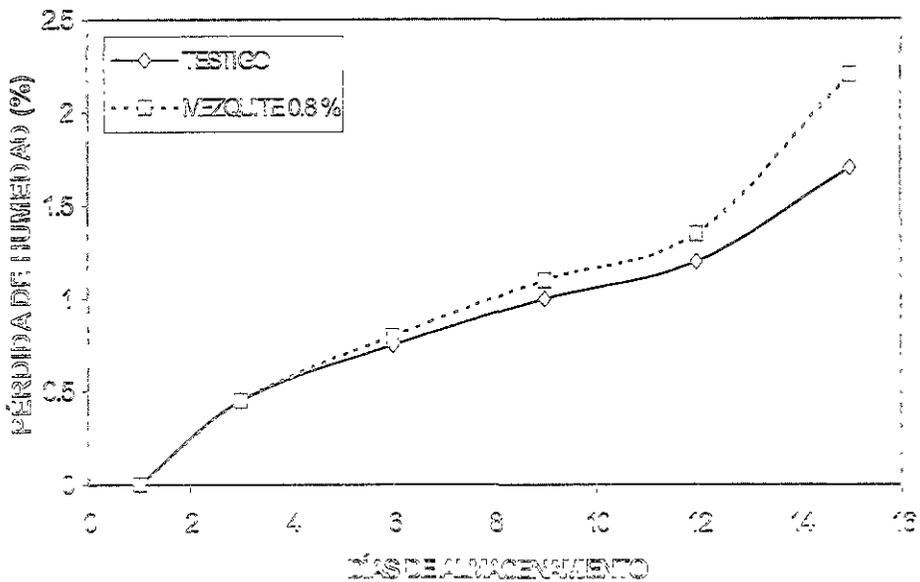


Figura 23 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON GM AL 1.0 %

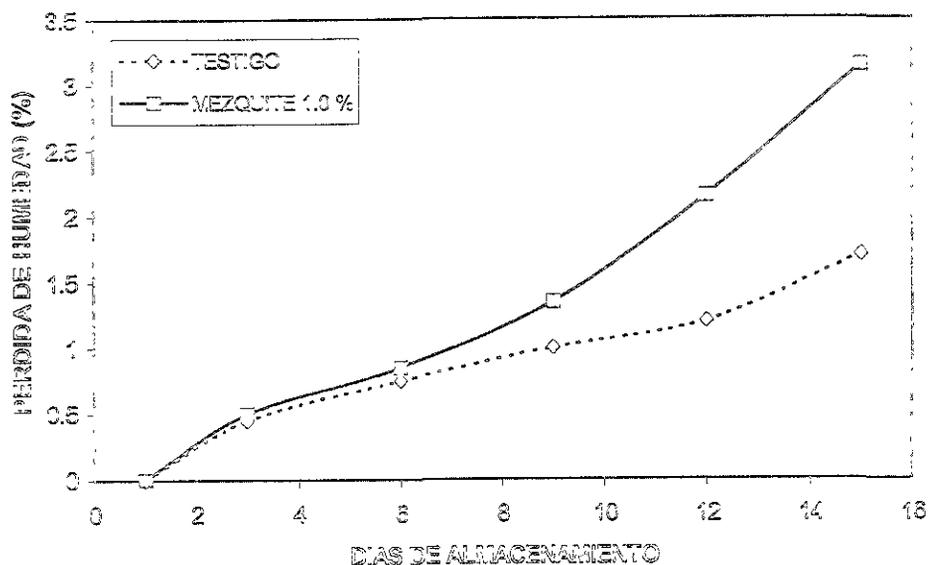


Figura 24 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON GM AL 1.2 %

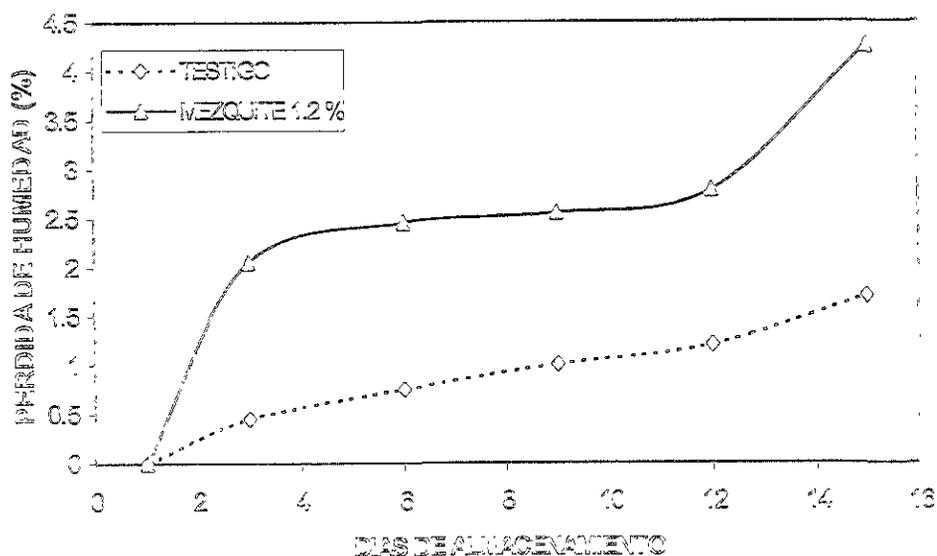


Figura 25 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON HPC 0.025 %

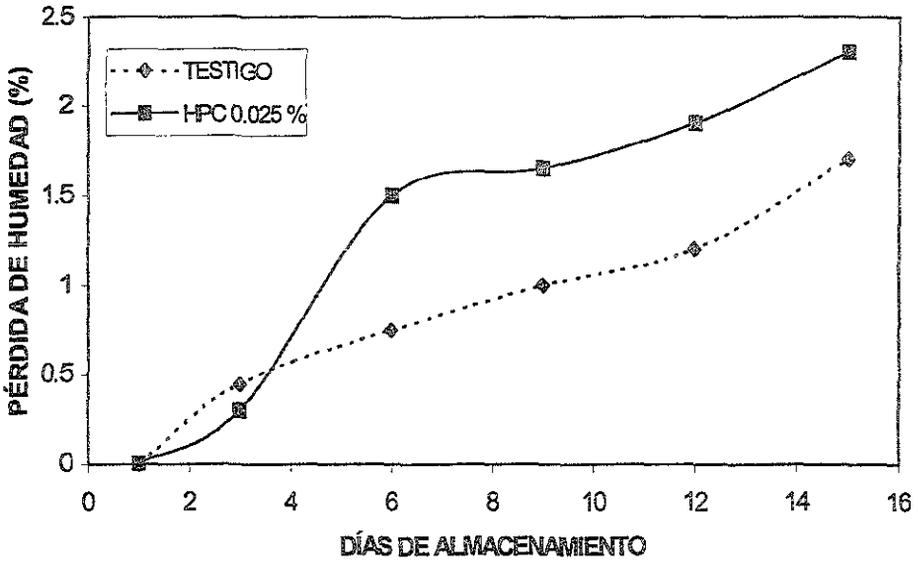


Figura 26 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON HPC 0.050 %

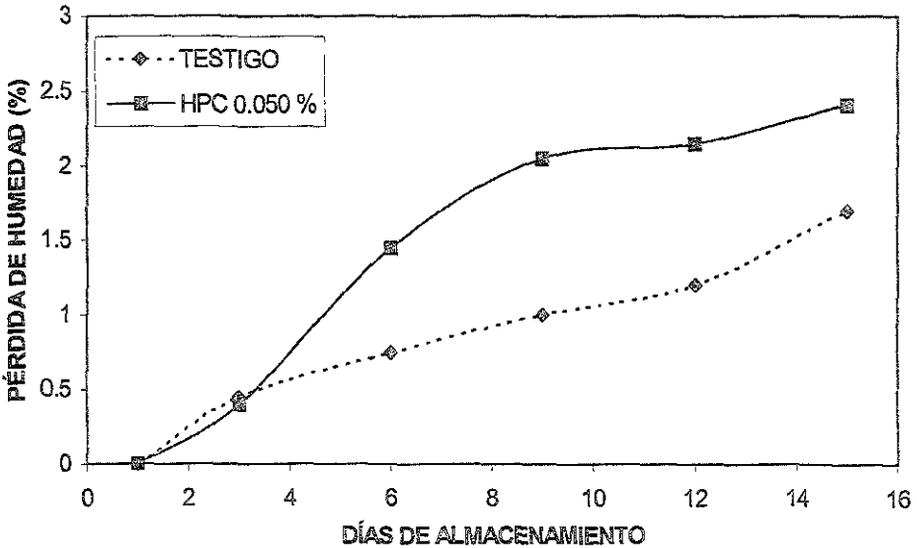


Figura 27 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON HPC 0.075 %

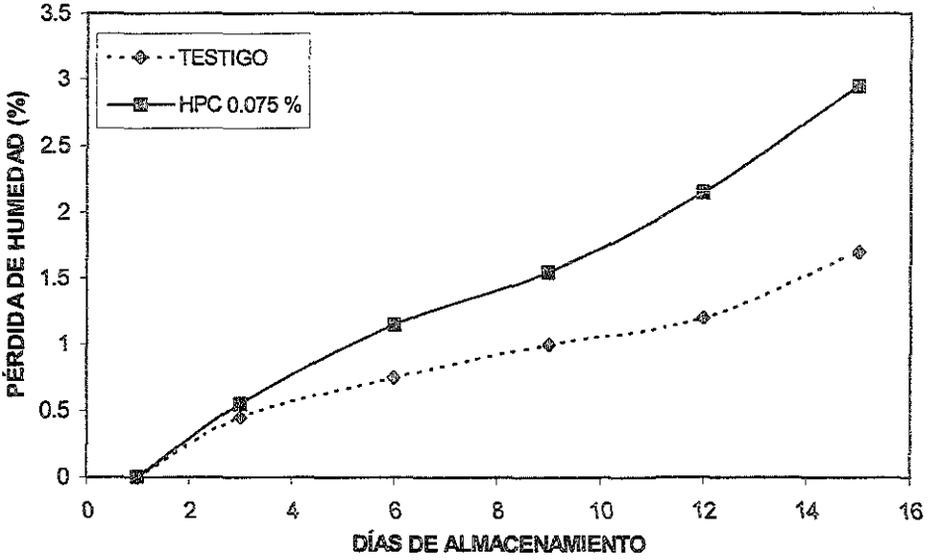


Figura 28 PÉRDIDA DE HUMEDAD EN PAN CON HPC 0.100 %

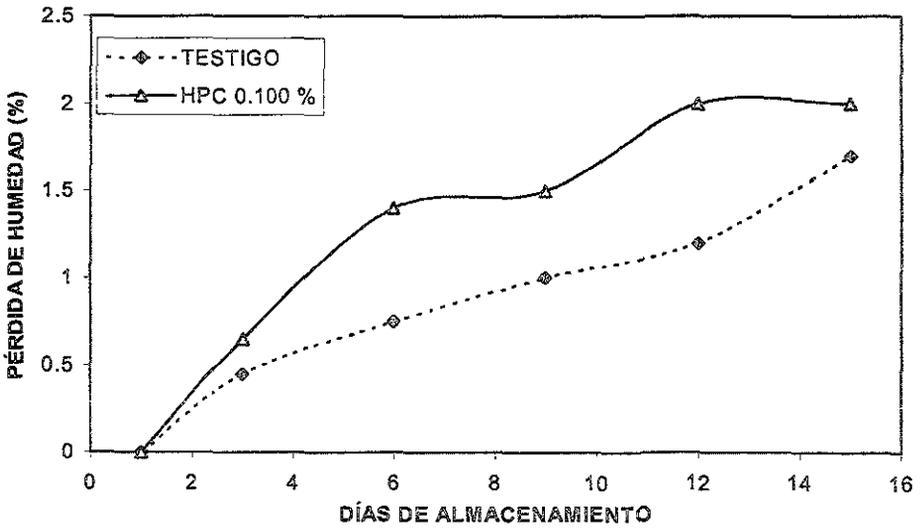


Tabla 22 Ecuaciones de la cinética de pérdida de humedad en pan con gomas durante el almacenamiento

Pan	Concentración (%)	Ecuación $y = mx + b$	R ²
Testigo	---	$0.10920x + 0.0129$	0.9709
CMC	0.025	$0.3513 x + 0.4681$	0.9901
	0.050	$0.2833 x - 0.3966$	0.9877
	0.075	$0.3857 x - 0.4903$	0.9809
	0.100	$0.2085 x - 0.4317$	0.8814
GM	0.4	$0.1848 x - 0.0749$	0.9753
	0.8	$0.1397 x - 0.0873$	0.9595
	1.0	$0.2120 x - 0.2940$	0.9710
	1.2	$0.2300 x + 0.5835$	0.8016
HPC	0.025	$0.1633 x + 0.0234$	0.9077
	0.050	$0.1775 x + 0.0493$	0.9091
	0.075	$0.1991 x - 0.1345$	0.9909
	0.100	$0.1393 x + 0.1903$	0.8880

c) Humedad del pan a los 15 días.

El pan testigo tuvo la pendiente mas baja, de 0.1092, lo que quiere decir que tuvo una velocidad de pérdida de humedad menor. Sin embargo, con la GM se obtuvo una pendiente de 0.13 a la concentración de 0.8 % que es muy parecida a la del testigo y HPC al 0.1 %.

Con los datos anteriores parecería que las gomas utilizadas no dieron resultados. A pesar de que el pan elaborado con goma perdía más rápido la humedad que el pan testigo, estos también tenían una mayor humedad inicial, por lo que al final del almacenamiento los panes con gomas retenían una mayor humedad y por lo tanto eran más suaves, aún en comparación con el testigo

Así, el pan que retuvo más humedad al final del almacenamiento fue el elaborado con GM a las cuatro concentraciones estudiadas, siendo las mejores concentraciones las de 0.8 y 1.2 % Con la goma de HPC a la concentración de 0.025 %.se retiene una mayor humedad. La CMC no proporcionó resultados satisfactorios a ninguna concentración, por lo que podemos concluir que la GM y la goma de HPC funcionan como agentes humectantes debido a su capacidad de absorción y retención de agua en el pan (27).

6.4 Análisis de Perfil de Textura (TPA)

El perfil de textura se determinó al primer día de elaboración del pan y posteriormente cada tercer día, durante un periodo de 15 días de almacenamiento en el que el pan en condiciones de humedad y temperatura ambiente.

6.4.1 Dureza

En la tabla 23 se muestran los resultados de dureza del pan. En ella se observa que las gomas tuvieron un efecto positivo sobre la dureza del pan. Los panes que contenían goma en su formulación fueron mucho más suaves que el testigo.

La GM fue la que tuvo un mayor efecto en la suavidad del pan con respecto a las otras gomas empleadas; y la de menor efecto fue la goma de HPC.

No se observó una tendencia en cuanto a la concentración empleada de goma. De entre lo más sobresaliente se encontró que con 0.8 % de GM se tuvo una dureza de 872.5 g que fue la más baja, y con 0.100 % de HPC se obtuvo una dureza de 2416.7 g que fue la mas alta.

Estos resultados concuerdan con los datos de humedad en el pan (tabla 21) en donde los panes con goma contenían más humedad y por lo tanto eran más suaves. Se observó que la dureza es una variable que depende del tiempo, pues a mayor tiempo de almacenamiento, mayor es el incremento de dureza.

El efecto de las gomas en el pan disminuyó hasta en un 50 % la dureza, siendo más notorio en pan que contenía GM en su formulación. Los resultados se ajustaron a cinéticas lineales ya que los coeficientes de correlación lineal obtenidos por mínimos cuadrados fueron de 0.81 o superiores, con una significancia del 0.05 % lo que condujo a utilizar las pendientes de cada ecuación como una medida de la velocidad de aumento de la dureza en el pan almacenado a temperatura ambiente. (Véase figuras 29 - 40 y sus pendientes).

Conforme pasaba el tiempo, el pan que aumentaba a mayor velocidad la dureza fue el elaborado con HPC a una concentración de 0.075 %, seguido del testigo con una velocidad de 335.71 g. Finalmente, el pan que tuvo un aumento de dureza mas lento fue el elaborado con GM a la concentración de 0.8 % (velocidad de 95.72).

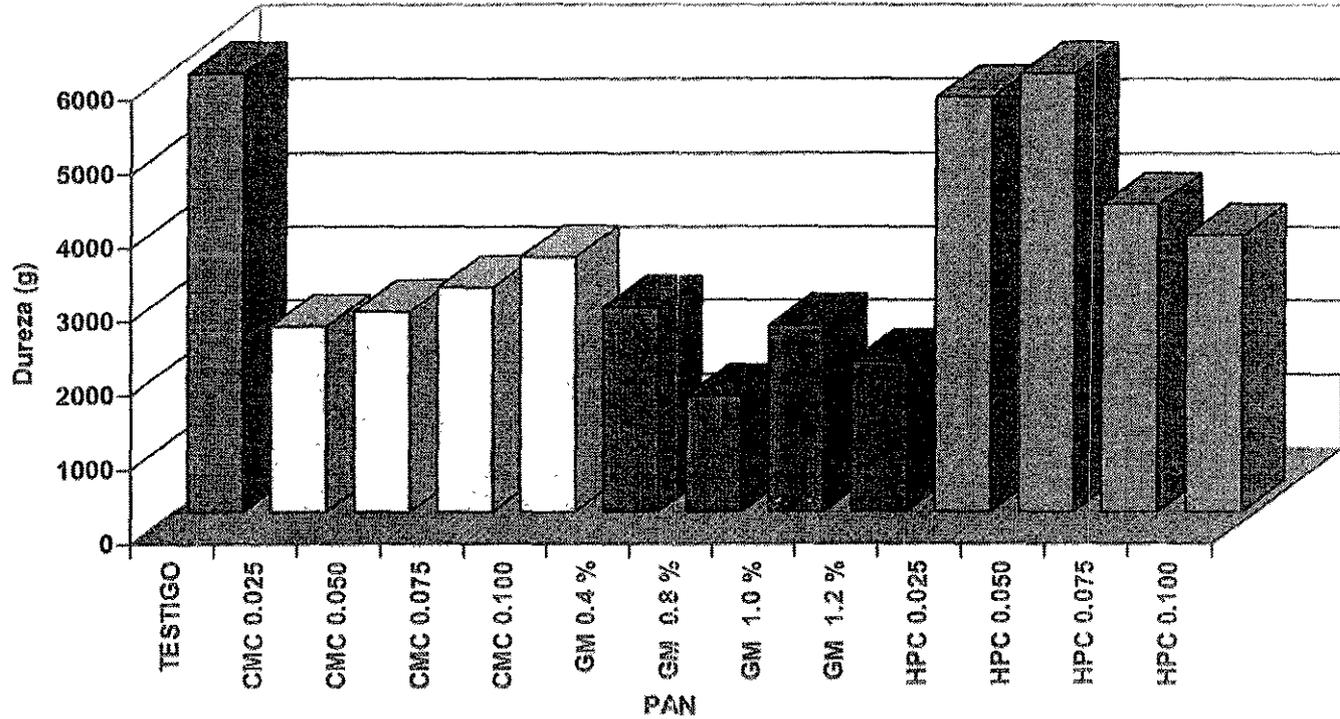
La dureza tiene un efecto más notorio sobre el envejecimiento del pan que la humedad del mismo, lo que concuerda con resultados de otras investigaciones. Asociado a esto, están los cambios en la estructura de las proteínas, el equilibrio del agua entre la proteína y el almidón, así como a la recristalización de este último (retrogradación) (6,28,29,67)

La explicación del porque los panes que contenían goma conservan por mas tiempo una textura suave es porque las gomas reaccionan con el almidón. El almidón es una

Tabla 23 Resultados de la dureza del pan almacenado.

Pan	Concentración (%)	Dureza (g)				
		Día 1	Día 3	Día 8	Día 10	Día 15
Testigo (sin goma)	---	3614.7	3975.8	6630.7	7638.8	7771.7
CMC	0.025	1975.8	2985.5	2901.3	3648.6	5053.0
	0.050	1280.5	2353.0	3232.8	2620.1	4030.1
	0.075	1340.9	3310.7	3479.8	3373.8	3646.9
	0.100	2180.5	2593.9	4037.5	3180.5	5232.1
GM	0.4	1386.6	2204.0	3318.7	3475.8	3407.3
	0.8	872.5	1220.1	1302.0	2310.7	2098.6
	1.0	1658.3	3213.3	2664.4	2359.7	2672.4
	1.2	1111.3	1406.7	2726.1	2846.9	2033.5
HPC	0.025	2665.7	4758.3	6417.3	6869.7	7314.0
	0.050	2794.6	4632.4	6420.1	7683.1	8116.7
	0.75	1728.8	3089.9	5428.1	5174.4	5404.6
	0.100	2416.7	2723.4	4681.1	4399.3	4481.1

Figura 29
DUREZA EN EL PAN EN UN PERIODO DE 15 DIAS DE ALMACENAMIENTO



TENDENCIA DEL INCREMENTO DE DUREZA EN EL PAN CON GOMAS
DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Figura 30 DUREZA EN PAN CON CMC 0.025 %

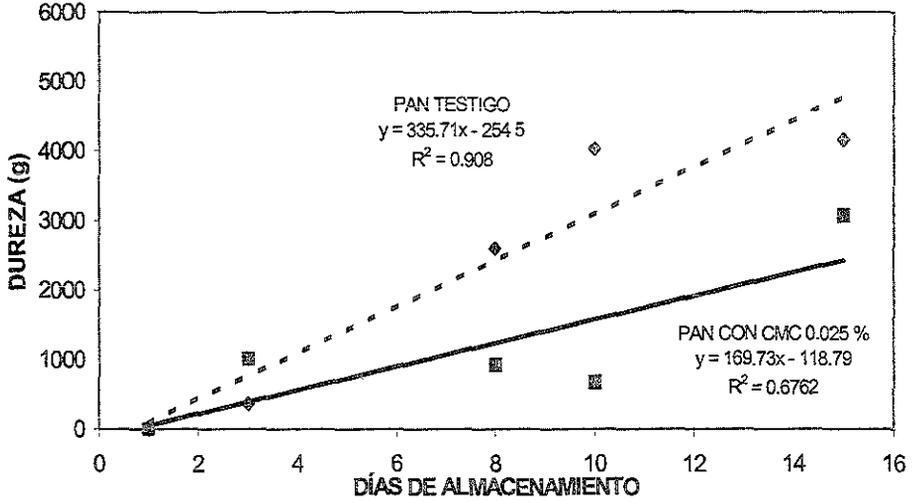


Figura 31 DUREZA EN PAN CON CMC 0.050 %

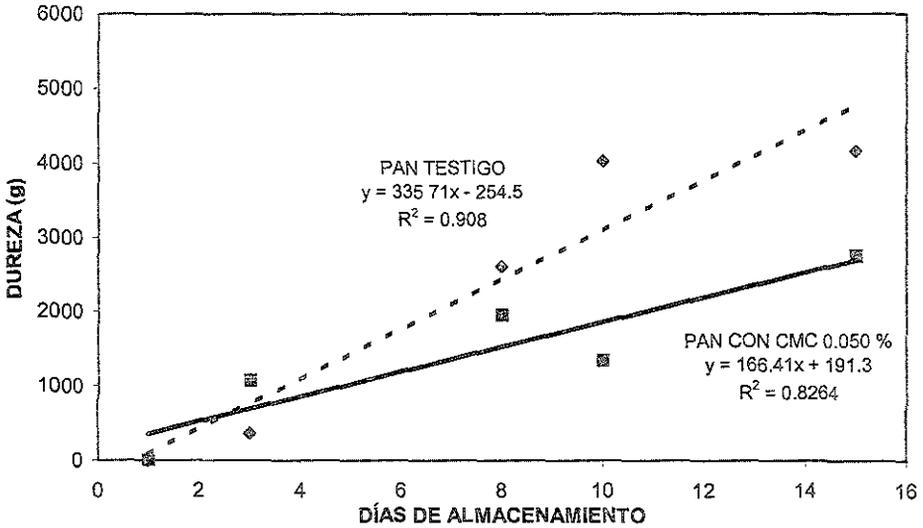


FIGURA 32 DUREZA EN PAN CON CMC 0.075 %

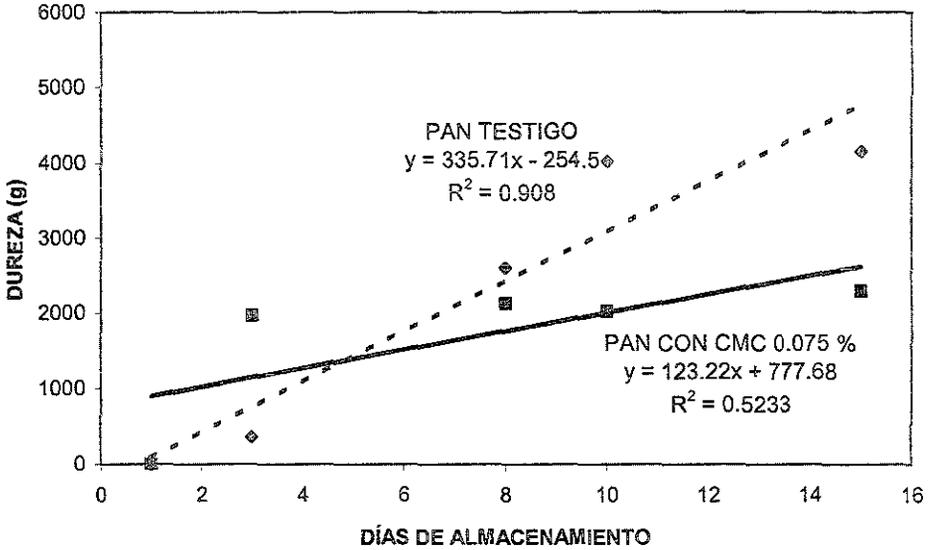


Figura 33 DUREZA EN PAN CON CMC 0.100 %

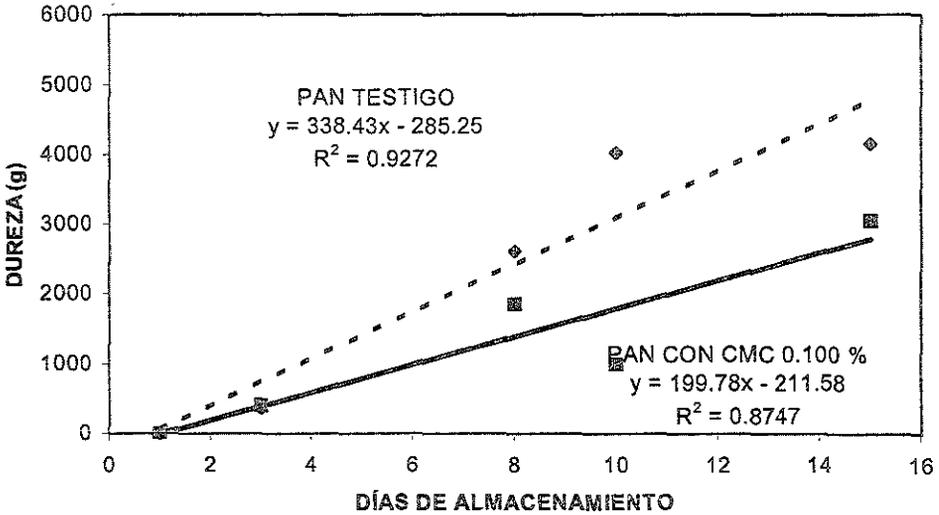


FIGURA 34 DUREZA EN PAN CON GM AL 0.4 %

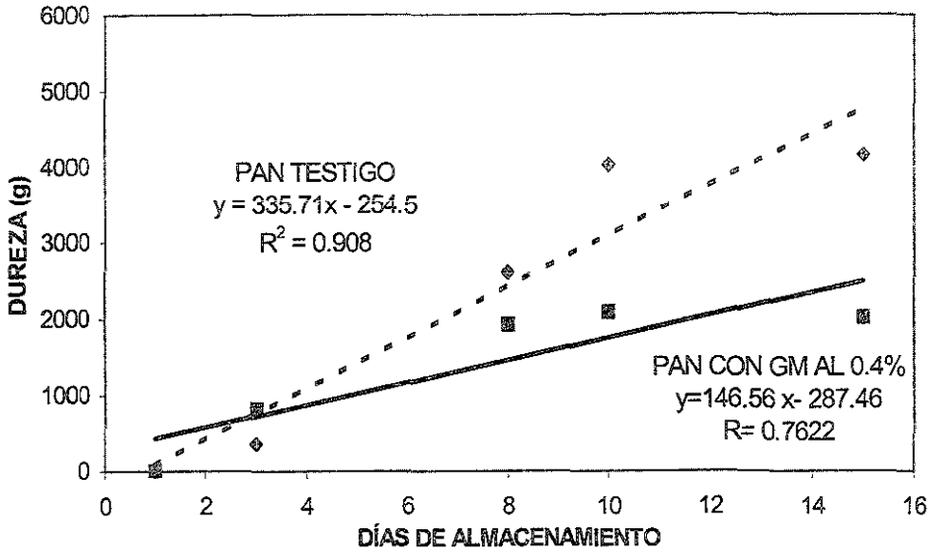


Figura 35 DUREZA EN PAN CON GM AL 0.8 %

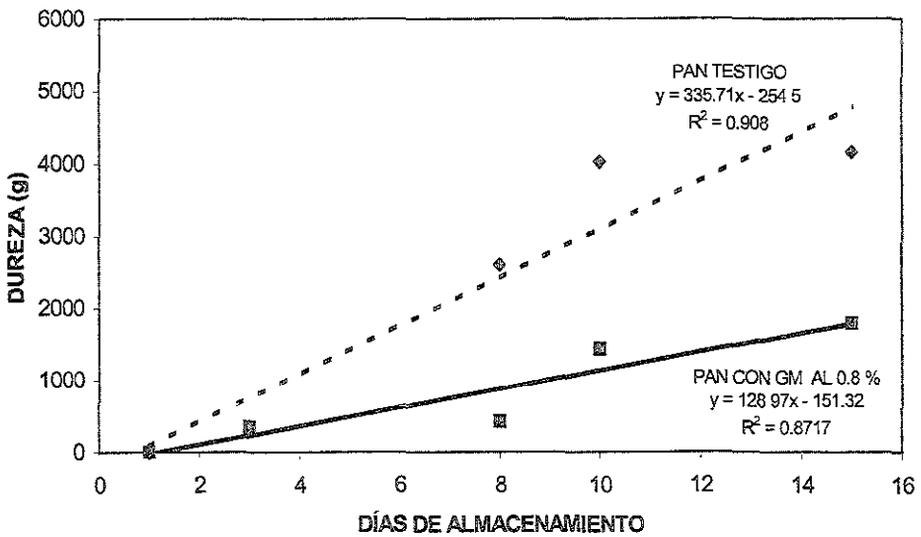


Figura 36 DUREZA EN PAN CON GM AL 1.0 %

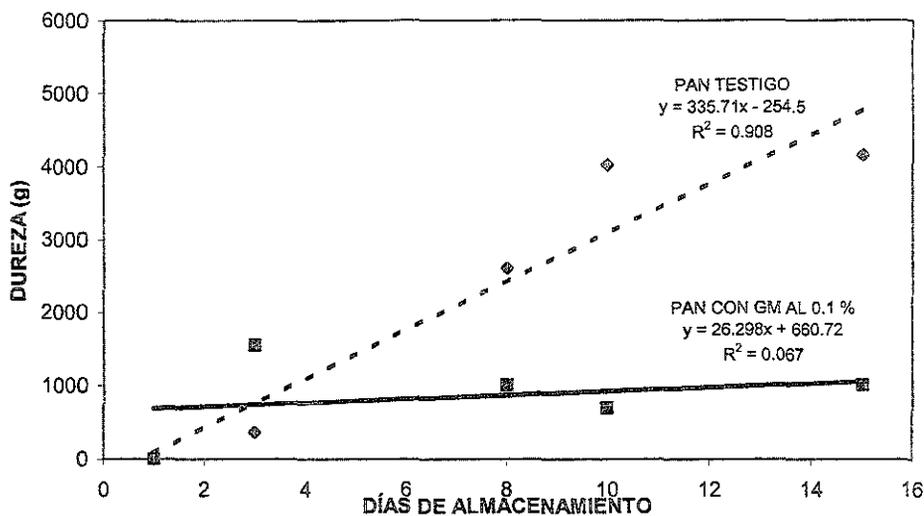


FIGURA 37 DUREZA EN PAN CON GM AL 1.2 %

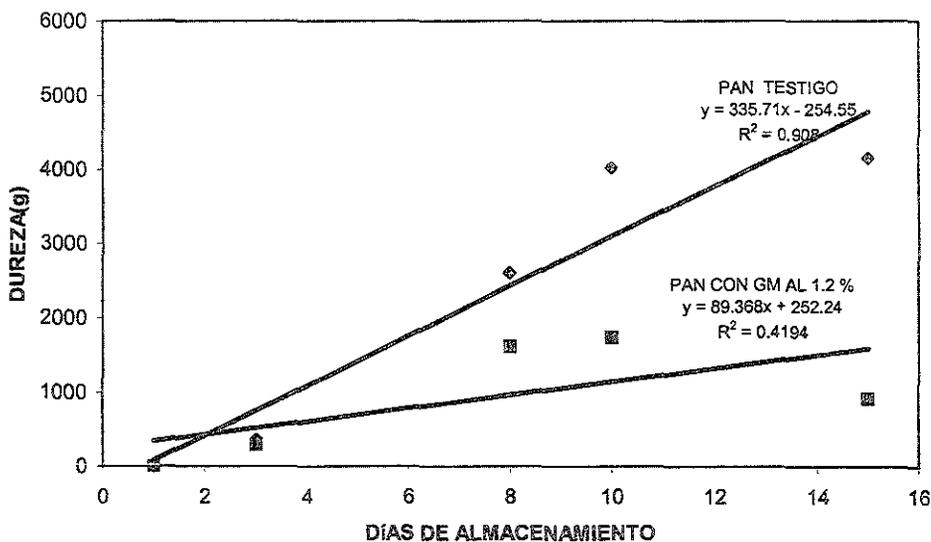


Figura 38 DUREZA EN PAN CON HPC 0.025 %

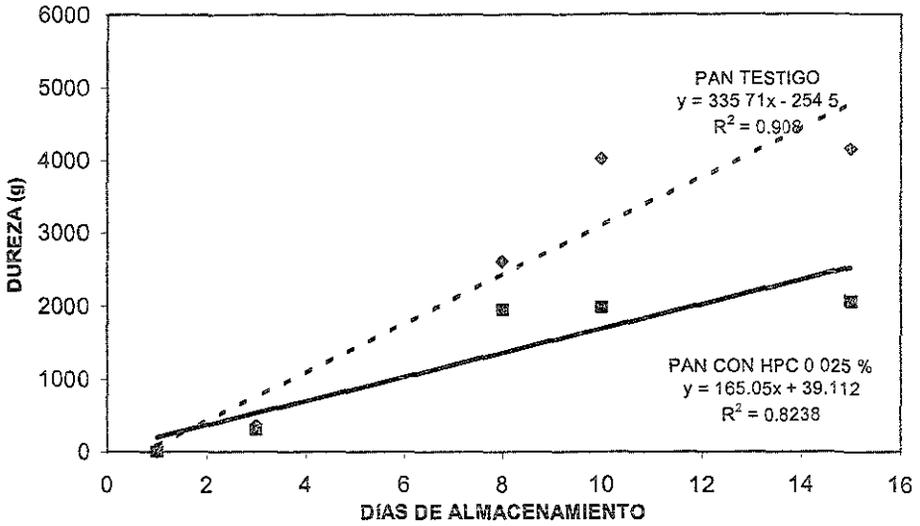


Figura 39 DUREZA EN PAN CON HPC 0.050 %

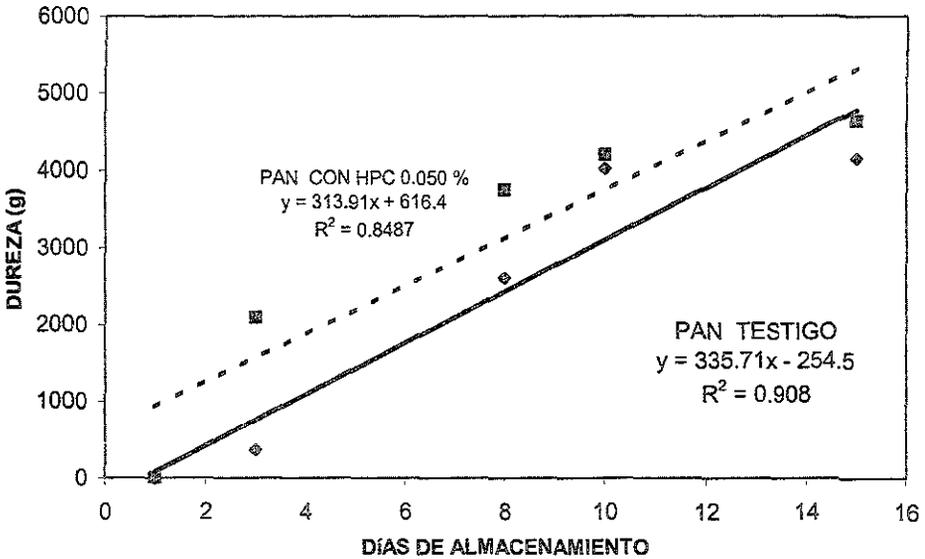


FIGURA 40 DUREZA EN PAN CON HPC 0.075 %

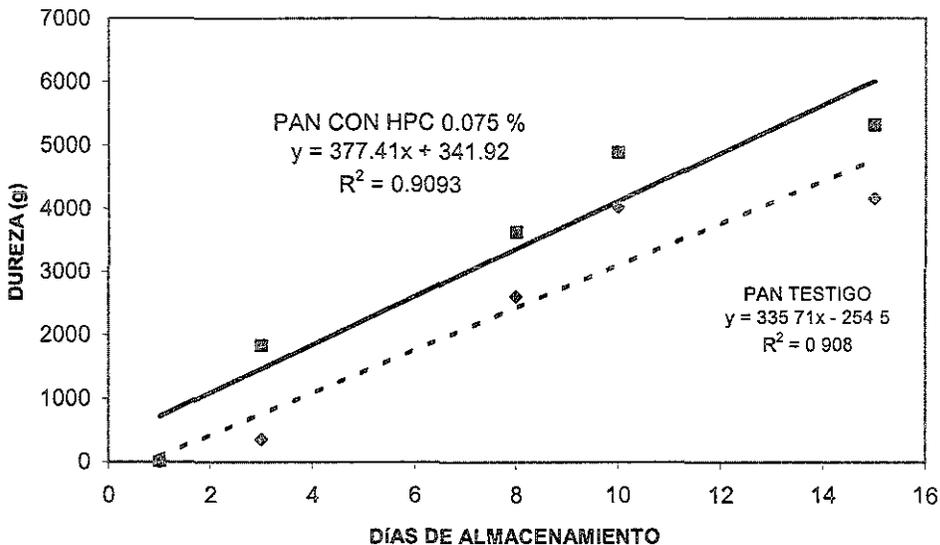
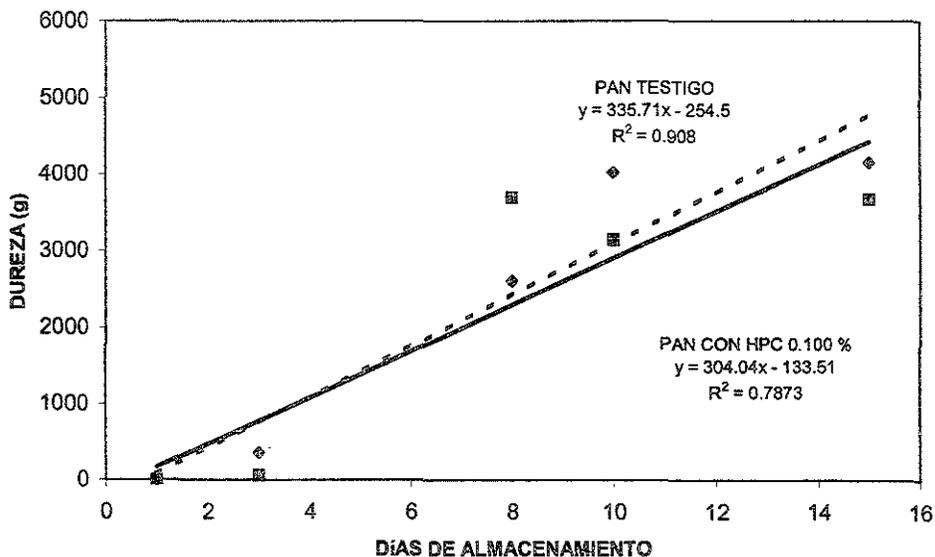


Figura 41 DUREZA EN PAN CON HPC 0.100%



combinación de amilosa y amilopectina. Durante el proceso de horneado, parte de la amilosa escapa de los gránulos de almidón disolviéndose ésta en el agua y una vez realizado el enfriamiento forma un gel bastante firme entre los gránulos de almidón hinchado del pan recién hecho. Este gel de amilosa contribuye a la firmeza inicial y a la estructura del pan, con el tiempo esta amilosa recristaliza a su forma original insoluble (retrograda), se vuelve dura y quebradiza y se reduce la esponjosidad de la miga (29,66,67).

Cuando añadimos gomas a la masa, una de las teorías del comportamiento del almidón menciona que durante la gelatinización del almidón la amilosa es puesta en libertad fuera del gránulo y forma una matriz externa. La amilosa entonces tiene más alta interacción amilosa-polisacárido la cual compite con la agregación amilosa-amilosa disminuyendo de esta manera la probabilidad de que ocurra la retrogradación del almidón (24).

El análisis de Varianza en una dirección mostró diferencias entre gomas, excepto HPC la cual mostró no tener diferencia en dureza con respecto al testigo. En cuanto a concentración no se tuvo diferencia significativa.

6.4.2 Cohesividad

En la tabla 24 se muestran los resultados de la cohesividad con respecto al tiempo y podemos apreciar que el pan que mantuvo durante mas tiempo la cohesividad fue el que contenía en su formulación gomas lo cual indica que la goma interactuó con el almidón (47,50).

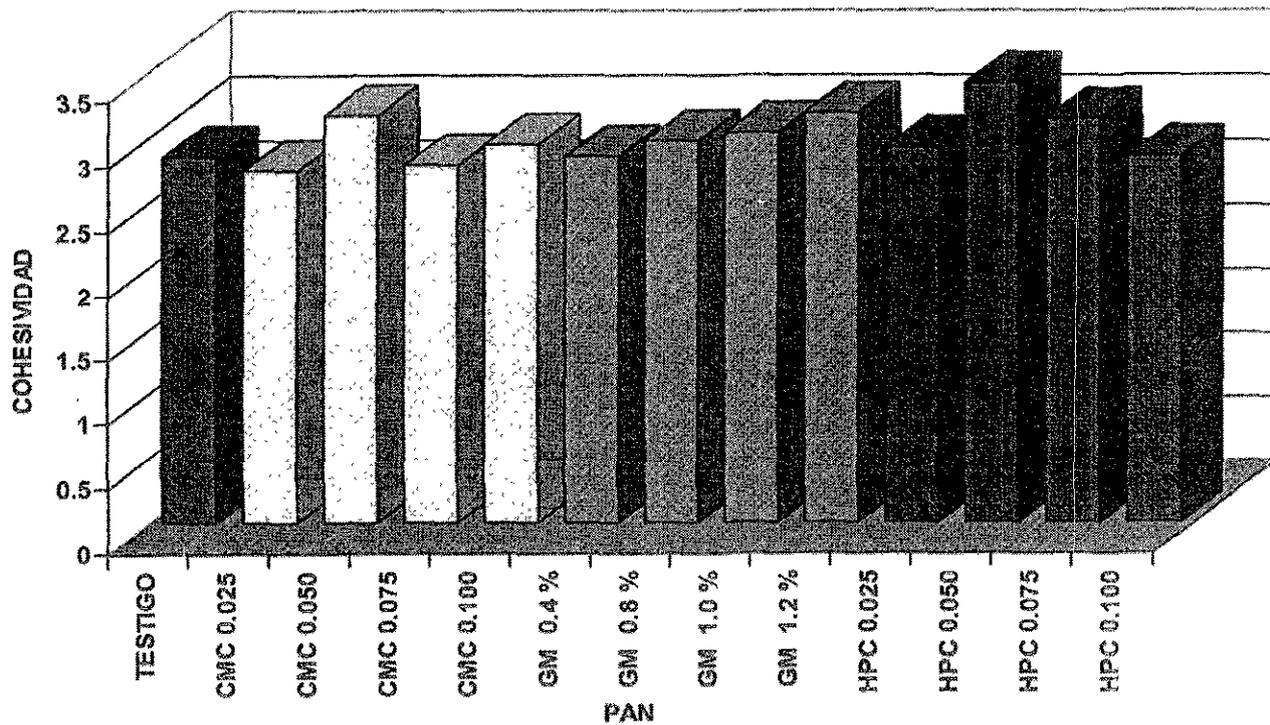
Al primer día de elaboración el pan no mostró tener diferencias significativas en la cohesividad. Sin embargo, después de un periodo de 15 días de almacenamiento si se encontró diferencia en la cohesividad, tal y como se muestra en la tabla 24 y figura 42.

Las figuras 42 y 43 muestran las características de cohesividad y elasticidad, las cuales están muy relacionadas entre sí. Se observa que el comportamiento para estas dos

Tabla 24 Resultados de la cohesividad del pan almacenado

Pan	Concentración (%)	Cohesividad ($\times 10^3$)				
		Día 1	Día 3	Día 8	Día 10	Día 15
Testigo (sin goma)	—	3.65	2.92	2.70	2.56	2.44
CMC	0.025	3.44	2.72	2.41	2.64	2.48
	0.050	3.49	2.95	2.74	2.63	3.98
	0.075	3.49	2.55	2.56	2.62	2.24
	0.100	4.23	2.52	2.72	2.77	2.46
GM	0.4	4.51	2.92	3.00	2.36	1.46
	0.8	4.28	3.15	2.86	2.24	2.34
	1.0	4.84	2.82	2.70	2.30	2.48
	1.2	4.79	3.33	2.71	2.47	2.60
HPC	0.025	3.88	2.93	2.54	2.58	2.67
	0.050	5.51	2.91	2.78	3.13	2.70
	0.075	3.61	2.88	2.63	2.60	3.98
	0.100	3.78	2.85	2.62	2.56	2.42

Figura 42
COHESIVIDAD EN EL PAN CON GOMAS EN UN PERIODO DE 15 DÍAS DE
ALMACENAMIENTO



características es prácticamente el mismo durante el almacenamiento, ya que tuvieron un decremento progresivo pero no significativo.

La cohesividad es la magnitud en la que una muestra puede ser deformada antes de romperse, por lo que valores altos de cohesividad significan que el pan mantiene mejor su estructura ante la acción de una fuerza compresora. Este comportamiento era el esperado durante la vida de anaquel, debido a que existen cambios provocados por la retrogradación del almidón y el envejecimiento, lo que provoca que la estructura sea más dura, frágil y quebradiza, por lo que disminuye la cohesividad entre las moléculas y reduce la esponjosidad de la miga (23).

6.4.3 Elasticidad

En la tabla 25 se muestran los resultados de la elasticidad del pan. Se observó un comportamiento parecido a la cohesividad.

La elasticidad del pan aumentó cuando en la formulación se adicionaron gomas, en donde la GM proporcionó una mayor elasticidad en el pan. La tendencia fue que al incrementar la concentración de mezquite en la formulación, aumentaba también la elasticidad del pan.

En cambio, con la goma de HPC el efecto fue contrario, puesto que a menores concentraciones mayor elasticidad.

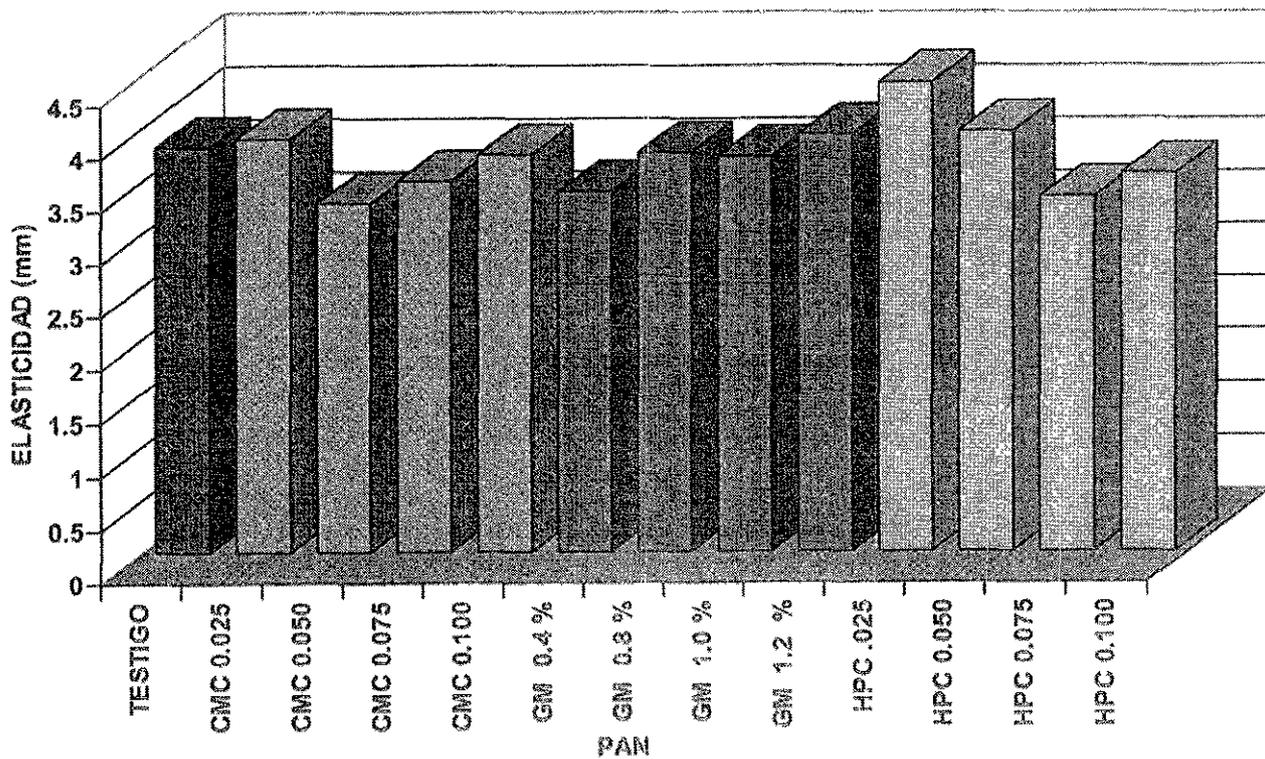
El pan testigo mostró tener una cinética de envejecimiento muy marcada en comparación con el pan que contenía gomas en su formulación, tal y como se aprecia en la figura 43.

Durante el almacenamiento la elasticidad disminuye, esto se debe a que ocurre una migración de humedad, provocando cambios en la composición estructural del sistema, posiblemente asociada también a la retrogradación de los almidones. Sin embargo, durante el

Tabla 25 Resultados de la elasticidad en el pan almacenado

Pan	Concentración (%)	Elasticidad ($E \cdot 10^{-11}$ mm)				
		Día 1	Día 3	Día 8	Día 10	Día 15
Testigo (sin goma)	—	4.15	4.01	3.73	3.83	3.38
CMC	0.025	5.80	3.31	2.92	4.05	3.35
	0.050	4.68	4.10	3.22	3.06	1.33
	0.075	4.28	2.77	3.78	3.57	3.03
	0.100	5.14	3.32	3.34	3.76	3.16
GM	0.4	4.81	3.14	3.59	3.26	2.13
	0.8	4.46	4.34	3.83	3.13	3.03
	1.0	5.55	3.21	3.24	3.18	3.37
	1.2	5.09	4.48	3.72	2.98	3.35
HPC	0.025	5.84	4.57	3.18	4.60	3.91
	0.050	3.31	3.77	4.78	4.22	3.74
	0.075	3.96	4.24	3.27	3.49	1.77
	0.100	4.54	3.30	3.27	3.35	3.31

Figura 43
TENDENCIA DE LA ELASTICIDAD EN PAN CON GOMAS PARA
UN PERIODO DE 15 DÍAS DE ALMACENAMIENTO



almacenamiento se observaron variaciones en la elasticidad y cohesividad, puesto que hubo días en donde estas disminuían y posteriormente aumentaban, esto se debió probablemente a la humedad relativa del ambiente. Lo importante aquí es ver que las gomas tuvieron un efecto positivo en la retrogradación del almidón, en donde la pérdida de elasticidad fue más lenta en comparación con el testigo. Estadísticamente no hay diferencia entre gomas y concentraciones empleadas (67).

6.4.4 Masticabilidad

La masticabilidad en el pan presentó diferencias significativas con referencia al pan testigo y al tiempo de almacenamiento. La tabla 26 y figura 44 muestran los valores de masticabilidad en el pan.

La masticabilidad disminuyó en casi todas las muestras de pan con goma, excepto para HPC al 0.025% y 0.050 %, quienes fueron estadísticamente iguales al testigo y diferentes a todas las demás concentraciones.

Desde un punto de vista sensorial, esto significa que el pan control y el que contiene HPC a la concentración de 0.025 % y 0.050 %, tienen que ser masticados mayor número de veces para poder deglutirlo (9).

6.4.5 Gomosidad

En la tabla 27 y figura 45 se observa que la gomosidad incrementó con la concentración y con el tiempo, aunque es menor para las concentraciones de goma GM, la cual estadísticamente es significativamente diferente al pan control.

Para el caso de pan elaborado con CMC, la gomosidad también se mantiene por debajo del control durante el almacenamiento.

Tabla 26 Resultados de la masticabilidad en el pan almacenado

Pan	Concentración (%)	Masticabilidad (g · mm)				
		Día 1	Día 3	Día 8	Día 10	Día 15
Testigo (sin goma)	---	548.8	466.0	669.2	749.7	642.4
CMC	0.025	394.8	270.0	205.0	391.4	421.5
	0.050	233.2	285.7	285.8	211.1	214.3
	0.075	200.5	234.4	337.7	315.7	249.0
	0.100	474.7	218.0	368.4	331.5	408.7
GM	0.4	300.9	202.4	358.2	268.4	106.9
	0.8	166.5	167.2	142.9	162.7	149.3
	1.0	446.6	291.3	234.1	173.0	223.7
	1.2	271.5	210.5	275.5	210.8	177.7
HPC	0.025	831.1	638.4	519.0	816.1	765.3
	0.050	510.8	509.5	855.2	1017.2	821.6
	0.075	247.6	377.4	467.8	470.7	381.4
	0.100	416.1	357.1	402.4	377.9	360.5

Figura 44
MASTICABILIDAD EN EL PAN EN UN PERIODO DE 15 DÍAS DE ALMACENAMIENTO

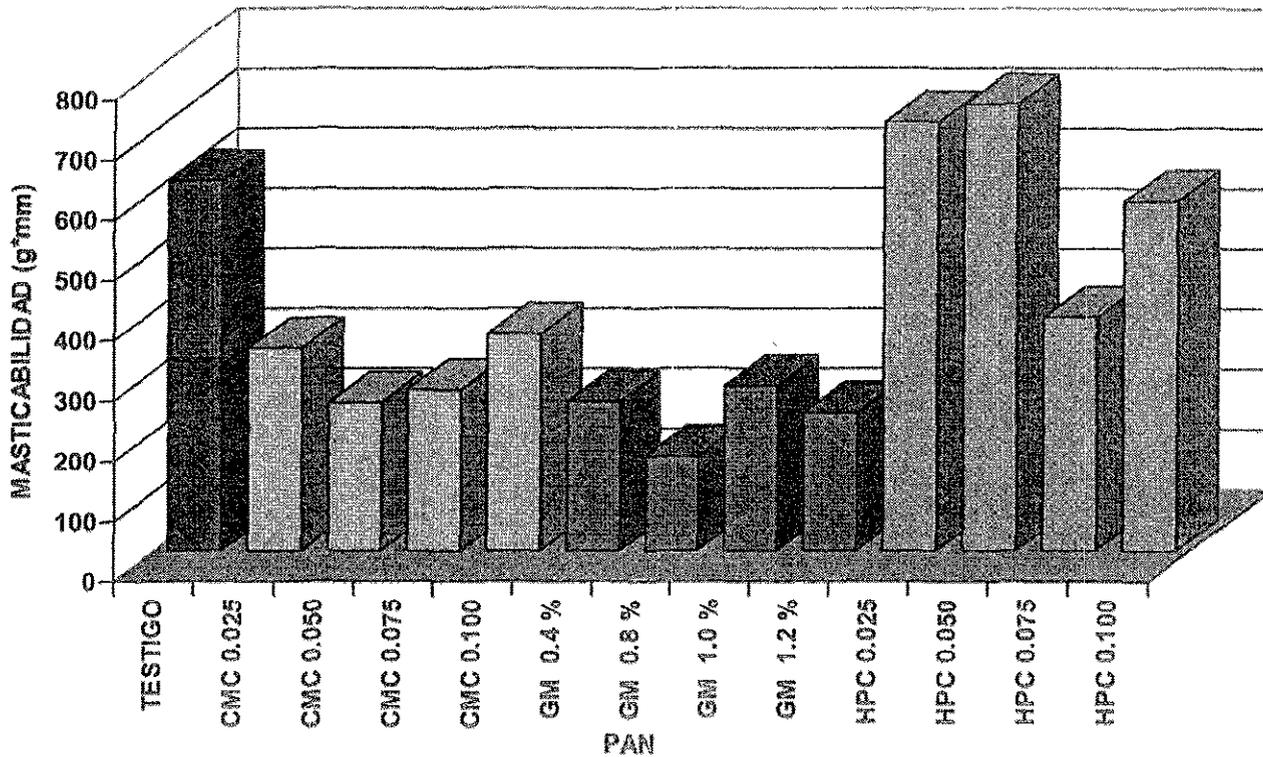
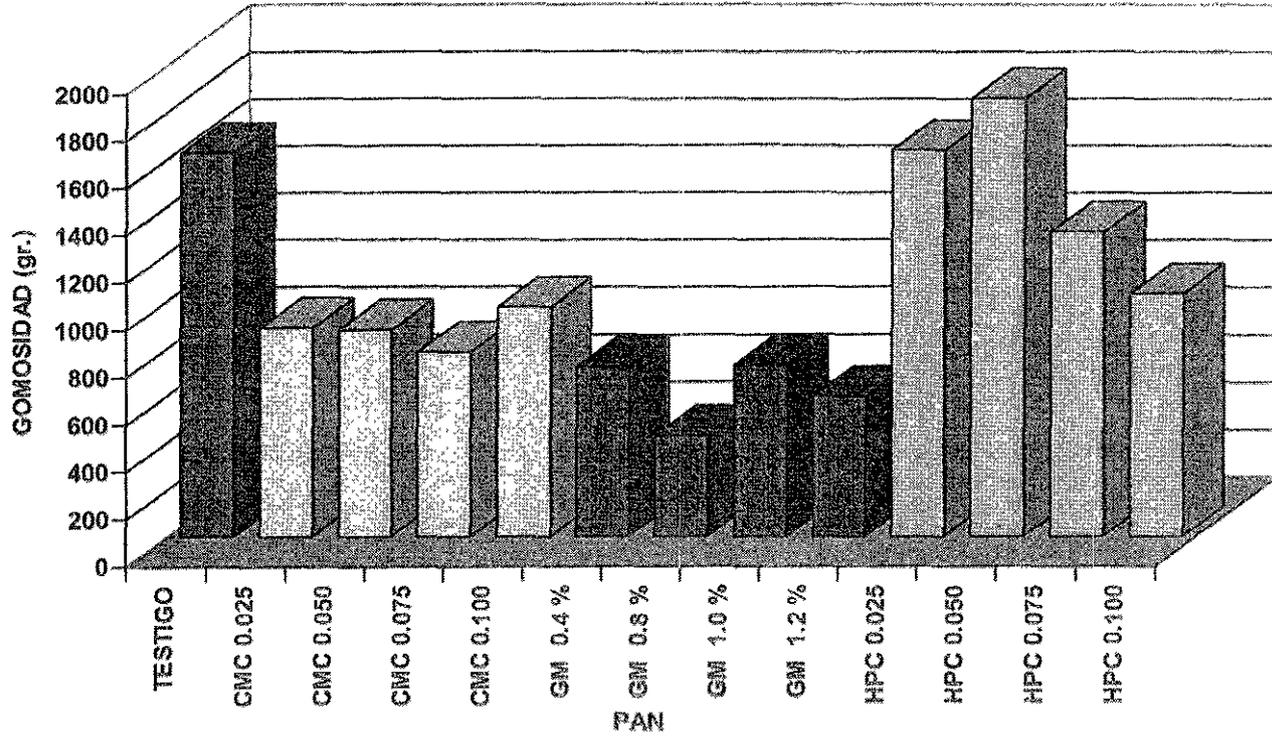


Tabla 27 Resultados de la gomosis en el pan almacenado

Pan	Concentración (%)	Gomosis (g)				
		Día 1	Día 3	Día 8	Día 10	Día 15
Testigo (sin goma)	---	1322.6	1161.7	1792.2	1955.5	1897.8
CMC	0.025	680.8	814.1	700.9	965.7	1255.6
	0.050	498.1	695.7	886.7	688.3	1604.3
	0.075	468.5	845.5	891.5	884.2	819.4
	0.100	923.0	655.9	1101.8	880.9	1290.2
GM	0.4	625.4	644.2	995.9	822.7	499.8
	0.8	373.4	385.3	372.8	518.9	491.4
	1.0	803.6	906.1	721.7	542.9	662.7
	1.2	533.3	468.9	739.0	705.7	529.9
HPC	0.025	1423.0	1395.1	1630.6	1773.7	1952.8
	0.050	1540.6	1350.8	1789.2	2409.4	2193.9
	0.075	625.3	890.2	1428.6	1348.9	2155.3
	0.100	914.7	777.5	1228.7	1126.6	1088.0

Figura 45
 GOMOSIDAD EN EL PAN EN UN PERIODO DE 15 DIAS DE ALMACENAMIENTO



La gomosidad, es decir, la energía requerida para desintegrar el pan y poder deglutirlo, se incrementó ante bajas concentraciones de HPC. Este efecto pudo observarse al presentar el pan una superficie pegajosa.

La gomosidad aumentó posiblemente debido a que el HPC, presentó una mayor retención de humedad como se observó en el farinograma, lo que puede provocar una apariencia gomosa o pastosa en la superficie debido a la migración de azúcares hacia la superficie del pan.

7.0 CONCLUSIONES

Las gomas empleadas modifican las propiedades reológicas de la masa

La goma de mezquite fue la que tuvo mayor efecto sobre la velocidad de hidratación de la harina

La estabilidad de la harina mejora con la adición de hidroxipropilcelulosa. La adición de goma de mezquite provocó que se necesitara más tiempo para el desarrollo del gluten

Se puede concluir que las gomas estudiadas vuelven al gluten del trigo mas fuerte actuando como reforzadores.

La goma de mezquite volvió al gluten de trigo mas balanceado haciéndolo más apto para la panificación

En cambio la hidroxipropilcelulosa modificó la extensibilidad del gluten de forma negativa lo que trajo como consecuencia que se tuvo una harina apta para pastas y no para panificación

Por el análisis de los resultados podemos concluir que la goma de mezquite a las concentraciones empleadas es la que mejores resultados da para mejorar la calidad de la harina, haciéndola más apta para panificación.

Las gomas no tuvieron efecto sobre el volumen del pan

Las gomas incrementaron la humedad en el pan danés.

La goma de mezquite mantuvo las humedades mas altas al inicio y durante el periodo de almacenamiento, favoreciendo una mayor suavidad en el mismo

El empleo de gomas en la formulación de pan danés modificó las propiedades de textura al inicio y durante el almacenamiento del pan.

De los parámetros de textura analizados, la dureza fue una de las propiedades mas favorecidas por el empleo de gomas.

Los parámetros de cohesividad y elasticidad del pan se mantuvieron estables durante los 15 días de almacenamiento.

La goma de mezquite a concentraciones intermedias de 0.8-1.0 % mejora las propiedades de textura en el pan danés.

Finalmente, el objetivo se cumplió puesto que se logró alargar la vida útil del pan mediante el empleo de gomas.

8.0 RECOMENDACIONES

La presente investigación se basó principalmente en el comportamiento reológico y en parámetros de textura instrumentales, por lo que llevar a cabo una evaluación sensorial sería de gran ayuda para completar los estudios, ya que así se podrían correlacionar los datos instrumentales con los sensoriales y obtener una información más confiable de los resultados.

También es recomendable efectuar las mismas pruebas pero bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y luz durante la vida de anaquel de los productos.

Para el caso de la goma de mezquite, debido a su efecto positivo sobre la vida de anaquel del pan, sería conveniente darle un mayor impulso a la utilización de esta goma, principalmente en alimentos.

Los resultados comparativos entre gomas para este trabajo en particular mostraron grandes ventajas en el uso de goma de mezquite. Por lo tanto, el parámetro del color por la cual está clasificada esta goma, me parece que es insuficiente para ser considerada como un subproducto de menor calidad a la goma arábica.

La realización de una investigación sobre el mecanismo de acción para la goma de mezquite, permitirá conocer científicamente, su interacción con cada componente de la formulación, lo que también sería de gran utilidad para la confirmación de los resultados

Así mismo, sería recomendable realizar un análisis de costos y disponibilidad de la goma de mezquite, con el objeto de cuantificar las ventajas que reporta la utilización de esta goma en productos de panificación.

Finalmente recomiendo un estudio de vida de anaquel del pan y el efecto en los parámetros de textura, tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- ❖ Variación en las condiciones de procesabilidad durante el amasado y fermentado.
- ❖ Variación en el tipo de formulación.
- ❖ Realización de mezclas de aditivos.
- ❖ Verificación de resultados con pruebas complementarias como la DSC. (Calorimetría Diferencial de Barrido.).

9.0 BIBLIOGRAFÍA

- 1) A.A.C.C. (1983). Approved methods of AACC. American Association of Cereal Chemist, St Paul, MN. USA
- 2) Benitez A. & Salazar, T.A. (1998). Tecnología de Alimentos. Industria y Mercado Revista de ATAM .33, (08). Agosto. Pag. 30-32
- 3) American Institute of Baking (1993). Ciencia de la Panificación. Curso por correspondencia. BIMBO.
- 4) American Institute of Baking. (1990) Curso de Panificación.USA.
- 5) Baduñ, S. (1990). Química de los alimentos. Editorial. Alhambra Mexicana. México. D.F
- 6) Bashford, L.L. and Hartung, T.E., (1976), Rheological properties related to bread freshness. J. Of Food Science 41: 446-447..
- 7) Belitz, H.D. y Grash, W. (1990). Química de los Alimentos. Editorial Acribia. España.
- 8) Boume, M. C.,. (1982) Food Texture and Viscosity. USA. Academic Press INC.
- 9) Bourne, M.C., (1978), Texture Profile analysis. Food Technology, July: 62-72.
- 10) Bennion, P. & Bamford, G. (1979). The Technology of Cake Making. Great Britain. Leonar Hill Books.
- 11) Boyle, P. & Hebeda, R.R. (1990) Antistaling Enzyme for Baked Goods. USA. Food Technology.

- 12) Brabender, C.W. (1989). *Food Quality Testing With Brabender*. Brabender, C.W. Instrumentos Inc. Manual de equipos de laboratorio de Brabender. USA.
- 13) Canadian International Grains Institute. (1993). *Grains & Oilseeds, Handling, Marketing, Processing. C.I.G.I.* Fourth edition. Vol. I y II.
- 14) Charley, H. (1991). *Tecnología de Alimentos*. Editorial Noriega Limusa. México.
- 15) Charalambous, G. (1993). *Shelf Life Studies of Foods and Beverage*. Denmark; Elsevier Science Publishers. B.U.
- 16) De Luisa, Itzar. (1996). *Evaluación del Efecto de Cuatro Materiales de Envase en la protección contra el Envejecimiento de dos Variedades de Pan Dulce*. Tesis de la Licenciatura de Nutrición y Ciencia de los Alimentos. Universidad Iberoamericana. México. D.F.
- 17) Desrosier, N.W. (1977) *Elements of Food Technology*. AVI Publishing Company, Inc. First Edition. USA.
- 18) Dubois, Don. (1990) *Function of Baking Ingredients*. American Institute of Baking. American Institute of Baking Memorys, Baking Production Technology Course. USA.
- 19) Eaker, H.P. (1977). *Manual para supervisores*. Editorial Diana. México. D.F.
- 20) Elf-Atochem (1995) *Current Status on the use of Bromate in Flour and Bread Technical Bulletin*. Atochem Elf-Aquitaine.
- 21) Elguero Ortiz de Montellano, SA. (1991). *Evaluación de la vida de anaquel de un producto de panificación utilizando diferentes materiales de envase con atmósferas controladas*. Tesis de la licenciatura en Nutrición y Ciencia de los Alimentos. Universidad Iberoamericana. México. D.F.

- 22) Eustace, D. (1988) Wheat Flour Milling. Research departament, american Institute of Baking. Technicall Bulletin. X. Issue 11. November,
- 23) Fennema, O.R. (1993) Química de los Alimentos. Editorial Acribia,, España.
- 24) Friend, P. C. , Waniska, R.D. and Rooney, L.W.(1993)“ Effects of Hydrocolloids on Processing and qualities of Wheat tortillas”. Journal of Cereal Chemistry, 70(3).
- 25) Furia, E. (1972). Hanbook of food additives.C.R. Press. USA.
- 26) Gianola, G. (1985). La industria Moderna de Galletas y Pastelería. Editorial Paraninfo. España.
- 27) Glicksman M. (1982). Food Hidrocolloids. Firsth Edition. Vol. II, CRS Press, Inc., USA.
- 28) Gómez, Ma. C., L. Coll y Gutierrez, Ma. L.(1996) Análisis de Textura de la masa de hojaldre y el hojaldre elaborado a partir de la misma. Alimentaria. Julio-Agosto, 87-93
- 29) Harned Faridi, Ph. D.(1990) Dought. Rheology and Baked Product Texture. AVI Book. New York.
- 30) Hammer M..(1994). Reingeniería. Editorial Norma. México.
- 31) Hernández M., Lynch M. Ch. A.. y Bourges, H. (1983). Valor Nutritivo de los Alimentos Mexicanos. Publicación INN No. 12. 9ª edición. México.
- 32) Hebeda, R. E. (1990). Developments in Enzymes for Retarding Staling of Baked Goods. USA. Cereal Foods.
- 33) Hosene, C.R.(1991) Principio de Ciencia y Tecnología de los cereales. Editorial Acribia España.

- 34) Huebner, F.R. and Wall, J.S. (1979) Polysaccharide interactions with wheat proteins and flour doughs. Cereal chemistry. 56(2); 68-73.
- 35) Hugh, B.M. (1981) American Institute of Baking. Memoris, Cookie. Technology course. Manhattan, K.C.
- 36) INEGI. (1990) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Abasto y comercialización de productos básicos: Trigo. México.
- 37) Instituto Nacional de investigaciones Agrícolas SARH.(1984) Laboratorio Central de Farinografía: Variedades Comerciales de Trigo. México
- 38) Inglet, G. (1974) Wheat: Production and Utilitation. The Avi Pu. Co. Inc. USA.
- 39) Información técnica (1990). Ideal CMC (FG) de Ingeniería y Desarrollo alimentario. Aqualon, México.
- 40) Información técnica (1994). Klucel. (Hidroxypropylcellulose). Aqualon. México.
- 41) Información Técnica. (1990). Sodium Carboxymethyl Cellulose. Physical and Chemical Properties". Aqualon. México.
- 42) Jenkins, Wilmer A. (1991) Packaging Foods With Plastics. Editorial, Technomic Pu. Co. Inc. USA.
- 43) Kent, N.L. (1988). Tecnología de Cereales. Editorial Acribia. España.
- 44) Kramer, A., Szczesniak, A. (1973) Texture Measurements of Foods. Netherlands Reidel Publishing Company.
- 45) Lees, R.(1989) Análisis de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza España.

- 46) Lepatre, F. 1988. *Aditivos y auxiliares de fabricación en industrias agroalimentarias.* Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- 47) Lorenz, K and Disalver, W., (1982), *Bread compressibility as affected by slice thickness.* J. of Food Science. 47: 689-691
- 48) Manley D.J.R (1983) *Tecnología de la Industria Galletera.* Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- 49) Monroy, J.Y. (1976). *La industria Panificadora en México y Algunos de sus Problemas.* Tesis de licenciatura de Químico Farmaceutico Biologo, Facultad de Química. UNAM. México.
- 50) Peleg, M. (1976). *Texture profile analysis parameters obtained and instron universal testing machine.* J. of Food Science 41: 721-722
- 51) Pomeranz, Y. (1988). *Wheat: Chemistry and Technology.* American Association of Cereal Chemists, Inc. Third Edition. Vol I y II. USA.
- 52) Pomeranz, Y. & Shellenberg, J. (1971) *Bread Science and Technology.* USA. Avi Publishing Company, Inc. USA.
- 53) Potter, N. (1989) *La ciencia de los alimentos.* Editorial Harla.. México.
- 54) Preston, K.R. y Dexter, J.E. (1987). *Effects of Starch Damage and Water Absorption on the Alveograph Properties of Canadian Hard Red Spring Wheats.* Canadian Institute of Food Science and Technology. 20,(3), 75-80.
- 55) Primo E. (1980) *Productos para el campo y propiedades de los alimentos. Tomo III. Tecnología y Química Agroindustrial.* 2ª edición. Editorial Alhambra Mexicana. México.

- 56) Pyler, E.J. (1988). Baking Science & Technology. Sosland Publishing Company. Third Edition. Vol I y II
- 57) Qarooni, J.. (1993). “ Wheat Flour Tortillas “. Technical Bulletin aib. XV(5).
- 58) Quaglia, G. (1991). Ciencia y Tecnología de la Panificación. Editorial Acribia. España.
- 59) Ramirez, B., López, G.(1991). Cambios Químicos, Físicos, Reológicos y de Panificación que sufre la harina de trigo panadera durante periodos cortos de Almacenamiento. Revista de Ciencias Alimenticias. I, (3), 7–13.
- 60) Rivero de Padua M., et al.(1988). Efecto de la Incorporación de aditivos sobre el envejecimiento de geles de almidón en Arepas de Maíz y Arepas. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol. XXXVIII. Diciembre.4. 883-899.
- 61) Rodríguez B, F.J. y Salazar Z. A. J. (1980). Evaluación de la calidad del trigo: Métodos químicos y reológicos usados en el laboratorio de Farinología. Publicación especial CIANO. No. 37. México. 44
- 62) Rodriguez, T. A. (1991). Ingeniería de Empaques. Edición particular. México. D.F.
- 63) Ruíz, A. (1990). Estudio de las condiciones de batido en el proceso de elaboración de pasteles a nivel industrial y determinación de algunas variables que afectan el rendimiento del producto final. Tesis de la licenciatura de Nutrición y ciencia de los alimentos. Universidad Iberoamericana. México. D.F.
- 64) Secretaria de Salud. (1995) Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana. Harinas de Cereales. Disposiciones Sanitarias, Especificaciones Sanitarias y Nutrimientales. NOM-000-SSA.

- 65) Shuey W.C. and Tipples, K.H. (1980) *Amilograph Handbook*. American Association of Cereal chemists. The Association St. Paul Minnesota
- 66) Stear, A Charles (1990) *Handbook of Breadmaking* Technology. Elsevier Applied Science N.X. USA, 641-678.
- 67) Stölman, U and Lundgren, B., (1987), *Texture changes in white bread: effects of processing and storage*. Cereal Chemistry 64 (4): 230-236
- 68) Tipples, K.H. (1992) *Quality Evaluation Methods for Red Spring Wheat*. Grains Research Laboratory Canadian Grain Commission. Second Edition, 1992.
- 69) Trudso, J.E. (1988) "*Hydrocolloids –Wath Can they Do? How Are They Selected*". I. Inst. Can. Sci. Technol. Alim. 21 (3).
- 70) Twillman, T.J. and White, P.J.(1988) "*Influence of Monoglycerides on the textural Shelf life and Dough Rheology of corn Tortillas*". Cereal Chemistry. 65 (3).
- 71) Velázquez, M. O, Mancilla,A.L; Vázquez, L. y Reyes, M. H 1994. *Productos de cereales y leguminosas. Manual de practicas de laboratorio*. Departamento de Alimentos y Biotecnología. División de Ingeniería. Facultad de Química. UNAM. México. D.F.
- 72) Vernon-Carter E.J., Beristain, C.J. and Pedroza I.R.(2000) *Novel Macromolecules (Mezquite gum Prosopis Gum)*.Elsevier I. USA.
- 73) Ward, F.M.; and Andson S.A.(1993) "*Water –Soluble Gums Used in Snack Foods and Cereals Products*". Cereal foods World. 38 (10).

10 APÉNDICE

Determinación de humedad en harina

Referencia: A.A.C.C. 44 15 A (1)

El contenido de agua en la harina es una característica importante, particularmente en relación con la seguridad de su almacenamiento. Método directo, en la estufa a presión atmosférica. Se fundamenta en la evaporación del agua superficial de la muestra.

Procedimiento:

Pesar 2 a 3 g de muestra en un pesafiltro con tapa, que ha sido previamente pesado después de ponerlo a peso constante 2 horas a 130° +/- 3°C. Secar la muestra 1 hora a la estufa a 130° +/- 3°C con la tapa del pesafiltro a un lado. Retirar de la estufa, tapar, dejar enfriar en desecador y pesar tan pronto como se equilibre con la temperatura ambiente.

Cálculos:

Se reporta el porcentaje de humedad como pérdida por secado a 130°C.

$$\% \text{Humedad} = \frac{A-B}{M} \times 100$$

Donde: A = peso del pesafiltro más muestra

B = peso del pesafiltro más muestra después de secar a la estufa

M = peso de la muestra en gramos.

Determinación de cenizas

Referencia: A.A.C.C. 08 12 (1).

Las cenizas incluyen todos los compuestos inorgánicos fijos de la muestra, tanto los originales como los de contaminación. El método se basa en la eliminación de la materia orgánica de la muestra, mediante la incineración a 550°C. El residuo restante se considera que son las cenizas y la pérdida en peso es la materia orgánica.

Procedimiento:

Pesar aproximadamente 3 a 5 g de muestra en un crisol (la muestra no debe sobrepasar la mitad del crisol) previamente pesado después de meterlo a la mufla 2 h a 550°C. Calcinar la muestra, para ello carbonizar primero con mechero hasta que no se desprendan humos y meter a la mufla cuidando de que la temperatura no pase de 550°C para evitar que los cloruros se volatilicen. Se suspende el calentamiento cuando las cenizas estén blancas o grises, aproximadamente 2 a 3 h (si se observan puntos negros, se humedecen con unas gotas de agua destilada, se secan en la estufa a 130°C y se vuelven a calcinar), enfriar en desecador y pesar.

Cálculos:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{peso del crisol con cenizas} - \text{peso del crisol vacío}) * 100}{\text{peso de la muestra en gramos}}$$

Determinación de proteína cruda.

Referencia: A.A.C.C. 46 10 (1).

Método de Kjeldahl

Las proteínas y demás materia orgánica son oxidadas por el ácido sulfúrico, el nitrógeno que se encuentra en forma orgánica se fija como sulfato de amonio. Al hacer reaccionar esta sal con una base fuerte, se desprende amoníaco que se destila y se recibe en un volumen conocido de ácido valorado. Por titulación de ácido no neutralizado se calcula la cantidad de amoníaco desprendido y así, la cantidad de nitrógeno de la muestra. El porcentaje de nitrógeno de la muestra multiplicado por el factor 6.25 nos da el porcentaje de proteína cruda.

Procedimiento:

Se pesan en balanza analítica 0.5 - 1.0 g de muestra en papel delgado blanco, y con todo y papel se introduce en un matraz de Kjeldahl de 800 ml; se agregan 0.3 g de sulfato de cobre pentahidratado, 5 g de sulfato de potasio o sulfato de sodio, 15 ml de ácido sulfúrico concentrado y se añaden perlas de vidrio para regular la ebullición en la destilación. Se coloca el matraz en el digestor del aparato Kjeldahl, abrir el extractor del vacío y calentar hasta la

total destrucción de la materia orgánica. La solución debe quedar completamente cristalina (1 a 2 horas). Enfriar. Diluir con 350 ml de agua destilada y enfriar sobre hielo.

Añadir 40 ml de una solución concentrada de hidróxido de sodio (100 g en 100 ml de agua), que también se enfría sobre hielo, haciéndola resbalar lentamente por las paredes del matraz de manera que se estratifiquen las dos soluciones. No agitar porque puede haber desprendimiento prematuro de amoníaco. Adicionar 0.2 g de polvo de zinc y antiespumante y conectar inmediatamente el matraz a la trampa de kjeldahl, unida al refrigerante que a su vez esta conectado a una alargadera que va introducida con 50 ml de HCl 0.1 N (medidos con pipeta volumétrica), contenidos en un matraz Erlenmeyer de 500 ml y adicionados de 5 gotas de indicador rojo de metilo 0.1 % en alcohol. Las conexiones deben de ser de un ajuste perfecto para evitar las fugas.

Una vez conectado el matraz agitar para mezclar las dos tapas e inmediatamente colocar en la parrilla ya caliente del destilador, regular la ebullición al inicio de ésta agitando de vez en vez. Destilar aproximadamente hasta un volumen de 250 ml. Suspender la destilación retirando primero el matraz con el destilado de manera que la alargadera quede por encima y antes de apagar la parrilla dejar destilar unos minutos con objeto de lavar la largadera por dentro y después lavarla por fuera recogiendo los lavados en el mismo matraz.

Titular el exceso de ácido con solución valorada de NaOH 0.1 N, hasta vire amarillo del indicador.

Corregir mediante una determinación de un blanco de los reactivos usados, empleando la misma cantidad de papel.

Cálculos:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{ml blanco} - \text{ml de problema}) * N (\text{NaOH}) * 0.014 * 100}{\text{peso de la muestra en gramos}}$$

$$\% \text{ proteína cruda} = \% \text{ Nitrógeno} * 6.25$$

$$\text{meq Nitrógeno} = 0.014$$

N = normalidad del NaOH

Determinación de gluten

En la evaluación de la calidad panadera de las harinas, la cantidad y calidad de la proteína se pueden investigar determinando la cantidad de gluten húmedo y seco y examinando sus características físicas y de color.

Para la prueba de lavado de gluten se pesan 25 g de harina en una cápsula de porcelana y se agrega agua suficiente para formar una masa firme (alrededor de 15 ml). Se coloca la masa sobre la palma de la mano y se deja gotear sobre ella, agua de la llave para eliminar el almidón, presionando poco a poco, sin dejar caer la masa, hasta que el agua de lavado no dé turbidez al caer en un vaso de precipitados con agua.

Una vez que el gluten está libre de almidón, se presiona cuanto sea posible para eliminar el exceso de agua, se coloca en una cápsula tarada y a peso constante, y se seca a 100° C durante unas 6 horas (hasta peso constante). Se reporta % de gluten (47).

Determinación de granulometría.

Referencia: FCC 3 De 2do.Suplemento 1986(1)

Fundamento : Es una medida de la proporción de muestras que pasa a través de una malla de apertura conocida, en un cierto tiempo de agitación.

Procedimiento:

1. Pesarse todos y cada uno de los tamices que se vayan a usar, así como la charola en la que se van a coleccionar los sólidos que pasan el último tamiz, registrar estos pesos como A1, A2, A3,...An.
2. Colocar los tamices en orden consecutivo de acuerdo al tamaño de abertura, el tamiz más abierto arriba y el más cerrado en la parte baja y por último la charola.
3. Depositar 100 g de muestra en el tamiz superior, cubrir con la tapa y asegurar los tamices firmemente al agitador, encender el interruptor y agitar 15 minutos, apagar el interruptor.
4. Quitar la tapa, levantar suavemente el tamiz y con una brocha de cerdas suaves pasar el material que se encuentra adherido en la parte inferior de la malla al tamiz inmediato

inferior o charola según sea el caso. Hacer lo mismo con todos y cada uno de los tamices usados, registrar estos pesos como B1, B2, B3, ...Bn.

Cálculos:

Reportar el porcentaje de muestra que pase por el tamiz usado de acuerdo a la siguiente formula según sea el caso:

Primer tamiz $B1 - A1 = C1$

$100 - C1 = \% \text{ pasa malla No.}$

Segundo tamiz $B2 - A2 = C2$

$100 - (C1 + C2) = \% \text{ Pasa malla No.}$

Tercer tamiz $B3 - A3 = C3$

$100 - (C1 + C2 + C3) = \% \text{ Pasa malla No.}$

Nota: La suma de $C1 + C2 + C3 + Cn$ mas el peso de los sólidos recolectados en la charola deberá ser al menos de 99.0 g recuperados de la muestra original, si no es así, repetir la operación.

A. Alveogramas de la harina.

Referencia: AACC.54-30 8E.1991 (1).

Fundamento: Es la determinación de las características de tenacidad, elasticidad y fuerza de la masa preparada con harina y agua con sal, laminada y cortada en porciones que después de un reposo establecido se extiende en membranas hasta su ruptura por medio de aire proporcionado por una bomba y regulada a una presión requerida mediante un caudalímetro.

Aplicación.- Aplicable a todos los tipos de harina.

Procedimiento:

1. - Se pesan 250 g de harina y se colocan dentro de la amasadora, se pone en marcha el motor colocando el boton en amasado, se empieza a tomar tiempo inmediatamente al dejar caer la solución de cloruro de sodio correspondiente basandose en la humedad de la harina que ha sido determinada con anterioridad.

2. - Transcurrido exactamente un minuto se quita la cubierta de la amasadora lo que hace que se detenga el motor y por medio del espátula de plástico se hace bajar toda la harina adherida a las paredes de la amasadora con el fin de que la harina se mezcle totalmente con el agua, esta operación debe realizarse en aproximadamente 1 minuto 20 segundos, al cabo del cual se coloca la cubierta de la amasadora y se deja amasar hasta el minuto cinco de tiempo corrido, en este momento y con ayuda de la espátula de plástico se baja la masa que haya quedado adherida a las paredes, esto debe efectuarse en un máximo de 20 segundos, se coloca la cubierta en su lugar y se deja amasar hasta completar 8 minutos de amasado efectivo, siempre y cuando el brazo dé un total de 360 revoluciones por minuto.

3. -Enseguida se levanta la placa que deja al descubierto la ranura por donde se extrae la misma y se procede a la extracción colocando el botón en la posición que así lo indica, previamente se engrasa la platina que recibe la masa, el soporte de los discos los primeros 5 cm de masa que salen se cortan y se descartan, después se cortan cinco porciones de aproximadamente la misma longitud y se van colocando sobre el soporte para laminar, lo que se efectúa repasando 12 veces sobre la masa, se cortan los discos con el cortador se pasan las placas y se introducen en el orden de salida de la cámara de reposo de 25°C por un tiempo total de 20 minutos exactamente.

4. - Al cabo de este tiempo se saca el primer disco y se coloca sobre el centro de la platina de ensayo previamente engrasado, se cubre con la tapa también previamente engrasada y el anillo fijador de esta se mueve hasta la marca fijada, con el cual se le esta dando a la masa un espesor menor y constante, se destapa la masa y poniendo el botón central de mando en la posición 2 (posición que descubre el orificio de la platina) se despega de la platina inyectándole un poco de volumen de aire determinando por medio de una platina de hule y la llave que esta al lado izquierdo del aparato e inmediatamente se pone el botón central de mando en la posición 3 con el cual se pone en marcha el tambor registrador, al mismo tiempo se abre el paso que permite la inyección de aire hacia la masa extendiéndola hasta su ruptura, en este momento se pasa el botón central de mando a la posición 4 lo que hace que se

interrumpa la inyección de aire y la rotación del tambor registrador, se retira la masa de la platina subiendo el anillo móvil y se repite el ensayo con los otros cuatro discos de la prueba.

En una hoja de registro de gráficas se marcan dos líneas tomando en cuenta la línea base determinada por la posición más baja de la plumilla.

La línea superior o inferior se marca a una distancia determinada de acuerdo a la calibración de cada aparato, esta hoja se fija sobre el tambor registrador, se coloca la boquilla en la parte superior de la platina, se enrosca completamente y se mueve el anillo móvil hasta su tope, se abre totalmente el caudalímetro, se coloca la plumilla sobre la hoja de registro y se pone el botón central de mando en posición 3. La línea que se va registrando de esta forma se ajusta con la línea superior de calibración por medio de la perilla de la bomba, una vez logrado esto el botón central queda en posición 4.

Se repite la operación anterior poniendo el botón central de mando en posición 1, girando siempre en el mismo sentido de las manecillas del reloj, la línea que se genera ahora se ajusta con la línea inferior de calibración, usando en este caso la perilla del caudalímetro. Para asegurarse de que la calibración es adecuada se verifica repitiendo la operación dos o tres veces más.

Cálculos:

Con las cuatro curvas obtenidas de las cuatro pruebas, se traza el diagrama medio haciendo promedio de las medias en mm de las alturas P y de las longitudes L , de los valores o también se saca un promedio. Al empezar la extensión de la masa, el disco tiene dimensiones fijadas por la construcción del aparato, resiste mas o menos la presión del aire de manera que la presión máxima registrada P mide la tenacidad de la masa a medida que se va efectuando la extensión del disco disminuye su espesor y el manómetro registra una curva que desciende más o menos rápidamente dependiendo de la harina que se trate. La ruptura de la membrana se nota por la aparición de uno o más orificios casi siempre en la zona superior que provoca la caída de la presión, en este momento la masa esta en su límite natural de extensión. La extensibilidad se mide ya sea por el volumen de aire que provoca la ruptura o

por la longitud L del diagrama. En la practica se sustituyen estos valores por los índices de extensibilidad o marcados sobre el bulbo graduado y que son las raíces cuadradas de los volúmenes correspondientes, por lo tanto dividiendo el valor P y multiplicado por 1.1 que es el factor de corrección del manómetro fijado por construcción, entre L obtenemos la relación de tenacidad a extensibilidad de la masa.

La corriente de aire que extiende a la masa, efectúa un trabajo mecánico que es mayor cuando la harina es más tenaz y se puede extender un tiempo más largo sin romperse, el valor W da la medida de este trabajo de deformación por un gramo de masa, o lo que es lo mismo, la fuerza general de la harina se obtiene midiendo con la ayuda de un planímetro o las plantillas, la superficie contenida en el diagrama medio y multiplicada por el valor de las unidades de trabajo (ERGS) de un centímetro cuadrado y dividiendo entre el peso del disco de la masa. La fórmula teórica se reemplaza para simplificar los cálculos por la fórmula equivalente siguiente:

$$W = \frac{K \times C \times S}{L}$$

Simplificando: $W = S \times 6.54$

Donde:

W = Trabajo de deformación de la masa

K = Coeficiente de corrección del manómetro = 1.1

C = Valor calculado por los fabricantes del aparato en función de G teniendo en cuenta 1 cm² de diagrama y el peso sensiblemente constante del disco de masa.

S = Superficie del diagrama medio en cm²

L = longitud del diagrama medio en mm.

Farinogramas en harinas

Referencia: AACC 54 - 21 8E. 1991(1).

Fundamento.- El farinógrafo es una medida de resistencia de la masa al mezclado, es empleado para evaluar la absorción de agua en las harinas y para determinar la estabilidad y otras características reológicas durante su mezclado.

Aplicación - Aplicable a todo tipo de harinas.

Procedimiento:

Método de peso constante de la harina.

- 1- Encender el termostato y el baño de recirculación de agua, preferentemente una hora antes de empezar la determinación
2. - Determinar el contenido de humedad de la muestra de harina.
- 3.- Colocar en el tazón 300 +/- 0.1 g de harina.
- 4.- Llenar la bureta con agua a la temperatura constante a 30 °C (se puede tomar del baño) aforando de acuerdo a la absorción de la muestra aproximadamente (chechar el buen funcionamiento de la bureta).
- 5.- Colocar la plumilla del graficador en la posición de 9 min. En el papel carta, encender el farinógrafo en alta velocidad y correr durante 1 minuto hasta alcanzar la línea de 0 minutos, en ese instante comenzar a adicionar el agua en la esquina superior derecha de la tapa del tazón.

Cuando la masa comience a formarse (casi inmediatamente después de adicionar el agua) incorporarla a los lados del tazón con una espátula iniciando por el lado derecho, al frente en el sentido de las manecillas del reloj. Cubrir el tazón con la tapa para evitar la evaporación del agua.

6.- El primer intento de adición de agua en base a la absorción raramente produce una curva que tenga la máxima resistencia centrada sobre la línea de 500 UB, por lo que en subsecuentes adiciones ajustar la absorción de la harina hasta que éste alcance una línea de (20 UB) por ejemplo de 9 a 0 como guía para corregir adiciones preliminares, para esto se tiene la siguiente relación.

Una línea de la carta = $0.6-0.8\% = 1.8-2.4$ ml de agua dependiendo de la harina.

Cuando la corrección de la absorción se llevó a cabo, la curva del máximo desarrollado de la masa es centrada sobre la línea de 500 UB.

7. -Para la prueba final de adición de agua, agregar esta totalmente en 25 segundos, después de abrir la llave de la bureta, desarrollar la masa hasta que alcance la curva deseada por una adecuada interpretación.

Después de que la curva abandone la línea de 500 UB dejar que continúe 5 o 6 minutos más.

Levantar la plumilla del papel carta desde su base, adicionar harina seca al tazón y proceder con la limpieza de este.

Cálculos:

La interpretación de los resultados es como sigue:

Tiempo de llegada.- Punto del tiempo de inicio al punto de la parte superior de la gráfica que toque la línea de las 500 UB.

Tiempo de salida.- Punto en que la parte superior de la gráfica abandona la línea del 500 UB, es tomada a partir del inicio.

Estabilidad.- Tiempo en que la gráfica se mantiene en la línea de 500 UB (tiempo de salida – tiempo de llegada).

Desarrollo máximo.- Tiempo de inicio al punto mas alto de la gráfica.

Tolerancia.- Caída menos desarrollo máximo.

Índice de tolerancia máxima (ITM).- Del punto de desarrollo máximo tomar cinco minutos y trazar una línea hacia abajo hasta tocar la parte superior de la curva, tomar la lectura en UB.

Absorción.- Cantidad necesaria de agua para llegar a 500 UB, realizando la conversión a base 14 % de humedad con la siguiente fórmula:

$$A = 86 \times \frac{(B + M)}{100 - M} - 14$$

Donde:

A = Absorción de agua en la harina.

B= Absorción determinada en el farinógrafo.

M= Humedad de la harina.