



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

U. N. A. M.

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes

**EVALUACION DE PROPIEDADES FISICAS Y TEXTURALES
DEL "PAN GRANDE DE ACAMBARO" TIPO "TALLADO"
DE SIETE DIFERENTES FABRICANTES.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A :

J. REFUGIO YEPEZ GUILLEN

ASESORES:

I.B.Q. NORMA B. CASAS ALENCASIER
M. en C. ROSALIA MELENDEZ PEREZ



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.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: J. REFUGIO

VEAZ GUILLEN

FECHA: 09-JUNIO-2003

FIRMA: J. Refugio V.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: O. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

El Efecto de Propiedades Físicas y Texturales del "Pan Grande de Acahuatl"
Tipo "Tortilla" de Masa Diferentes Fabricantes.

que presenta el pasante: Francisco Mena Cuatitlán
con número de cuenta: 123456789 para obtener el título de:
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 7 de Abril de 2007

PRESIDENTE

I.B.O. Fernando Beristain

VOCAL

I.B.O. Norma B. Casas Alanpastan

SECRETARIO

I.A. Ma. de los Angeles Cornejo Villaga

PRIMER SUPLENTE

M.enC. Ma. de la Luz Zambrano Zaragoza

SEGUNDO SUPLENTE

I.A. Patricia Muñoz Aguilar

Mi más sincero agradecimiento a mis asesores:

I.B.Q. NORMA B. CASAS ALENCASTER
M. en C. ROSALÍA MELÉNDEZ PEREZ

Por su valioso apoyo en la realización de éste trabajo.

A mis padres:

FELIPA (q.e.p.d.)

HELEODORO

Por haberme dado la vida.

A mis hermanos:

REYNA

MAGDALENA (q.e.p.d.)

AURELIA

CARLOS (q.e.p.d.)

REBECA

JOSE LUIS (q.e.p.d.)

SOLEDAD

ROSAELIA

PATRICIA

ANGELICA

ALEJANDRA

FERNANDO

Por su apoyo y motivación para superarme.

A mi esposa:

ANTONIA MOSQUEDA CALZADA

Por su paciencia y comprensión.

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	7
1. ANTECEDENTES	9
1.1. Materias primas utilizadas en la elaboración del pan	10
1.1.1. Harina.....	10
1.1.1.1. Proteínas.....	11
1.1.1.2. Carbohidratos.....	12
1.1.1.3. Lípidos.....	13
1.1.1.4. Enzimas.....	13
1.1.1.5. Agua.....	14
1.1.2. Levadura.....	14
1.1.3. Sal.....	15
1.1.4. Agua.....	16
1.1.5. Grasa.....	18
1.1.6. Leche.....	19
1.1.7. Huevo.....	19
1.1.8. Azúcar.....	20
1.2. Proceso general de panificación	22
1.2.1. Mezclado.....	22
1.2.2. Fermentación.....	24

1.2.3. Horneado.....	28
1.3. Proceso de elaboración del “Pan Grande de Acámbaro” tipo “Tallado”.	30
1.3.1. Mezcla.....	32
1.3.2. Primera fermentación (Pata).....	32
1.3.3. Revive.....	32
1.3.4. Rebaje.....	32
1.3.5. Refinado.....	32
1.3.6. Boleado.....	33
1.3.7. Figura.....	33
1.3.8. Segunda fermentación.....	33
1.3.9. Horneado.....	33
1.3.10. Enfriamiento.....	33
1.3.11. Envasado.....	33
1.4. Características generales de la calidad del pan.....	34
1.4.1. Volumen de la hogaza.....	35
1.4.2. Color de la corteza.....	36
1.4.2.1. Cartas de color.....	37
1.4.2.2. Método CIE.....	38
1.4.2.3. Método Judd-Hunter.....	39
1.4.3. Características de la miga.....	41
1.4.4. Textura.....	41
1.4.4.1. Penetrometría.....	43
1.4.4.2. Texturómetro.....	44
1.4.5. Sabor y aroma.....	49
1.4.6. Envejecimiento.....	49

2. METODOLOGÍA.....	51
2.1. Materiales.....	52
2.2. Métodos.....	54
2.2.1. Pruebas físicas.....	54
2.2.1.1. Volumen específico.....	54
2.2.1.2. Color de corteza.....	54
2.2.1.2.1. Pantone.....	55
2.2.1.2.2. Método Judd-Hunter.....	55
2.2.2. Pruebas texturales.....	55
2.2.2.1. Prueba de penetración.....	55
2.2.2.2. Análisis del perfil de textura (TPA).....	57
2.2.2.3. Prueba de corte.....	58
2.2.3. Análisis de varianza.....	59
2.2.4. Análisis de correlación.....	59
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	61
3.1. Cálculo de valores promedio y límites inferior y superior.....	62
3.2. Pruebas físicas.....	62
3.2.1. Volumen Específico.....	62
3.2.2. Color.....	64
3.3. Pruebas texturales.....	67
3.3.1. Prueba de penetración.....	67
3.3.2. Análisis del perfil de textura.....	68

3.3.2.1. Dureza.....	70
3.3.2.2. Cohesividad.....	70
3.3.2.3. Módulo.....	71
3.3.2.4. Índice de elasticidad.....	72
3.3.2.5. Masticosidad.....	72
3.3.2.6. Gomosidad.....	73
3.3.3. Prueba de corte.....	73
3.3.3.1. Fuerza de corte.....	75
3.3.3.2. Distancia de corte.....	76
3.4. Valores límite de los parámetros físicos y de textura.....	78
3.5. Relaciones entre parámetros evaluados.....	79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	86

RESUMEN

RESUMEN

Cualquier empresa necesita de un control de calidad de manera imprescindible. La industria panificadora tradicional a la cual pertenecen los fabricantes del "Pan Grande de Acámbaro" adolece de esto, por tratarse en su mayoría de pequeñas empresas a nivel familiar, donde el proceso de elaboración del pan se ha mantenido a nivel artesanal, manejado por maestros panaderos con experiencia de muchos años pero sin conceptos teóricos ni técnicos.

Las desigualdades en color externo y consistencia presentes en los panes del mismo tipo, de diferentes fabricantes, hacen necesario buscar la forma de homogeneizar la calidad del producto terminado. Con la intención de colaborar en la detección de las causas que ocasionan dichas desigualdades, en este trabajo se presentan algunos temas relacionados, con el fin de entender la función de las materias primas utilizadas en la elaboración del pan y de las operaciones involucradas en el proceso.

Con la finalidad de tener evidencia objetiva de las diferencias, se midieron propiedades físicas (volumen y color) y texturales (Dureza con Penetrómetro Universal) y Perfil de Textura y Corte con Texturómetro TA-500 y TAX-T2 respectivamente del "Pan Grande de Acámbaro" tipo "Tallado" de 7 fabricantes diferentes pertenecientes a la Unión de Productores de Pan Grande de Acámbaro Guanajuato.

Las pruebas realizadas dieron como resultado valores que indican la existencia de diferencias en las características debidas a las materias primas y/o procesos. Con base en un análisis de varianza de los resultados obtenidos, se proponen valores límites, los cuales se sugiere sean tomados como punto de partida para estandarizar la calidad del producto terminado.

Se encontraron relaciones entre promedios de los parámetros evaluados con valores de R mayores de 0.9 entre volumen específico-fuerza de corte; distancia de penetración- dureza; dureza-gomosidad; dureza-módulo y módulo-masticidad, sin

embargo estas no pueden utilizarse como correlaciones para predecir valores de unas propiedades a partir de otras, por tratarse de relación de promedios de diferentes muestras (fabricantes) y sólo nos indican la tendencia que siguen dichas relaciones. La evaluación de propiedades del pan con métodos sencillos y económicos son el color del pan con el Pantone, Dureza con la técnica del Penetrómetro y el volumen específico con un recipiente de volumen conocido por medio del desplazamiento de una semilla (ajonjolí) de volumen específico conocido. Las características del análisis del perfil de textura (dureza, Cohesividad, módulo, índice de elasticidad, masticosidad y gomosidad) y prueba de corte (fuerza de corte y distancia de corte) se deben determinar con un Texturómetro.

Para complementar los resultados aquí obtenidos, se recomiendan algunos aspectos de control de calidad aplicables a las materias primas, formulación, proceso de fabricación y al producto terminado, definiendo los puntos críticos de control.

INTRODUCCION

INTRODUCCIÓN

Cocinar es el arte de preparar alimentos, sometiéndolos a un tratamiento térmico hasta que cambian de sabor, suavidad, apariencia, y composición química. El horneado es una forma de cocinar y tiene origen en un proceso tan antiguo como la misma historia. El pan, no es solo uno de los alimentos más antiguos que se haya elaborado por el hombre, sino también es el alimento que más ampliamente se consume. El pan es el único alimento procesado que puede ser consumido por jóvenes y por viejos, siete días de la semana, en todas las comidas, y por todos los grupos étnicos y religiosos; en ese sentido, el pan es único. (1)

El “Pan Grande de Acámbaro” marca registrada por la Unión de Productores de Pan del municipio de Acámbaro Guanajuato, representa una empresa de gran importancia en la región. Existen cerca de 30 establecimientos dedicados a la producción de “Pan Grande” llegando a involucrar cien empleos en mano de obra directa en su elaboración y aproximadamente 2000 personas que se benefician en el proceso de su comercialización hacia entidades distantes ya que casi el cien por ciento de la producción se dedica a la venta foránea. Se procesan diariamente 8800 Kg de harina, dando 16000 Kg de rendimiento en “Pan Grande”, correspondiente a 32000 piezas de 500 g cada una. La fama que ha alcanzado este producto a nivel nacional, ha propiciado la existencia de imitaciones que no son elaboradas en el lugar de origen.

En la elaboración de este pan se utilizan los ingredientes básicos como son harina, agua levadura y sal, al mismo tiempo algunos adicionales como grasa, leche, huevo y azúcar que mediante una formulación y proceso de panificación tradicionales, le dan al producto ciertas características especiales de sabor y aroma, además de una alta vida útil. (2)

Aún cuando se supone que todos los productores utilizan la misma formulación y proceso, existen diferencias importantes en la calidad del pan en cuanto a textura y

color, lo cual hace suponer que hay factores como cantidad y calidad de ingredientes, condiciones de proceso (mezclado, fermentación, horneado, etc.) que no son iguales o no siempre se controlan.

Esta situación hace necesaria la estandarización de la calidad del producto terminado, estableciendo los parámetros que se deben cumplir en su fabricación, dando como consecuencia lógica un producto, que al ser elaborado con ingredientes naturales, sin conservadores y en forma artesanal, cumpla con estos requisitos mínimos necesarios, brindando un pan de alta calidad para ser consumido en forma confiable, además de proteger a los productores dueños de la marca.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

Objetivo general: Determinar, a partir de pruebas físicas (color, volumen específico), y texturales (análisis de perfil de textura, prueba de penetración y prueba de corte), las características que permitan seleccionar los parámetros de calidad en el “Pan Grande de Acámbaro” tipo “Tallado”.

Objetivo particular 1: Efectuar pruebas físicas (color, volumen específico), y texturales (análisis de perfil de textura, penetración y prueba de corte), en el “Pan Grande de Acámbaro” tipo “Tallado”, de siete fabricantes para determinar si existen diferencias entre cada uno de ellos, y establecer parámetros de calidad.

Objetivo particular 2: Analizar si existe alguna relación entre pruebas físicas y texturales, a fin de determinar si a partir de pruebas sencillas, económicas y rápidas, se pueden estimar propiedades texturales.

Objetivo particular 3: Proponer valores límite para los parámetros de calidad establecidos.

Capitulo UNO

ANTECEDENTES

1.- ANTECEDENTES

1.1. Materias primas utilizadas en la elaboración del pan.

Las materias primas usadas para la elaboración del pan son: harina, levadura, agua, sal, leche, huevo y azúcar. Debido a que cada uno de los ingredientes tiene su función, a continuación se describe cada uno de ellos.

1.1.1. Harina.

La harina es el resultado de la molienda del grano de un cereal y para productos de panificación ésta proviene de trigos duros empleando una sola variedad o una mezcla de ellas. Existen notables diferencias entre las diversas harinas de trigo, las cuales dependen de la cantidad y calidad del gluten. Con respecto al contenido del gluten, se recomienda que éste sea entre un 10 y 12% para una harina que será utilizada en la elaboración de pan; mientras que la calidad, se refiere a la relación de gliadina-glutenina, ya que para la elaboración del pan, estas proteínas deben de estar en equilibrio; un exceso de gliadinas forma una masa débil y un exceso de gluteninas inhibe la expansión de la masa.

La harina proporciona la estructura del pan debido a la formación del gluten y a la gelatinización del almidón, pero además, determina la capacidad de elaborar pan con sus respectivas características de volumen, forma, costra uniforme y atractiva, miga uniforme, fina y homogénea, textura suave, alta absorción de humedad y tolerancia a las variaciones en el proceso así como a los cambios de formulación.
(10, 19)

La harina está compuesta principalmente por: proteínas, carbohidratos, grasas, sales minerales y agua, como puede verse en la cuadro No.1.

Cuadro No. 1. Composición de la harina de trigo.

Compuesto	Porcentaje
Proteínas	8-14
Carbohidratos	64-70
Lípidos	0.9-1.6
Cenizas	0.3-0.9
Humedad	13-15

Kirk, R.S. *Composición y Análisis de Alimentos Pearson*. Cexsa. México, 2000.

A continuación se analiza cada componente y su efecto en las características de la harina.

1.1.1.1. Proteínas.

Las proteínas de la harina se dividen en dos grandes grupos: solubles e insolubles, siendo estas últimas las más importantes en panificación ya que son las que constituyen el gluten. El gluten está formado, en un 80-90 %, por gliadinas y gluteninas que interactúan para formar una red. Estas proteínas contienen aminoácidos con grupos sulfhidrilo activos, que en su estado natural o reducido existen como entidades separadas pero que con el amasado y la incorporación de aire al sistema se oxidan, ocasionando que los grupos sulfhidrilo se unan entre sí para formar enlaces disulfuro, y por lo tanto, entrecruzamiento entre las mismas proteínas.

El gluten en conjunto forma una red elástica. La glutenina da fuerza y estabilidad a la estructura del pan y representa del 34 al 35% del contenido de proteínas de la harina de trigo, mientras que la gliadina proporciona una estructura suave y pegajosa a la que se adhieren los demás componentes, controlando el volumen del producto final y constituye del 35 al 40% del total de las proteínas de la harina de trigo. De esta manera, el gluten, es el responsable de retener el CO₂ producido por la levadura durante la fermentación, así como de la capacidad de absorción de líquido. El gluten absorbe cerca de tres veces su peso seco en agua. (5, 7, 8, 9, 10, 20)

1.1.1.2. Carbohidratos.

Los carbohidratos más importantes en la harina para panificación son el almidón y los azúcares fermentables. A continuación se describen cada uno de ellos.

El almidón representa el 70% del peso de la harina. La unidad básica del almidón es la D-glucosa, la cual se une entre sí para formar unidades lineales y ramificadas. La porción lineal del almidón o amilosa está compuesta de miles de unidades de glucosa unidas por enlaces *alfa*-1,4; mientras que la porción ramificada es la amilopectina y está formada por millones de unidades de glucosa en grupos de 20 o 30 y conectadas por enlaces *alfa*-1,6. De esta forma, los gránulos que forman el almidón en la harina contienen aproximadamente 25% de amilosa y 75% de amilopectina.

Aunque ambas fracciones están formadas por moléculas de D-glucosa, tienen diferentes propiedades físicas y químicas que afectan su comportamiento tanto en el amasado como durante el horneado. La amilosa, por ejemplo, está presente bajo forma cristalizada debido al gran número de puentes de hidrógeno existentes entre los grupos hidroxilo, sale rápidamente de los gránulos de almidón cuando éste se hidrata y se gelatiniza, por lo que se recristaliza o retrograda en poco tiempo; esta recristalización debida a la agregación de las moléculas lineales de amilosa es la que expulsa el agua absorbida, y los puentes de hidrogeno que existían entre la amilosa y el agua son reemplazados por enlaces entre la misma amilosa. Por otra parte, debido a las ramificaciones presentes en la amilopectina, ésta no se difunde tan rápidamente cuando se gelatiniza y forma pocos complejos con los emulsificantes; además, se retrograda más lentamente después de enfriarse, pero confiriéndole también firmeza al pan debido al tamaño de su molécula y el tipo de enlaces presentes en su estructura.

Tanto la amilosa como la amilopectina influyen significativamente en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente debido a su capacidad de hidratación y gelatinización. En la panificación, parte de los gránulos

del almidón son convertidos por las enzimas de la harina en azúcar disponible para la fermentación y otra parte se gelatiniza durante el horneado, reteniendo humedad y dándole la estructura al pan.

Los carbohidratos fermentables presentes en la harina son: la maltosa, la glucosa y la dextrosa que se encuentra en la masa debido a la inversión de la glucosa. (5, 8, 12, 19)

1.1.1.3. Lípidos.

El contenido de lípidos en la harina, incluyendo ácidos grasos saturados e insaturados es muy pequeño (alrededor del 1%), estos son esenciales para lograr una hogasa de buen volumen, ya que parte de los lípidos se asocian con las proteínas, ayudando al desarrollo del gluten, aumentando el volumen del pan. Además existen ácidos grasos libres, glicéridos simples, fosfoglicéridos, lípidos de esteroides, carotenoides y tocoferoles. (9, 20, 15)

1.1.1.4. Enzimas.

La harina también contiene varias enzimas, de las cuales las más importantes son las amilasas (alfa y beta) o enzimas diastásicas. La alfa amilasa convierte el almidón en dextrinas y también en algo de maltosa; la beta amilasa por su parte convierte las dextrinas en maltosa. Debido a que la harina puede tener una deficiencia natural de alfa amilasa, se permite la adición de malta diastásica o harina de cebada malteada para aumentar la actividad diastásica, que es definida como la capacidad de la harina para producir maltosa a partir del almidón. Estas enzimas contribuyen a aumentar los azúcares disponibles para la acción de la levadura elevando la producción de CO₂ y por lo tanto el levado de la masa. (10, 20)

1.1.1.5. Agua.

El agua constituye el 14% de la harina y se une por medio de puentes de hidrógeno al almidón. En las masas representa aproximadamente un 40% y en el producto terminado alrededor del 35%. Asimismo cerca del 46% del agua presente en la masa está asociada con el almidón, 31% con las proteínas y el resto con los carbohidratos, por lo que la capacidad de absorción de agua de una masa depende del tipo de harina que se utilice, y principalmente del contenido del gluten y la cantidad de almidón presente naturalmente en la harina. (8, 10, 20)

1.1.2. Levadura.

La levadura es un microorganismo de forma oval y unicelular. La única especie importante en panificación es la *Saccharomyces cerevisiae*, que se multiplica por gemación y es capaz de convertir los azúcares en alcohol y CO₂. La levadura convierte la sacarosa en glucosa y fructosa por medio de la enzima invertasa, y desdobla la maltosa en glucosa por medio de la enzima maltasa. El criterio de calidad más importante en la levadura es su poder fermentativo, que contribuye al crecimiento y expansión de la masa, además de darle sabor al pan.

En el mercado existen dos tipos de levadura:

a).- Levadura prensada: es una levadura obtenida a partir de una suspensión que se filtra y se extruye para construir un bloque que contiene aproximadamente 50% de humedad. En base seca, contiene del 50 al 60% de proteína, del 4 al 5% de grasa, del 2 al 3.8% de fósforo, y del 6 al 8% de cenizas, así como otras fracciones de aditivos y emulsificantes. Se comercializa normalmente en bloques de 500 g envueltos en papel encerado, se refrigera a 5 °C y pierde el 10% de su actividad en cuatro semanas.

b).- Levadura seca: esta viene en sobres cerrados envasada al vacío y libre de humedad, por lo que se conserva en buenas condiciones durante un tiempo más prolongado. (6, 10, 15)

1.1.3. Sal

El cloruro de sodio o sal común es un ingrediente usado 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. La sal posee un efecto inhibitorio sobre la fermentación de la levadura, que comienza a niveles de entre 1.5 al 2.0% referido al peso de la harina, reflejado en una actividad reducida de la levadura y, por tanto, un menor poder de gasificación. (12)

Este efecto se debe a la presión osmótica que ejerce la sal sobre la pared celular de la levadura. El fenómeno se explica de la siguiente manera: la concentración de sal en el interior de la célula de levadura tiende a igualarse con la concentración de sal del agua de la masa. Al ser esta mayor, sale agua del interior de la célula de levadura hacia el agua de la masa, deshidratándose la levadura y perdiendo así su poder de fermentación. Desde otro punto de vista y en concentraciones controladas la sal previene una acción excesiva de la levadura, en especial 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, inhibiendo las bacterias productoras de ácido. (11)

A concentraciones adecuadas la sal tiene el efecto de fortalecer y endurecer 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 dextrinas, también es necesaria la sal. En panes donde se ha omitido la sal se observa un aspecto de corteza pálido y poco brillante. La sal se puede adicionar en cantidades de 0.5 a 1.0%, con lo que se aumenta la velocidad de maduración del gluten, se incrementa la tolerancia a la fermentación, se mejora la retención del gas y en consecuencia la calidad del pan. Se emplea como medio de control del desarrollo de la masa, debido a su alta velocidad de disolución; si se adiciona después del levantamiento de los ingredientes en el mezclado, reduce substancialmente el tiempo requerido para alcanzar el desarrollo óptimo del gluten. El efecto de extender el tiempo de mezclado, hasta en un 80%, es atribuido a la reducción en la capacidad de retención de agua, de las proteínas de la harina y por el efecto inhibitorio sobre las enzimas proteolíticas. (1, 5, 11)

1.1.4. Agua.

El agua es el solvente universal, que facilita todas las reacciones químicas y bioquímicas, presentes en el proceso de panificación. El agua ocupa junto con la harina, la levadura y la sal, la posición de ingrediente principal de la masa. Sin agua no sería posible la formación de una masa, pues representa aproximadamente un 40% del total de ésta, es por esta razón que, aún cantidades muy pequeñas de materiales activos disueltos en ella, pueden ejercer un efecto pronunciado sobre las propiedades de la masa y la calidad del pan. El agua disuelve o suspende los ingredientes secos de la masa, permitiendo que se encuentren en contacto íntimo para que se desarrollen las complejas reacciones en los productos de panificación. Permite la distribución uniforme en toda la masa de los ingredientes que se agregan en muy pequeñas cantidades. (12)

Las funciones del agua en productos de fermentación son muchas. La primera es que hace posible la formación del gluten. El gluten, componente estructural muy importante para las masas de fermentación, se forma gracias a la hidratación y acción mecánica sobre las proteínas de la harina al mezclarse con el agua. El gluten forma la pared de las celdillas, retiene el gas leudante y determina en gran medida el volumen y características de estructura del producto final.

Cuando el almidón se calienta en presencia de agua, los gránulos comienzan a hincharse a una temperatura entre 63 y 71 °C. Este fenómeno se conoce como gelatinización. Al aumentar la temperatura, los gránulos continúan hinchándose y absorben más agua hasta alcanzar un tamaño máximo alrededor de los 88 °C. En este momento se encuentra totalmente cocido el almidón. Durante este tiempo es donde se lleva a cabo la acción de las amilasas. (11, 12)

Los gránulos hinchados son responsables del poder espesante del almidón. El almidón gelatinizado forma una pasta, que se vuelve más firme durante el horneado y posteriormente durante el enfriamiento y que contribuye en forma importante a la estructura de los productos de fermentación, impartiendo rigidez.

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

El agua es empleada como un medio de control de temperatura de las masas, ya que se requiere tener la temperatura de la masa entre 26 y 28 °C al finalizar el mezclado, para obtener una mejor actividad de la levadura. Las masas calientes se sobre fermentan y las frías tardan más tiempo en crecer.

El agua durante el horneado de las masas, primero se difunde del gluten hacia el almidón y posteriormente al estar sujeta a un calentamiento, forma vapor de agua que se expande en las celdillas existentes en la masa. El vapor de agua ejerce una presión que aumenta el volumen de los productos, junto con la expansión de los gases de la fermentación.

El agua participa en la formación de la estructura del pan, al posibilitar el desarrollo del gluten, pero también es un agente suavizante, ya que disuelve al azúcar y al ser retenida por éste, se inhibe en cierto grado la gelatinización completa del almidón, lo que resulta en un efecto suavizante de la estructura del producto. El agua determina la comestibilidad, suavidad y frescura, características que son determinadas por el contenido de humedad del producto terminado. (11, 12)

1.1.5. Grasa.

Las grasas ejecutan una variedad de funciones deseables en la panificación. Estas incluyen:

- Mejora las características y manejo de la masa durante el amasado: actúa como lubricante en la expansión de las celdillas de masa.
- Lubrica el gluten haciéndolo más suave y elástico.
- Favorece la capacidad de retención de gas: cuando la masa se cuece, la grasa se derrite y libera burbujas de aire, contribuyendo al esponjado de la masa.
- Mejora el sabor, textura y conservación del pan, retarda el endurecimiento.
- Ayuda a la retención de agua dando un producto más suave.
- Son leudantes, esto significa que tienen la capacidad de atrapar y retener aire.

- Favorecen la transferencia de calor en el interior de la masa al momento del horneado.

Se puede usar hasta un máximo de 4% de grasa, un exceso retarda la fermentación de la levadura, produciendo pérdidas en volumen y una textura grasosa del producto. (3, 4, 8, 14).

1.1.6. Leche.

El valor nutritivo de la leche es una de las principales razones de su uso en productos de panificación, ya que complementa a la harina de trigo. En cuanto a la calidad del pan podemos decir que mejora el color de la corteza y el sabor por la presencia de la lactosa en las reacciones de oscurecimiento, pero no menos importante es su acción estructural junto con las proteínas de la harina, reteniendo agua durante el proceso de horneado.

Contribuye al valor nutritivo del producto terminado. Ayuda a proporcionar una miga homogénea, ya que sus proteínas logran una estabilidad de la emulsión dentro de la mezcla, también proporciona textura en la corteza y un mejor sabor. Generalmente se usa en forma de polvo, pero actualmente existen numerosos sustitutos de leche como: mezclas de harinas de soya, suero de leche en polvo, caseinatos y leche descremada en polvo (8).

1.1.7. Huevo.

El uso del huevo no solo en productos de panificación, sino en la preparación de cualquier alimento contribuye en forma importante al aporte nutricional ya que es una fuente rica en proteínas de alta calidad que aporta todos los aminoácidos esenciales. En lo que corresponde a los beneficios del huevo en el pan hay que destacar su aporte a la estructura debido a la gran cantidad de proteínas con la propiedad de retener aire. El huevo es capaz de leudar de 5 a 6 veces su propio peso.

El huevo aporta proteínas adicionales a la estructura del gluten y actúa como estabilizador de la emulsión de agua y grasas. Este ingrediente favorece la elasticidad de las masas sin hacerlas pegajosas y debido a que las proteínas del huevo forman películas que atrapan el aire, al calentarse éstas, se coagulan y proporcionan una mayor firmeza a la miga. Es también importante el aporte sobre el color y el sabor de los productos. El color de la miga depende en gran parte del color de la yema, el color de la corteza también 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, debiendo tenerse cuidado de las mismas tomando en cuenta que la clara provoca un efecto endurecedor de la miga mientras que la yema tiene una acción suavizante y es la responsable de que el huevo entero tenga un efecto más suavizante que endurecedor (8, 26).

1.1.8. Azúcar.

La función principal de los azúcares es la de proporcionar alimento a la levadura para leudar la masa. También se desarrollan por esta misma acción, ácidos, y aldehídos volátiles que caracterizan el sabor y aroma del pan. La sacarosa no es empleada directamente por la levadura, ya que emplea solamente azúcares simples, los cuales obtiene por la acción de la enzima de la levadura, llamada invertasa, que convierte la sacarosa en glucosa y fructosa, siendo la primera la preferida por la levadura para ser asimilada, cuando las dos se encuentran en el sistema al mismo tiempo. (11, 12)

Aunque la producción adecuada de CO₂ se puede sostener con el 2 al 3% de sacarosa comúnmente se usan niveles más altos y en especial en el pan dulce. Las razones que justifican lo anterior son: volumen del producto, color de la corteza,

sabor, comestibilidad y vida de anaquel. Los niveles altos de azúcar aseguran el mantener la fermentación a una alta velocidad de producción de gas, que se requiere para los sistemas de producción a gran escala.

Algunos azúcares tienen la propiedad de ser reductores. La glucosa y la fructosa son azúcares reductores. En la sacarosa se encuentran bloqueados los grupos carbonilo, por lo que ésta no es reductora. Los azúcares reductores, cuando se calientan en presencia de proteínas reaccionan con sus aminoácidos y forman compuestos oscuros llamados melanoidinas, por la reacción de Maillard. En las primeras etapas, las melanoidinas se asemejan a los caramelos por su color, olor y sabor. Las reacciones posteriores y últimas provocan su transformación en sustancias negras, amargas e insolubles. Las reacciones de Maillard también forman muchos compuestos que imparten el característico aroma al pan horneado y mejoran el sabor. Los azúcares que permanecen sin fermentar por la levadura se conocen como azúcares residuales, los cuales tienen un efecto significativo en las características del producto terminado. Otra reacción de formación de color de la corteza es la caramelización, la cual comprende la conversión de los azúcares en sustancias coloridas mediante una hidrólisis inicial a monosacáridos, seguida por una polimerización a causa del calor, las sustancias coloridas formadas se llaman "caramelos". (5)

Los azúcares imparten cualidades de textura, miga tersa, suave y blanca. Estos efectos se atribuyen a una gelatinización del almidón retardada y una desnaturalización de proteínas durante el horneado. Se aumenta la vida de anaquel del producto por un incremento en la retención de humedad por la naturaleza higroscópica de algunos azúcares, tales como la fructosa y el azúcar invertido. Las masas dulces con niveles de azúcar del 20 al 25%, en relación a la harina, se tienen que mezclar un 50% más que una masa normal, para mantener un volumen y demás cualidades en el producto terminado. El adecuado desarrollo de la masa durante el mezclado, requerirá de mayor trabajo mecánico, ya que la hidratación del gluten será deficiente. (11)

1.2. Proceso general de panificación.

Cuando los ingredientes que forman parte de la fórmula del pan se mezclan en proporciones correctas, se inician dos procesos:

- La proteína de la harina empieza a hidratarse, es decir, se combina con partes del agua para formar un material consistente, que tiene propiedades de película extensible, se puede estirar y tiene un cierto grado de recuperación como un resorte.
- Producción de gas carbónico por acción de las enzimas de la levadura sobre los azúcares.

Para hacer pan con harina de trigo, son necesarios tres requisitos: formación de la estructura del gluten, esponjamiento de la mezcla por la producción y retención de gas y la coagulación del material calentándolo en el horno para que se establezca la estructura del material. Correspondiendo a estos requisitos, hay tres etapas en la fabricación del pan: mezcla y amasado, fermentación y cocción en el horno. (3)

1.2.1. Mezclado.

El principal propósito del mezclado es homogeneizar la dispersión de los ingredientes y ayudar a desarrollar el gluten. Cuando a la harina se le adiciona agua y se mezcla con el resto de los ingredientes, se obtiene una masa cohesiva, extensible y elástica. Estas propiedades plásticas, características de la masa para pan, se atribuyen a las proteínas del gluten: glutenina y gliadina.

Las moléculas de glutenina son más fuertes y asimétricas, poseen una considerable superficie para asociarse mediante fuerzas no covalentes y quedar fuertemente enlazadas, al hidratarse forman una estructura muy consistente y elástica, mientras la gliadina, de moléculas más pequeñas, da una estructura más fluida y viscosa que facilita la expansión y movilidad de la masa.

La masa, a nivel molecular, puede ser visualizada como una red tridimensional compuesta de cadenas largas de proteínas que están unidas por varios tipos de enlaces químicos. El más significativo de estos es el enlace covalente disulfuro (-S-S-) el cual, a través de la reacción de intercambio disulfuro-sulfidrilo, rápidamente se adapta a los requerimientos dinámicos impuestos por la acción del mezclado. El intercambio de enlaces disulfuro se cree que es iniciado por la reducción del grupo tiol o sulfidrilo (-S-H). Aunque existe un predominio de los grupos -S-S- sobre los grupos -S-H en la proteína del trigo, un número limitado de los grupos tiol es capaz de catalizar el intercambio de grandes números de enlaces -S-S-. La reducción de tan solo el 7% de enlaces disulfuro en una masa han demostrado producir profundos cambios en las propiedades físicas. (5)

Otras uniones importantes incluyen enlaces por puentes de hidrógeno, hidrofóbicos, iónicos y con fuerzas de *van der Waals*. Los enlaces de hidrógeno son formados principalmente por numerosos grupos amino de residuos de glutamina de la proteína del trigo, mientras que residuos no polares de aminoácidos como leucina y valina forman enlaces hidrofóbicos en presencia de agua. (1, 5)

La incorporación de aire es otro aspecto importante del mezclado. Mediciones de la densidad de la masa muestran que la cantidad de aire incorporado se incrementa mientras la masa se vuelve más cohesiva. Cuando la masa ha alcanzado su desarrollo óptimo, habrá incorporado la mitad del total del aire que puede retener. El aire tiene diferentes efectos en la masa. El nitrógeno provee de bases para la formación de celdillas durante la fermentación y finalmente al hornear el producto. A través de su efecto oxidante, el oxígeno del aire causa la acelerada desaparición de los grupos tiol de la harina y por lo tanto aumenta la resistencia de la masa a la extensión, disminuyendo su movilidad y tiempo de mezclado. (7, 11)

En esta etapa se produce una masa homogénea, mediante la incorporación de la harina, el agua, la levadura y el resto de los ingredientes. El mezclado, como ya se mencionó, tiene como objetivo desarrollar el gluten de la proteína presente en la harina para obtener la máxima retención de gas durante el reposo y horneado. El

mezclado también sirve para hidratar los gránulos de almidón en la harina e incorporar aire a la masa, el cual es necesario para la formación de los puentes disulfuro en el gluten.

El amasado puede hacerse a mano o en una mezcladora. En el amasado mecánico se usan velocidades que van de 70 a 120 rpm, y la temperatura deberá estar entre 20 y 25 °C para evitar una fermentación prematura. El tiempo de amasado es variable, dependiendo del pan a elaborar, ya que la hidratación de los ingredientes puede ser más rápida o más lenta, dependiendo de las características de la materia prima utilizada se recomienda un tiempo aproximado entre 10 y 15 minutos. Una consideración importante en esta etapa es no prolongar demasiado el amasado ya que la masa empieza a perder resistencia debido al rompimiento de enlaces, perdiendo elasticidad, propiedad importante en el proceso de elaboración del pan.

Se ha mencionado que la formación de enlaces disulfuro contribuyen al desarrollo del gluten. El hecho de que su efecto desaparezca parcial o completamente, conforme transcurre el trabajo mecánico, sugiere, en este caso, la presencia de enlaces cruzados débiles. La deformación de la masa afecta el arreglo geométrico de las moléculas de proteína, y por medio de esto el número de puentes de hidrógeno, fuerzas de *van der Waals* y demás interacciones entre ellos (7, 8, 11, 12, 22, 24, 25).

1.2.2. Fermentación.

La fermentación se inicia en el momento que la levadura se disuelve en el agua y se incorpora con el resto de los ingredientes de la formulación; esta etapa continúa hasta que la temperatura del horno detiene la actividad fermentativa de la levadura, aproximadamente a 62 °C.

Como consecuencia de la fermentación de los carbohidratos presentes en la masa se observan varios efectos:

- Producción de bióxido de carbono y por lo tanto levado de la masa. El bióxido de carbono que se produce en la fase acuosa de la masa, satura el agua libre disponible y después presiona las burbujas de aire que se han incorporado al sistema durante el amasado; de esta forma, la masa se gasifica y se expande debido a la red elástica que se ha formado gracias a las proteínas del gluten.
- Conversión de azúcares fermentables a bióxido de carbono, alcoholes, ácidos orgánicos, ésteres y compuestos carbonílicos, los cuales proporcionan olor y sabor al producto terminado.
- Modificación de las propiedades físicas de la masa. Conforme avanza la fermentación, la expansión de la masa progresa y se hace más elástica, hasta que comienza a descender la velocidad de expansión de las burbujas de aire, debido a la ruptura de las membranas, ocasionando una disminución en la expansión de esta. Asimismo, el CO₂ se disuelve en el agua y se forma ácido carbónico, haciendo más ácida la masa, de un pH inicial de 5.5 hasta 5.0, y finalmente un aumento de la temperatura como resultado de las reacciones químicas. (7, 8, 10)

Durante la fermentación la masa es sometida a un proceso bioquímico, donde a través del efecto de la levadura sobre los azúcares fermentables los transforma en alcohol y dióxido de carbono como principales productos finales, y por consiguiente se obtiene una masa ligera y aereada. Esto impartirá al producto horneado un característico aroma y sabor.

La harina provee de los carbohidratos que serán empleados por la levadura durante esta etapa, para la producción de gases, y es donde juega un papel preponderante la actividad enzimática de la harina, ya que una harina que tenga una baja actividad deberá ser agregada de un complemento enzimático, para poder obtener las características de proceso y de calidad del producto. La levadura como cualquier organismo vivo, debe ser provista de un medio adecuado para que se desarrolle. El nivel de humedad, temperatura moderada, acidez en el medio y una abundante

cantidad de carbohidratos fermentables, fuentes de nitrógeno asimilable, así como ciertos minerales forman los requisitos básicos para una buena fermentación. La levadura a su vez produce cambios en el medio durante la fermentación, como consecuencia de la descomposición de los azúcares. Se acumulan residuos en forma de dióxido de carbono, alcoholes, ácidos, ésteres, se modifica el pH y se ablanda el gluten. (11)

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

La primera etapa de fermentación es conocida como "esponja", y consiste en una mezcla de harina, agua, levadura y acondicionadores del agua y levadura conocidos como "afimento para levadura". Se logra una hidratación completa de la harina durante esta etapa. Además se logra disminuir el nivel total de levadura empleada, ya bajo las condiciones de temperatura, humedad y pH de la esponja, la levadura alcanza su mayor actividad. El producto terminado tendrá un mayor aroma, sabor, vida de anaquel y humedad que productos elaborados a partir de masa directa. El tiempo de mezcla disminuye por la hidratación adecuada de la harina y el acondicionamiento del gluten.

En el método de esponja-masa, la cantidad de harina utilizada en la esponja es de 60 a un 75% de harina, 55 a 65% de agua del total de la fórmula y de 3 a 5% de levadura fresca comprimida (base harina). Los ingredientes se homogeneizan en una mezcladora y se dejan reposar de 3 a 5 horas en una cámara con 80% de humedad relativa y temperatura de 26 a 30 °C. Finalmente se agrega el resto de los ingredientes (harina, agua, grasa, azúcar y sal) en la mezcladora para formar la masa.

El método de esponja líquida consiste en incorporar de un 45 a 55% de harina, 50 a 60% de agua y de 3 a 5% de levadura fresca comprimida (base harina). Para

elaborarla se utilizan tanques con agitadores en los que se incorpora el agua junto con la levadura y posteriormente se agrega la harina y el alimento para levadura. Se forma un fluido con alta viscosidad, que puede ser bombeado.

La esponja líquida se elabora a una temperatura de 26 a 27 °C y se deja reposar entre 2 y 4 horas. Después de ese tiempo se enfría en un intercambiador de placas hasta una temperatura de 8 y 10 °C, a la cual se almacena. Se bombea a un tanque pesador y de ahí se va directamente a la mezcladora en la cual se elabora la masa por incorporación de los demás ingredientes.

En el método de esponja líquida, se requiere menor espacio para la fermentación de grandes volúmenes de prefermento en comparación con el método de esponja-masa, además de la facilidad de manejo por medio de bombas y un mejor acondicionamiento de la levadura y el gluten. Las ventajas del sistema esponja-masa consisten en una mayor absorción por la cantidad de harina que se hidrata y en la velocidad más controlada de fermentación debida a la menor cantidad de agua empleada. (11)

Durante la fermentación de la esponja y el mezclado de la masa se generan las dos principales fuerzas que entran en juego: la producción y retención de gas, que estando balanceadas producen la optimización de calidad del pan. La producción de gas involucra fundamentalmente el funcionamiento biológico de la levadura sobre los azúcares fermentables, mientras que la retención de gas es dada por las modificaciones mecánicas y fisicoquímicas de la estructura formada por el gluten de la masa durante el mezclado y la fermentación.

Ya que la masa se ha elaborado, dividido en porciones individuales y con la forma deseada, se lleva a cabo la segunda etapa de fermentación conocida como "tiempo de prueba". La masa se lleva a una cámara con humedad relativa de 80 a 90% y una temperatura de 40 a 46 °C, para un óptimo desarrollo de la masa, estos valores dependen en gran medida de la variedad del producto a elaborar. La corteza deberá

conservarse húmeda y tersa para que la masa se expanda con facilidad dentro de los moldes para los panes que así lo requieran. En esta etapa la masa crece y alcanza casi el volumen final de la hogaza. En la fermentación después del mezclado, es donde se obtiene, el 80% del volumen final del producto y donde se comienzan a desarrollar las características finales del pan. (7, 8, 10, 11, 12)

1.2.3. Horneado.

El horneado es la etapa final de la conversión del trigo en pan. Mediante la acción del calor la masa insípida se convierte en un producto ligero de fácil digestión. La cantidad de calor suministrado, la humedad del horno y el tiempo de horneado, son factores que determinan las características finales del pan. El proceso de cocción de las piezas de masa consiste en una serie de transformaciones de tipo físico, químico y biológico que permiten obtener al final del mismo, un producto comestible y de excelentes características sensoriales y nutritivas (1). El pan se hornea a temperaturas que oscilan entre 180 y 250 °C por un tiempo que va de 15 a 25 min aproximadamente. En algunos casos el horneado se efectúa en hornos provistos de vapor, para uniformizar la temperatura, amortiguar el calor del horno y dilatar más las piezas de pan al evitar la resequedad en la corteza.

Al inicio del proceso de horneado, se forma una película superficial que se seca rápidamente, es decir, ocurre la formación de la corteza característica del pan. El color de la corteza se debe a tres fenómenos químicos que son la descomposición del almidón en dextrinas, la caramelización de los azúcares residuales y las reacciones de Maillard entre la proteína y los azúcares.

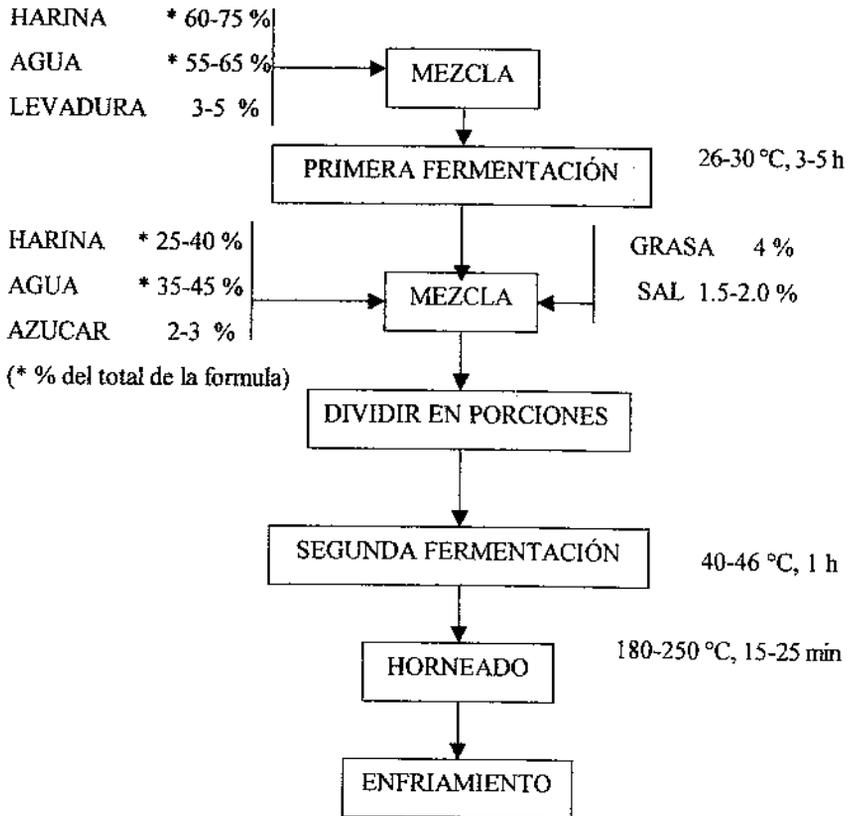
Posteriormente, la masa incrementa su volumen rápidamente debido a la expansión de los gases presentes en la masa. Además, durante esta etapa ocurre la vaporización del alcohol y otros compuestos de bajo punto de ebullición como aldehídos, éteres, ácidos etc., existe un incremento de la actividad fermentativa de la levadura, hasta su temperatura de inactivación que es de 62 °C, el almidón se gelatiniza, entre 65 y

80 °C, y se inicia la coagulación del gluten a 74 °C; esto último ocasiona que el gluten se convierta en una película semi-rígida y porosa, en cuyo interior están los granúlos de almidón parcialmente gelatinizados. También en esta etapa continúan las reacciones de caramelización y oscurecimiento, que es cuando el pan adquiere el olor, sabor, color, textura y volumen propios.

La calidad y la cantidad del gluten, la cantidad de azúcares reductores, la capacidad para formar gas, la cantidad de levadura, sal y otros ingredientes, como la grasa, el azúcar y la leche, representan otros factores de los que depende el desarrollo del pan; otros parámetros tecnológicos como la temperatura, velocidad de cocción, tamaño de las piezas y duración de la fermentación tienen importancia en las características finales del pan. (5, 7, 8, 15, 18)

De los conceptos anteriores, se desprende el diagrama general de elaboración de pan (figura No. 1) denominado esponja-masa, similar al seguido por los fabricantes del "Pan Grande de Acámbaro".

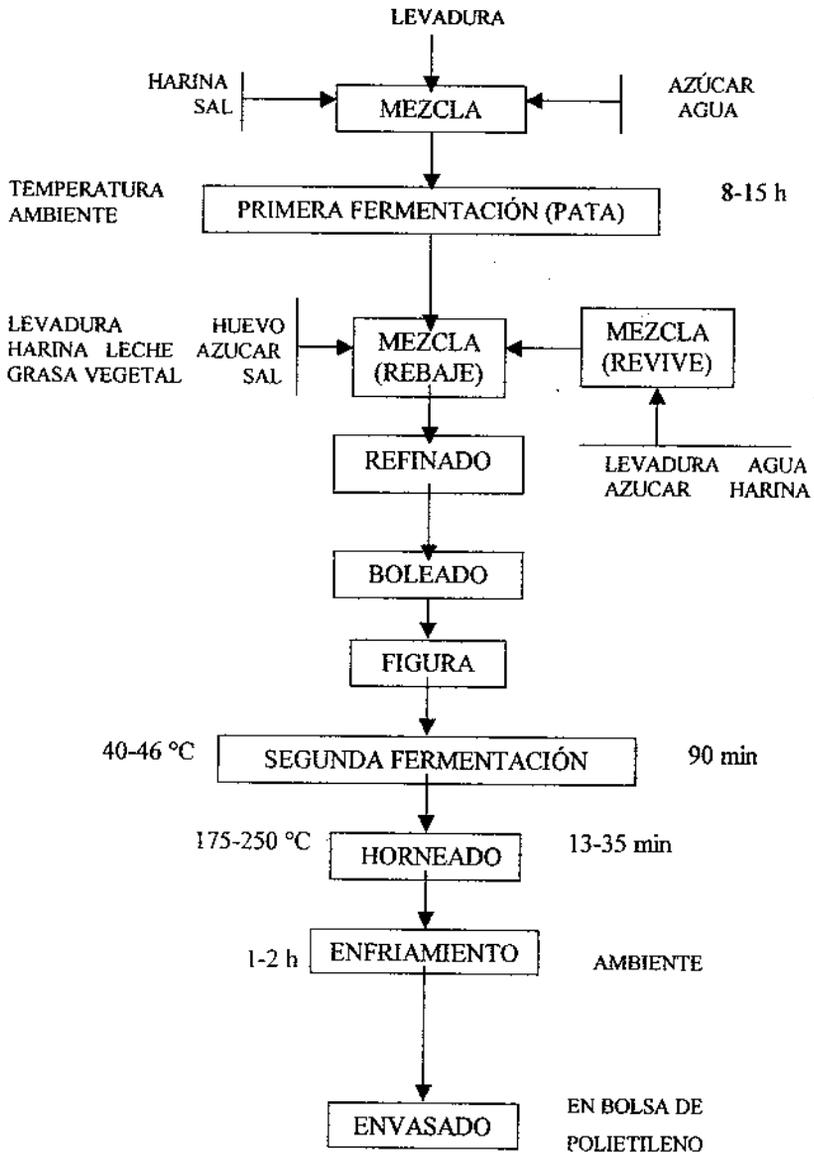
Figura No. 1. Proceso general de elaboración de pan (esponja-masa)



1.3. Proceso de elaboración del "Pan Grande de Acámbaro" tipo "Tallado".

El método utilizado para la elaboración del "Pan Grande de Acámbaro" tipo "Tallado", se adapta en forma general al denominado esponja-masa, presentando ciertas características muy particulares que se observan en la figura No. 2. No se dan las cantidades de los ingredientes para protección de los productores.

Figura No. 2. Proceso de elaboración del "Pan Grande de Acámbaro".



A continuación se describe cada uno de los pasos:

1.3.1. Mezcla.

Se mezclan parte de los ingredientes de la fórmula, como son: harina, agua, sal, levadura y azúcar.

1.3.2. Primera fermentación (PATA).

Esta masa se deja fermentar de 8 a 15 horas a temperatura ambiente (no hay control de temperatura). Los maestros panaderos que se dedican a elaborar tradicionalmente este tipo de pan lo denominan, “dejar podrir” la masa.

1.3.3. Revive.

En ésta es otra operación se mezcla harina, agua, levadura y azúcar. Esta masa se prepara un momento antes de que se vaya a utilizar. Se agrega según las características de la “PATA” a criterio del maestro panadero.

1.3.4. Rebaje.

En esta operación se hace la mezcla de una parte de “PATA” con el resto de los ingredientes secos de la formulación: Harina, azúcar, grasa, huevo, leche, levadura y agua. En esta parte del proceso también suele utilizarse cierta cantidad de preparado denominado “REVIVE” pero esto solo si las características de la mezcla “PATA”, lo requiere. Esto último lo decide el maestro panadero.

1.3.5. Refinado.

El refinado consiste en hacer pasar la masa producto del “REBAJE” a través de dos rodillos metálicos.

1.3.6. Bolcado.

Aquí se divide la masa en porciones o bolas del peso requerido según el tamaño de la pieza de pan, dándole un ligero amasado manual.

1.3.7. Figura.

A la bola hecha en el paso anterior se le da la forma que llevará finalmente el pan.

1.3.8. Segunda fermentación

El fermentado de las piezas formadas de pan, se efectúa en cámaras de fermentación a una temperatura de 40 a 46° C, las cuales están provistas de vapor de agua. El tiempo de duración de esta operación es de 90 min.

1.3.9. Horneado.

El horneado del pan se efectúa en hornos de “columpio” y rotatorios provistos con vapor de agua a temperaturas que van de 175 a 250° C y un tiempo de 13 a 35 min dependiendo del tamaño del pan.

1.3.10. Enfriamiento.

Este se hace a temperatura ambiente, lo cual se lleva de 1 a 2 horas.

1.3.11. Envasado.

Finalmente el producto se coloca en bolsas de polietileno, para su posterior distribución y venta. El producto se mantiene con una frescura aceptable aproximadamente 15 días.

Las operaciones que caracterizan este proceso son:

- 1.- La primera fermentación, la cual se realiza durante 8 a 15 h, a temperatura ambiente, de la cual no hay control de temperatura, solo se aplica el criterio del maestro panadero.
- 2.- La adición de los ingredientes en polvo en la operación denominada "REBAJE" a la masa "PATA" resultante de la primera fermentación.
- 3.- La preparación de la masa denominada "REVIVE" y que se agrega según el criterio del maestro panadero. Los puntos 2 y 3, suceden en la operación denominada "REBAJE".
- 4.- La segunda fermentación, es igual al proceso general de 40 a 46 °C, pero por un tiempo de 90 min.

1.4. Características generales de la calidad del pan.

La calidad del pan es determinada por su sabor, digestibilidad, apariencia, volumen de la hogaza y de las propiedades de la costra y la miga. La corteza debe ser uniformemente firme y libre de abombamientos. No debe ser dura, quebradiza, suave, ni correosa, debe tener cierta elasticidad. El color de la corteza debe ser café claro, sin manchas oscuras o café rojizo, comúnmente vistas en panes de leche. La miga debe ser suave y elástica con una estructura fina, no seca ni que se desmenuce. El volumen del pan es también importante, ya que un alto volumen indica un buen fermentado. Sin embargo un pan con alto volumen se seca más rápido que uno mas denso. (38)

Las características de calidad en el producto terminado son afectadas por la calidad de las materias primas, la fórmula empleada y por el control del proceso. Los aspectos de calidad del pan deben cubrir los requerimientos legales, consideraciones

sanitarias y las características de aceptación por parte del consumidor. Una vez que se ha obtenido el pan, éste debe cumplir con una serie de atributos de calidad como son: color, sabor y aroma característicos, miga uniforme, simetría y volumen adecuados, así como una buena masticabilidad y firmeza suficiente para poder rebanarse o cortarse. (5, 7, 8, 15, 18)

Las características del pan que son evaluadas por un consumidor para el consumo y compra del producto son:

- a).- Volumen de la hogaza
- b).- Color externo.
- c).- Características de la miga.
- d).- Textura.
- e).- Sabor y aroma.
- f).- Envejecimiento.

1.4.1. Volumen de la hogaza.

El volumen es un atributo que depende principalmente de la cantidad de gas retenido en la masa. A su vez, la formación de CO₂ y la capacidad de retención dependen de cinco factores que son: la cantidad de levadura, las condiciones de fermentación (tiempo y temperatura), la presencia de carbohidratos fermentables y la acción de aditivos que inhiben o aceleran la actividad fermentativa (un exceso de sal retarda la fermentación), así como el efecto de la adición de compuestos que interaccionan con la red gluten-almidón y que debilitan o refuerzan la estructura de la masa (enzimas y oxidantes) (15). El volumen específico es referido como la medición del volumen final alcanzado por la hogaza después del horneado, en relación con el peso de la pieza. El peso del producto es el punto de partida de cualquier evaluación, ya que éste influye directamente en el resto de las características, donde un peso mayor al especificado contribuirá a tener mayores volúmenes, celdas de migas cerradas y uniformes, simetría uniforme.

La determinación del volumen específico se realiza con un dispositivo el cual permite medir el volumen de la hogasa de pan mediante el desplazamiento de partículas finas (generalmente semillas). Este dispositivo consiste en una caja rectangular de dimensiones conocidas y por consecuencia volumen conocido. La hogasa de pan se coloca en la caja, se cubre con semillas de ajonjolí hasta llenar completamente el recipiente, el volumen de ajonjolí desplazado, se mide con una probeta y este corresponde al desplazado por la hogasa de pan. También se toma el peso de la pieza de pan. (29, 30)

1.4.2. Color de la corteza.

El color es un importante atributo sensorial. El consumidor asocia el color con el sabor y cierto nivel de satisfacción. Una variación del color entre unidad y unidad no es bien apreciado por el consumidor. El color de la costra depende de la concentración de los compuestos nitrogenados presentes en la superficie de la hogasa y de la cantidad de azúcares reductores de la masa, los cuales reaccionan entre sí para producir melanoidinas coloreadas que van desde el amarillo claro hasta el café. Estas interacciones dependen del pH del medio y de la temperatura. (1).

El color es la percepción de la luz de cierta longitud de onda reflejada por un objeto. Un cuerpo rojo, por ejemplo, refleja la luz con la longitud de onda correspondiente al rojo y absorbe la luz de todas las demás longitudes de onda del espectro visible. Los objetos blancos reflejan la luz de todas las longitudes de onda del espectro visible, mientras que los cuerpos negros no reflejan luz alguna.

El color de un objeto tiene tres características:

a). El **tono**, el cual está determinado por el valor exacto de la longitud de onda de la luz reflejada. Unos cuantos nanómetros de diferencia significan mezcla con otro color y, por lo tanto, un tono diferente.

b). La **intensidad**, la cual depende de la concentración de las sustancias colorantes dentro del objeto o alimento.

c). El **brillo**, que es dependiente de la cantidad de luz que es reflejada por el cuerpo, en comparación con la cantidad de luz que incide sobre él.

Hay una infinidad de tonos en la naturaleza, y otros que han sido desarrollados por los fabricantes de colorantes. Existen tres colores simples o básicos -llamados también primarios- y de estos se derivan, por combinación, todos los demás tintes o tonos. Dichos colores son el rojo, el amarillo y el azul. La evaluación del color se puede hacer visualmente con la utilización de cartas de color o actualmente ya existen métodos instrumentales para su medición, lo que hace tener resultados más consistentes, disminuyendo los errores que se pudieran presentar al variar las diferencias en la capacidad visual de los consumidores. En estos métodos está la utilización del Colorímetros. (28)

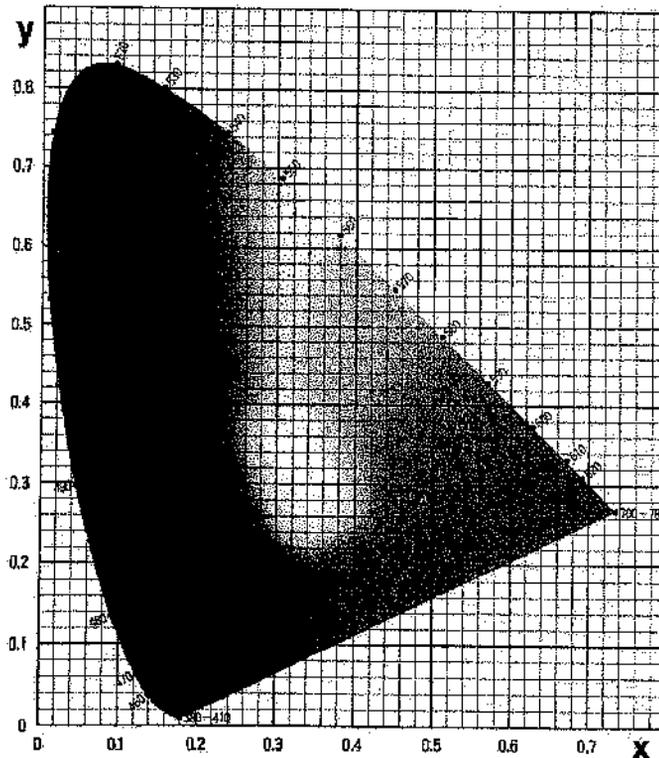
1.4.2.1. Cartas de color.

La medición del color puede efectuarse usando escalas de color. Estas pueden consistir de ejemplos típicos de alimentos, mostrando toda la gama de colores que pueden presentarse en la muestra o usando para ello fotografías o modelos hechos de plástico coloreado. O bien, puede tratarse de escalas o muestras de catálogos o folletos. La escala debe de abarcar todos los tonos e intensidades posibles en las muestras a evaluar, colocados en orden creciente de intensidad o valor, y se asignan valores numéricos a cada punto de la escala. Las muestras se comparan visualmente con dicha escala, y se le asigna el número correspondiente. Dicho valor numérico es completamente arbitrario, pero si la escala es utilizada siempre de la misma forma y con las mismas condiciones de prueba, los resultados pueden ser considerados válidos. (28)

1.4.2.2. Método CIE.

Uno de los sistemas utilizados es el CIE (del francés, *Commission Internationale de l'Eclairage*), en el cual el color se especifica por tres cantidades - X , Y y Z - llamados **valores triestímulos**. Estos valores representan la cantidad de los tres colores primarios que son requeridos para que un observador común obtenga un color. Si cada uno de los valores triestímulos es dividido por la suma de los tres, los valores resultantes x , y , y z , llamados **coordenadas de cromaticidad**, dan la proporción del estímulo total atribuible a cada color primario y en consecuencia la suma de ellos dan la unidad. Los valores de x e y solos, pueden ser usados para describir un color, en un diagrama de cromaticidad bidimensional (figura No. 3). La tercera dimensión, de luminosidad u oscuridad, es definida por el valor triestímulo Z . (27, 28, 41)

Figura No. 3. Diagrama de cromaticidad x y. Sistema CIE.



1.4.2.3. Método Judd-Hunter.

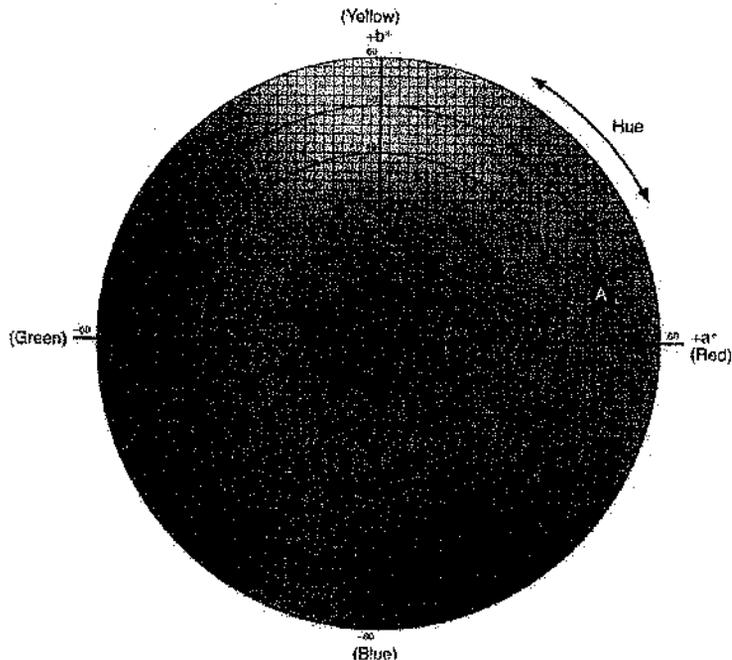
El colorímetro L, a, b de Judd-Hunter y su escala de colores (figura No. 4) es, probablemente, el más popular, económico y bien adaptado a las pruebas rutinarias de la industria de alimentos. Hunter (1958) elaboró esta escala con tres propósitos en mente:

1).- Ser capaz de darle un sentido a la escala directamente, con un colorímetro triestímulos.

2).- Para proporcionar las condiciones que representan las sensaciones rojo/verde, azul/amarillo y oscuro/luminoso como respuestas del cerebro humano.

3).- Dar una solidez al color a través de una uniformidad visual. Este último objetivo es imposible de lograr, pero la escala L, a, b , se acerca a dicho objetivo, como fue demostrado por Hunter y Harold (1987). (27, 41)

Figura No. 4. Diagrama de cromaticidad. L, a, b .



En el sistema Judd-Hunter el color puede ser representado por los valores L (Luminosidad u oscuridad, 0 = negro perfecto a 100 = blanco perfecto), a ($-a$ = verde, $+a$ = rojo) y b ($-b$ = azul, $+b$ = amarillo). La escala de los ejes a y b varían de -100 a $+100$. Con el objeto de simplificar la representación del color, lo podemos hacer en un espacio de dos dimensiones, en donde los valores de a y b son transformados a H° , el cual es el ángulo formado por la línea de unión del punto (a, b) y el origen con el eje verde-rojo. El sistema $L C H$ usa el mismo diagrama que el sistema $L a b$ en coordenadas cilíndricas cambiándolo a coordenadas cartesianas. En este sistema, L es la variación de la luminosidad, C es la saturación y H el ángulo (hue = tinte, tono o matiz) (figura No. 5) (27, 41, 42). Las ecuaciones que definen lo anterior se muestran a continuación.

$$L = L$$

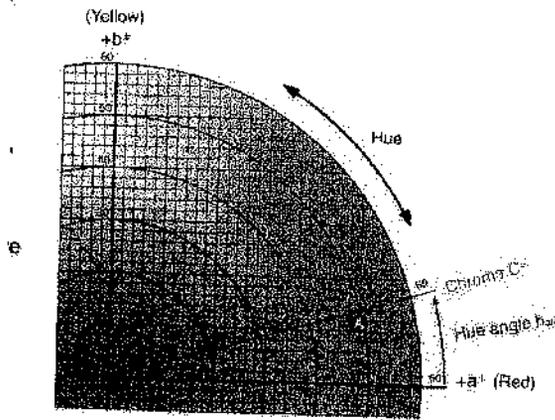
$$C = [(a)^2 + (b)^2]^{1/2} \quad H^\circ = 0^\circ \text{ cuando } a = 0 \text{ y } b = 0$$

$$H^\circ = \tan^{-1}(b/a) \text{ cuando } a > 0 \text{ y } b \geq 0 \quad H^\circ = 90^\circ \text{ cuando } a = 0 \text{ y } b > 0$$

$$H^\circ = 180^\circ + \tan^{-1}(b/a) \text{ cuando } a < 0 \quad H^\circ = 270^\circ \text{ cuando } a = 0 \text{ y } b < 0$$

$$H^\circ = 360^\circ + \tan^{-1}(b/a) \text{ cuando } a > 0 \text{ y } b < 0$$

Figura No 5. Diagrama de color $L C H^\circ$.



1.4.3. Características de la miga.

Se define como miga la estructura interna del pan, buscando tener unas características de uniformidad del tamaño de las celdillas, así como evitar tener túneles o cavernas. El aspecto de la miga depende, por un lado, de las características de la masa: si ésta es débil la miga será gruesa y puede hasta presentar orificios y cavernas; y por otro lado, de las condiciones de fermentación, ya que la masa puede sobrefermentarse y producir una miga muy compacta. Así mismo, también puede verse influida por la adición de compuestos capaces de incorporarse con la red formada por el gluten y el almidón. En la actualidad se han desarrollado equipos para evitar la subjetividad de esta medición, como es el caso del *Crumb Scanner*, que mide el tamaño promedio de las celdillas, su uniformidad o distribución, y presencia de áreas densas o túneles. (38)

1.4.4. Textura.

Es difícil establecer una definición clara de textura ya que están involucradas varias características del alimento, sin embargo podríamos escoger la siguiente definición como la más adecuada:

“Textura es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista, y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación”.

Es importante notar que la textura no puede ser percibida si el alimento no ha sido deformado y no se puede hablar de la textura de un alimento como si fuera una sola característica de éste, sino que más correctamente, debemos referirnos a los **atributos de textura**, o a las **características o propiedades de textura** del alimento. Todas estas propiedades satisfacen la definición anteriormente mencionada y, entre todas, contribuyen a darle al alimento una textura agradable o desagradable. (28)

Según la reología de alimentos, a partir del esfuerzo y de la deformación que registra un cuerpo cuando es comprimido, es posible clasificarlo de acuerdo a su comportamiento, el cual puede ser elástico o viscoso. Los cuerpos elásticos ideales son aquellos que no se deforman después de un ciclo de compresión-descompresión y toda la energía requerida para realizar el trabajo se recupera, mientras que los fluidos viscosos ideales son aquellos que se deforman completamente y que disipan toda la energía al exterior. Sin embargo, los alimentos sólidos como el pan, no pueden ser considerados dentro de ninguno de los grupos anteriores, ya que se deforma después de la compresión y una parte de la energía no se recupera debido a la fricción interna y a las modificaciones estructurales irreversibles que ha sufrido la muestra, razón por la cual son denominados sólidos viscoelásticos. (34, 35)

La medición de los atributos de textura puede realizarse ya sea de forma sensorial, subjetivamente o por medio de pruebas instrumentales, objetivas. La desventaja de utilizar técnicas subjetivas o sensoriales radica en que están supeditadas a los órganos de los sentidos de la persona o personas que hagan la evaluación. Es por esto, que existe la alternativa del uso de métodos instrumentales, los cuales se dividen en fundamentales, empíricos e imitativos.

Los métodos fundamentales son aquellos en los que se trata de definir lo más exactamente posible el comportamiento reológico del alimento, establecer las ecuaciones que rigen dicho comportamiento y medir los parámetros y coeficientes involucrados en dichas ecuaciones. Dichos métodos son sumamente detallados y cuentan con antecedentes teóricos muy bien establecidos, pero su aplicación en casos de control de calidad y control de procesos, y cualquier otra situación donde se requiera una toma rápida de decisiones basada en un resultado de una determinación física, no es eficiente ya que las pruebas reológicas fundamentales generalmente deben efectuarse muy lentamente y requieren una interpretación de resultados bastante laboriosa. Además, la correlación entre los parámetros obtenidos en este tipo de pruebas y los resultados de la evaluación sensorial realizada al mismo producto no es muy alta, ya que se trata de propiedades con niveles muy

diferentes de variabilidad de los datos numéricos. Sin embargo, su aplicación en situaciones de desarrollo de formulaciones muy precisas, y en investigación, tiene ventajas muy superiores a otros métodos. (28, 31, 32, 33)

Los métodos empíricos son los más utilizados, en los cuales se aplica un esfuerzo de cualquier tipo al alimento, ya sea de compresión, corte, extrusión, flexión, tensión, midiéndose la respuesta del alimento: por ejemplo, su disminución o aumento de longitud, el tiempo que tarda en recuperar su forma o tamaño original después de la deformación, la fuerza requerida para la ruptura, y esto se hace en forma completamente empírica. Por lo tanto, en muchas ocasiones no están muy claros los principios teóricos de los métodos, y la interpretación de los resultados es, igualmente, empírica en su totalidad. A pesar de esto último, la correlación con resultados de la evaluación sensorial suele ser alta, además, las pruebas suelen tomar menos tiempo que las de los métodos fundamentales, por lo cual, la aplicación de los métodos empíricos en situaciones de control de calidad de productos y control de procesos es muy buena. Entre los métodos imitativos se encuentran varios aparatos con los que se trata de simular la acción de los dedos, las manos, los dientes e incluso la boca, al deformar un alimento para determinar su textura. (28)

Para el control de calidad y el desarrollo de productos en las áreas farmacéuticas (cremas, cosméticos, polvos, tabletas etc.), química (grasas, cremas, lubricantes, etc.) y de alimentos (grasa, mantequilla, queso, geles, pan, frutas, chocolates etc.), las pruebas de textura son comúnmente utilizadas. Entre las pruebas empíricas para evaluar propiedades texturales de los materiales, se encuentran las pruebas de penetración o punción. (37)

1.4.4.1. Penetrometría.

La penetrometría se refiere a la penetración o sumergimiento de un cuerpo o dispositivo en el material de prueba. Si las condiciones de prueba se estandarizan es posible obtener importante información acerca de la consistencia del producto. Para

tal fin, existen instrumentos comerciales conocidos como penetrómetros, diseñados específicamente para diferentes productos. El manejo sencillo de los penetrómetros, su bajo costo y la rapidez de las pruebas, los hacen aparatos muy utilizados en la industria para fines de control de calidad y desarrollo de productos.

El Penetrómetro Universal es el más común y está basado en el de ASTM (American Society of Testing Materials). Una de las marcas que comercializa este instrumento es Precision Scientific. Existen otras marcas como el Humbolt Mtg.

El penetrómetro opera bajo el principio de peso constante-velocidad variable. El modo de prueba es medir distancia, básicamente de compresión, aunque realmente existe cizallamiento y flujo (en materiales plásticos). Los penetrómetros comerciales tienen dispositivos como cilindros, conos truncados, esferas, anillos, agujas, etc. la mayoría de los cuales son normalizados.

El penetrómetro marca Precision (figura No. 6), consta de un soporte en el cual está sostenida una varilla vertical de 3/16 de pulgada de diámetro y con un peso de 47.5 g que puede ser detenida o liberada para caer libremente bajo la fuerza de gravedad. Un indicador de carátula de 4 pulgadas de diámetro, conectado a un medidor de profundidad (altura, distancia), es usado para medir la distancia que la varilla cae después de ser liberada con una sensibilidad de 1/10 de mm. El indicador de carátula está graduado de 0-380 mm. Las medidas de penetración pueden ser efectuadas hasta una profundidad total de 650 mm ya que la aguja puede dar 1.66 revoluciones. Todo este dispositivo está unido a un soporte con cremallera que permite subir y bajar a fin de ajustar la altura sobre la muestra. (37)

1.4.4.2. Texturómetro.

Una de las máquinas más modernas para la medición de textura de alimentos, aplicable a pruebas fundamentales, empíricas e imitativas, es el texturómetro (figura No.7). Este aparato tiene controles electrónicos muy precisos, su sensibilidad es

muy alta, y es muy versátil. Una de las características que lo hacen más atractivo es que utiliza un programa de computadora que recoge los datos y las graficas guardándolas automáticamente.

Los texturómetros actuales efectúan múltiples pruebas (penetración, corte, extrusión, determinaciones puntuales de dureza, fuerza de un gel etc.), así mismo pueden efectuarse pruebas bajo tensión y compresión, con los diferentes dispositivos de prueba como: cilindros, placas, cuchillas, navajas etc. (37)

Con este instrumento es posible llevar a cabo la prueba denominada Análisis de Perfil de Textura (TPA por sus siglas en ingles). El método consiste en comprimir una muestra, con dimensiones conocidas, del alimento una distancia determinada, dos veces consecutivas imitando la acción de la mandíbula, para obtener una curva de fuerza contra tiempo, donde se determina una serie de parámetros de textura, los cuales se correlacionan con una evaluación sensorial.(28, 31, 32, 33, 34 ,35)

Figura No. 6. Penetrómetro Universal. Marca PRECISION.

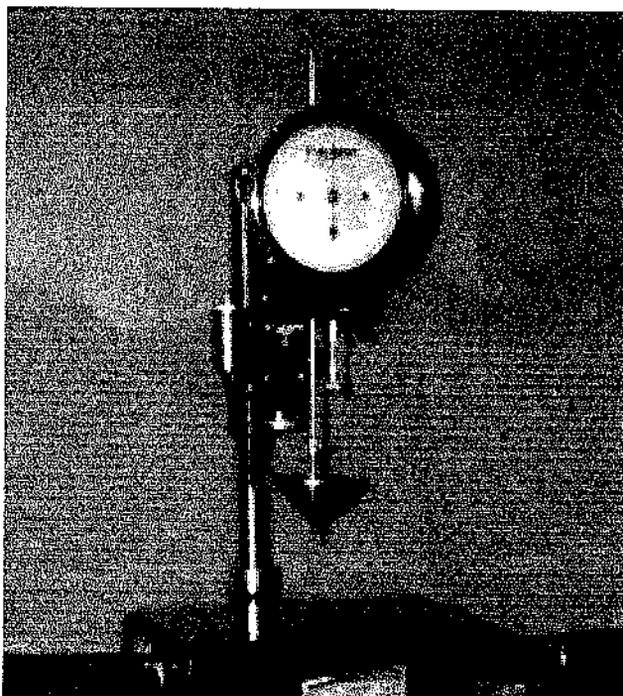
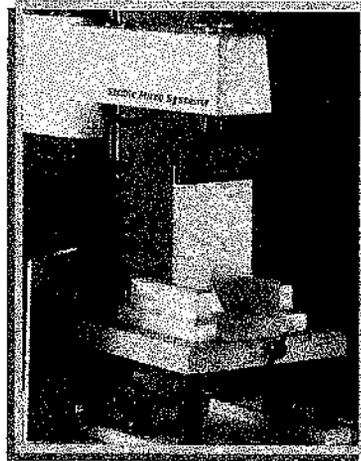
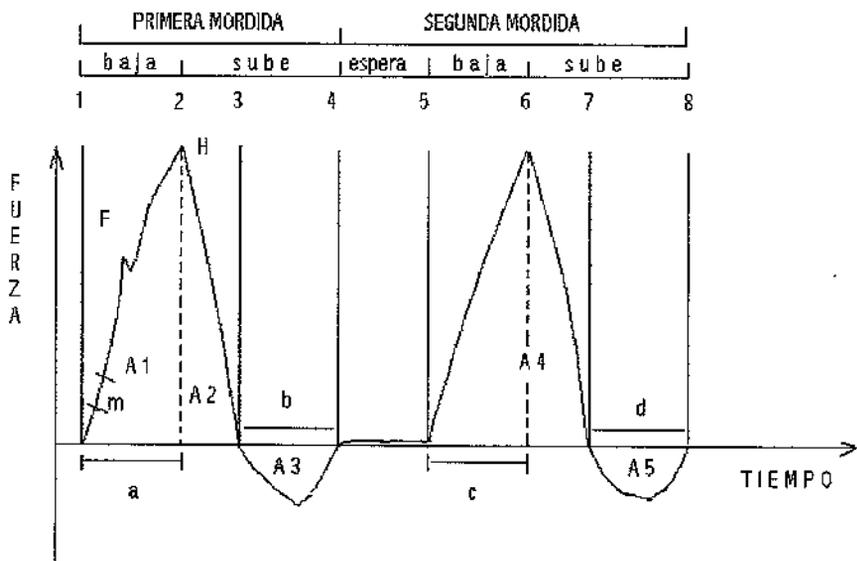


Figura No.7. Texturómetro TA-XT2, con cuchilla de corte.



La relación Fuerza-Tiempo (figura No. 8) se grafica y es precisamente la correlación de esta curva con evaluaciones sensoriales lo que permite definir los parámetros de textura.

Figura 8. Diagrama General del Análisis de Perfil de Textura.



DUREZA ($H = \text{Kgf}$): es la fuerza necesaria para alcanzar una deformación dada. La medición consiste en evaluar ya sea la fuerza requerida para comprimir una muestra de un alimento una distancia dada, o en calcular la distancia recorrida al comprimir bajo una fuerza específica. En el TPA es la fuerza máxima en el primer ciclo de compresión, la cual también puede ser medida en base al área bajo la primera curva (energía o trabajo de compresión).

FUERZA DE FRACTURA ($F = \text{Kgf}$): es la fuerza requerida para generar el primer pico de ruptura en la curva del primer ciclo de compresión.

COHESIVIDAD (-): es una medida de la fuerza de los enlaces internos que proporcionan estructura al producto. Puede ser medida como la razón a la cual el material se desintegra bajo la acción mecánica. En el TPA es la relación entre el área positiva durante el segundo ciclo de compresión y el primero ($A_4/A_1 + A_2$)

ELASTICIDAD ($c = \text{Kgf-mm}$): es la razón a la cual el material que ha sufrido una deformación regresa a su forma original después que ha desaparecido la fuerza deformante; es decir, es la altura que el alimento recupera entre la primera y segunda compresión. En un TPA se mide como la distancia que el alimento recobra desde la primera compresión hasta el inicio de la segunda compresión. Otros autores se refieren al **ÍNDICE DE ELASTICIDAD** ($c/a = \text{Kgf-mm}$).

ADHESIVIDAD (Kgf-mm): es el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie con la que el alimento entra en contacto. En un TPA representa el área negativa bajo la curva durante la primera compresión (A_3).

GOMOSIDAD (Kgf): es el producto de la dureza por la cohesividad.

MASTICOSIDAD (Kgf): en un TPA representa el producto de la gomosidad por la elasticidad.

MODULO (Kgf-mm): también conocido como FIRMEZA, se refiere a que tan firme se siente el producto cuando se comprime ligeramente. Es la pendiente (m) inicial de la curva Fuerza-Distancia en el primer ciclo de compresión.

Los parámetros antes mencionados y otros específicos de cada prueba que se realice, se calculan a partir de la curva Fuerza-Tiempo con ayuda del *software* que cada equipo proporciona. (28, 34, 35, 37)

Estudios realizados anteriormente indican que los parámetros de textura del pan son influenciados por una serie de factores, entre los que se encuentran:

- Variaciones en la composición de la materia prima: como se mencionó anteriormente, la harina contiene sustancias que poseen una gran afinidad por el agua (carbohidratos, fibra y almidón), los cuales son capaces de aumentar la capacidad de retención de humedad en el producto y por lo tanto hacer un pan más suave. Asimismo, las proteínas y los lípidos afectan la suavidad de la miga, ya que promueven un desarrollo óptimo y funcional de la estructura del gluten: un gluten bien desarrollado da una mejor miga y una mejor retención de agua y por lo tanto un pan más suave.
- Modificaciones en la formulación del producto: los emulsificantes adicionados se combinan con la amilosa de los gránulos de almidón impidiendo que el agua emigre al exterior y contribuya a la formación de la red que le da dureza a la estructura, las alfa amilasas rompen algunas cadenas del almidón incrementando la flexibilidad de la estructura.
- La distribución de la humedad dentro de la hogasa de pan: cuando el pan es removido del horno la costra está prácticamente libre de humedad, pero durante el enfriamiento el contenido de agua de la costra se incrementa rápidamente, debido a una migración de humedad de la miga a la superficie, por lo que la

miga se hace más blanda conforme se avanza hacia el centro de la hogaza. (11, 38, 43)

1.4.5. Sabor y aroma.

El sabor y el aroma del pan se deben a la combinación de muchas sustancias, llegando a ser hasta 150 de ellas. Entre estos compuestos se pueden encontrar: ácidos orgánicos, ésteres de algunos ácidos orgánicos, alcoholes, aldehídos, cetonas, compuestos sulfurados y finalmente otro grupo de compuestos como maltol, isomaltol y melanoidinas producidas durante el calentamiento. Los compuestos causantes del sabor y aroma de pan son derivados de la composición de las materias primas, y de las transformaciones bioquímicas involucradas durante las operaciones de fermentación y el horneado. (38)

1.4.6. Envejecimiento.

La calidad del pan empieza a deteriorarse después del horneado, esto se debe al contenido de humedad. La pérdida de humedad, que interfiere con la calidad del pan, es grande durante los primeros 30 min. después del horneado, llegando a ser un promedio del 2 %, en las primeras 24 Hrs. La pérdida depende de la temperatura y humedad relativa de almacenamiento. Sin embargo cierta pérdida es deseada para contribuir a la calidad óptima de la corteza y la miga.

Después de un almacenamiento prolongado se observan un cambio en la costra y miga, denominado "envejecimiento". La costra pierde su consistencia natural, se arruga y vuelve correosa. La miga pierde su suavidad y consistencia esponjosa. Esto da como resultado poca elasticidad, resequedad, firmeza, con una tendencia al desmenuzamiento, y el aroma del pan se vuelve rancio. Estos cambios ocurren aún sin la pérdida total de la humedad.

El envejecimiento del pan es influenciado por la temperatura, este es más rápido a 0 °C. El pan almacenado a 4 °C envejece más en un día que almacenado por tres días

a 70 °C. No hay envejecimiento debajo de -7 °C. Panes con alta concentración de grasa, leche descremada y azúcar envejecen más lentamente. El envejecimiento es causado principalmente por los cambios en la estructura coloidal del almidón, así como en los cambios en la absorción y regeneración de la estructura cristalina del agua.

La firmeza de la miga es debida a la asociación reversible al calor, del lado de la cadena de amilopectina ramificada dentro de los granulos de almidón y su retrogradación. Se supone que del 70 a 80 % de la amilosa, 10 % de amilopectina y 10 % de proteínas del pan están involucradas en el proceso de envejecimiento. La asociación de las moléculas de almidón depende de la temperatura.

El particular sabor y olor desarrollado como resultado del envejecimiento, se debe en parte a la formación de compuestos de melanoidinas, diferentes a los formados durante el horneado. Por otro lado la costra pierde compuestos aromáticos, incrementándose dentro de la miga, disminuyendo más tarde. En el pan de trigo la concentración de formaldehído, acetona, acetaldehído, e isovaleraldehído decrece drásticamente en la miga, como resultado del envejecimiento. El sabor a rancio no simplemente se debe a la desaparición de los componentes del aroma, los aldehídos son fácilmente oxidados en presencia de aire, formando los ácidos correspondientes. Algunos de estos como el ácido isobutírico e isovalérico tienen un sabor desagradable. (38)

Capitulo DOS

METODOLOGIA

2.- METODOLOGÍA

En el cuadro metodológico (figura No.9) se muestra la secuencia teórica y experimental realizada para cubrir los objetivos planteados. El objetivo general es: Determinar, a partir de la relación de pruebas físicas (color, volumen específico), y texturales (análisis del perfil de textura, prueba de penetración y prueba de corte), las características que permitan seleccionar los parámetros de calidad en el "Pan Grande de Acámbaro" tipo "Tallado".

Objetivo No.1. Efectuar pruebas físicas (color, volumen específico), y texturales (análisis del perfil de textura, penetración y prueba de corte), en el "Pan Grande de Acámbaro" tipo "Tallado", de siete diferentes fabricantes para determinar si existen diferencias significativas y establecer parámetros de calidad.

Objetivo No.2. Efectuar un análisis de correlación entre pruebas físicas y texturales, a fin de determinar si a partir de pruebas sencillas, económicas y rápidas, se pueden estimar propiedades texturales.

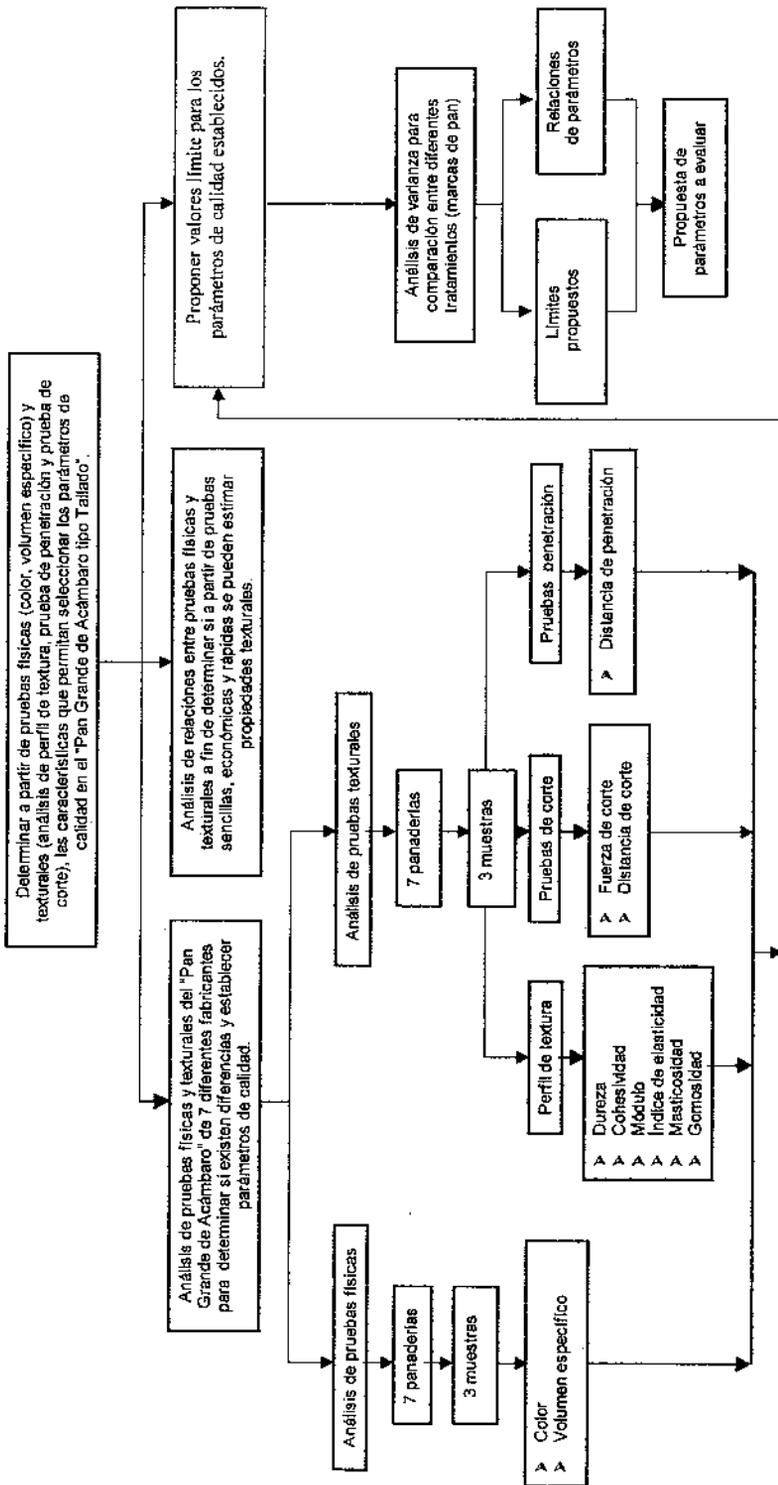
Objetivo No.3. Proponer valores límite para los parámetros de calidad establecidos.

2.1. Materiales.

Se analizaron muestras de siete diferentes panaderías pertenecientes a la Unión de Productores de Pan Grande de Acámbaro. Para no evidenciar las características de cada uno con respecto a las demás, las muestras se enumeran del 1 al 7. Cada muestra permaneció en una bolsa de polietileno, su envase original, hasta el momento de efectuar las pruebas.

La realización de las pruebas físicas (volumen y color), textura (TPA, corte y penetración), se efectuó después de 24 horas de elaborado el pan. Cada prueba se hizo por triplicado (en tres panes diferentes) y algunas hasta por quintuplicado, según la disponibilidad de muestra.

Figura No. 9. CUADRO METODOLÓGICO



2.2. Métodos.

De la sección, **1.4. Características generales de la calidad del pan**, se seleccionaron, para su estudio, los parámetros de volumen de la hogaza, color externo y textura.

2.2.1. Pruebas físicas.

Las pruebas física que se realizaron a las muestras de "Pan Grande de Acámbaro", tipo "Tallado" fueron volumen específico y color de la corteza.

2.2.1.1. Volumen específico.

Para la determinación del volumen específico se utilizó un recipiente metálico con las dimensiones siguientes: 8.0 cm de altura, 34.8 cm de ancho y 34.8 cm de largo lo que da un volumen total de 9688 cm^3 y con una capacidad de 6000 g de semilla de ajonjolí, correspondiendo un volumen específico de la semilla de $1.6 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Se coloca la pieza entera de pan en el recipiente metálico, se cubre con la semilla de ajonjolí hasta su volumen total. El peso de la semilla desplazada se multiplica por el volumen específico de la misma, lo cual nos da el volumen del pan y al dividir entre el peso de la pieza de pan, tenemos su volumen por unidad de masa (cm^3/g).

2.2.1.2. Color de la corteza.

La determinación del color se hizo sobre la superficie (corteza) del pan, utilizando las siguientes técnicas:

2.2.1.2.1. Pantone.

Consiste en un conjunto de cartas, las cuales muestran una gran diversidad de colores, mismas que se comparan con el producto en cuestión y se anota la clave del color, que coincide visualmente con la muestra. Se toma la clave de las tres cartas de color cuyo color es más similar visualmente al de la muestra.

Con el objeto de comparar los resultados visuales con los instrumentales, a cada carta seleccionada se le hace, también, la determinación de los valores de L , a , b y b/a con el colorímetro.

2.2.1.2.2. Método Judd-Hunter.

El color de la muestra se evaluó, colocando la muestra en contacto con una fotocelda de un colorímetro electrónico, en este caso marca MINOLTA, modelo CR-300, la cual detecta el color de la muestra dando los valores numéricos de L , a y b . Se calculó la relación b/a y con el valor de L , tomados como coordenadas, se recurre a un diagrama tridimensional de colores para ubicar el correspondiente a la muestra.

2.2.2. Pruebas Texturales.

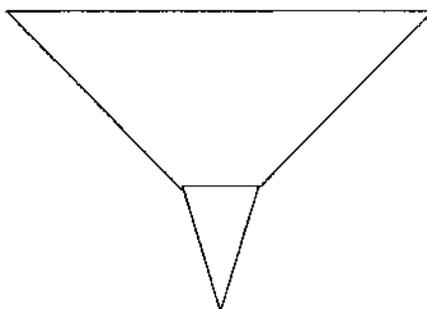
Las pruebas de textura efectuadas a las muestras de pan son: pruebas de penetración, análisis del perfil de textura (TPA) y prueba de corte.

2.2.2.1. Prueba de penetración.

La Prueba de penetración se realizó con un Penetrómetro Universal marca PRECISION, el dispositivo de penetración fué un cono de aluminio. Este es un cono de 45° truncado que en la truncación tiene insertado un cono de 15° (figura No.10),

con un peso de 35 g que sumado al peso de la varilla porta conos de 47.5 g, nos da un peso total utilizado de 82.5 g. La punta del cono se colocó al ras y en la parte central de la superficie de la cara superior de la pieza entera de pan y se dejó penetrar durante 5 s. En todas las pruebas, el cono, solo penetró la parte correspondiente a 15°, con valores de L (distancia de penetración) menores a 1.49 cm. El parámetro aquí determinado fue la distancia de penetración dada en décimas de milímetro (1/10 mm) con la posibilidad de ser reportadas en centímetros (cm).

Figura No. 10. Cono de 45°, insertado con un cono de 15°.



En caso de así requerirlo, la dureza puede ser determinada utilizando la ecuación que describe el comportamiento de la dureza en función de la distancia de penetración, para la sección del cono de 15° con un peso total de 82.5 g.

$$\text{Log } D = 4.9678 - 2 \text{ Log } L$$

Donde: D = Dureza (dina/cm^2).

L = Distancia de penetración en el pan (cm).

La distancia de penetración es inversamente proporcional a la dureza del pan. A menor distancia de penetración mayor dureza. En la ecuación anterior el único valor por determinar es el de L , en el segundo miembro, y los demás datos son constantes. El resultado del valor de la dureza (D) depende de L , por lo que podemos tomar el valor de esta, como parámetro para compararlo con los demás. Esto también facilitará el uso de esta determinación en las pruebas de calidad del pan por parte de los fabricantes. Para los fines de este trabajo, se tomará como parámetro la distancia de penetración (cm). (37)

2.2.2.2. Análisis del Perfil de Textura (TPA).

El TPA se realizó en el Texturómetro modelo TA-500 marca LLOYD. Este instrumento nos da los resultados de esta prueba en forma gráfica, también nos reporta los datos numéricos de los valores de: Dureza, Cohesividad, Fuerza de fractura, Elasticidad, Adhesividad, Gomosidad y Masticosidad.

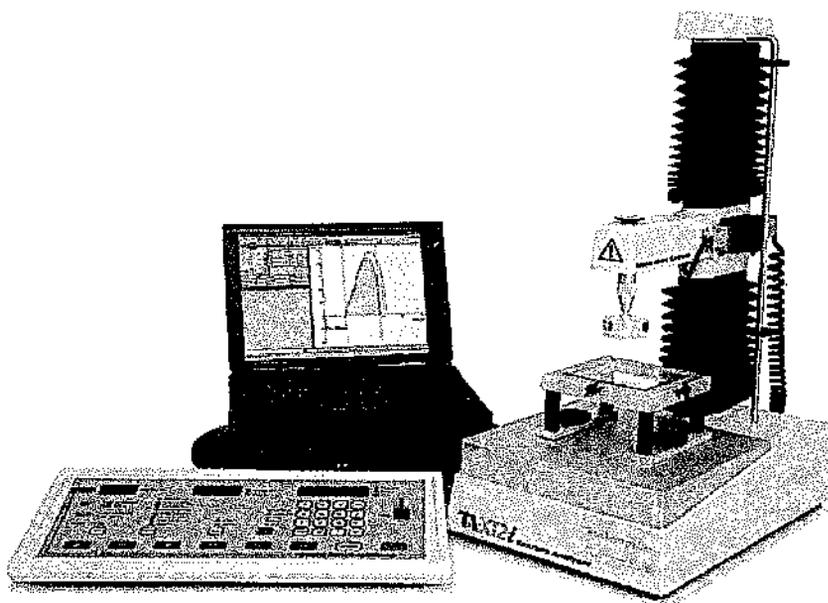
Las condiciones de la prueba fueron: Fuerza de contacto de 0.01 Kg, velocidad 100 mm/mín, distancia de compresión de 20 mm, en el área localizada en el centro de la cara superior de la pieza entera de pan. Se utilizó como dispositivo de compresión, un cilindro de acrílico de 1 pulgada de diámetro.

El texturómetro, a través de un programa de cómputo, nos da los resultados en forma gráfica, donde se observa el comportamiento de la muestra bajo los efectos de la fuerza aplicada.

2.2.2.3. Prueba de corte.

La Prueba de corte se realizó en un Texturómetro STABLE MICRO SISTEM modelo TA-XT2 (figura No.11). Como dispositivo de corte se usó una cuchilla de 7 cm de ancho y 8 cm de altura, con filo por solo una de sus caras. La velocidad de corte 2 mm/s, la fuerza de contacto 10 g, la distancia de penetración de 75 mm. La muestra de pan: 8 cm de largo, 6 cm de ancho y 5 cm de altura se colocó sobre una base de 9 cm por 6.5 cm con una ranura en medio lo cual permite que la muestra de pan sea cortada completamente en dos partes iguales. El corte se hizo perpendicular a las líneas que contiene la pieza del pan en su corteza. La información de esta prueba se obtiene mediante una gráfica y datos numéricos haciendo uso del *software* del equipo. Los parámetros seleccionados para comparar con los demás son la fuerza de corte y la distancia de corte.

Figura. No. 11. Texturómetro TA-XT2, con placas de compresión.



2.2.3. Análisis de varianza.

Hechas las pruebas antes mencionadas, se estableció un Análisis de Varianza (ANOVA), comparando los diferentes tratamientos (marcas de pan) y sus triplicados, se determinan las diferencias y se establecen los límites mínimo y máximo, propuestos para cada uno de los parámetros (ejemplo en el cuadro No 2).

Cuadro No. 2. cálculo de promedios y límites inferior y superior para distancia de penetración (cm).

Muestra Prueba	1	2	3	4	5	6	7
1	1.24	0.95	0.84	1.28	1.14	1.22	1.35
2	1.38	0.88	0.8	1.28	1.16	1.35	1.35
3	1.23	0.82	0.8	1.22	1.18	1.22	1.32
4	1.16	0.96	0.83	1.3	1.0	1.2	1.32
5	1.28	0.89	0.75	1.23	1.13	1.27	1.42
Promedio	1.25	0.9	0.804	1.262	1.122	1.252	1.352
Promedio Total (PT) = 1.13				Limite Inferior: $PT - IC = 1.13 - 0.066 = 1.069$ Limite Superior: $PT + IC = 1.13 + 0.066 = 1.202$			
Desviación Estandar = 17.7							
Intervalo de Confianza (IC) = 0.066 (alfa = 0.05)							

2.2.4. Análisis de relaciones.

Se buscaron relaciones entre los promedios de los parámetros físicos y texturales evaluados, efectuando regresiones entre ellos, de diferentes tipos (lineal, potencial, logarítmica y polinomial) para determinar cuáles de ellos se relacionan y en base a ello seleccionar los parámetros a evaluar, de tal forma, que los propuestos se adapten a las condiciones de trabajo de los fabricantes de pan. Estos deberán ser fáciles de medir, económicos y con equipo accesible, de manera que permitan

estimar las propiedades físicas y texturales propuestas como parámetros de calidad del "Pan Grande de Acámbaro".

Capitulo TRES

ANALISIS DE RESULTADOS

3.- ANALISIS DE RESULTADOS.

3.1. Calculo de los Valores Promedios y Valores Límite de los parámetros medidos.

Para cumplir los objetivos planteados, se presentan los valores promedio de los resultados, además de los límites inferior y superior (Cuadros No. 3, 5, 6, 7 y 8), sacados a partir de un Análisis de Varianza (ejemplo en el cuadro No.2), de los diferentes parámetros que se están considerando como base, obtenidos en las pruebas realizadas en 7 marcas diferentes de pan tipo "Tallado". Se estableció un intervalo de confianza del 95% para todas las muestras (39).

Con el objeto de tener una apreciación más objetiva de la similitud o diferencia entre cada una de las muestras, en las figuras No. 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23 y 24 se comparan gráficamente los valores promedio de los parámetros; volumen específico, color, distancia de penetración, TPA (dureza, cohesividad, módulo, índice de elasticidad, Masticosidad, gomosidad) y prueba de corte (fuerza de corte, distancia de corte) lo que nos permite ver la tendencia que presentan cada uno de ellos.

3.2. Pruebas Físicas.

En los cuadros 3, 4 y 5 se muestran los valores promedio de las pruebas físicas (Volumen específico y Color de corteza), complementados con las gráficas de las figuras 12 y 13.

3.2.1. Volumen específico.

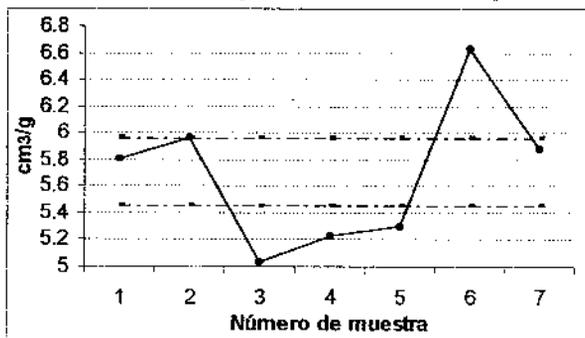
En el Cuadro No. 3. se presentan los resultados del volumen específico. 2 de ellos 1, y 7 (5.808 y 5.884 cm^3/g con asterisco) dentro de los límites recomendados (5.46-5.96 cm^3/g). Los cinco restantes fuera del límite, esto se debe a; que existe una

variación en la formulación, calidad de proteína de la harina, condiciones de fermentación, agentes leudantes o en los tiempos y velocidades de batido (36).

Cuadro No. 3. Valores promedio del volumen específico.

No. De muestra	Vol. Esp. (cm ³ /g)
1	5.808*
2	5.972
3	5.036
4	5.235
5	5.306
6	6.628
7	5.884*
Límite inferior	5.461
Límite superior	5.966

Figura No.12. Valor promedio del volumen específico.



3.2.2. Color.

La determinación del color se hizo visualmente y se reportan las claves de tres cartas del PANTONE (Cuadro No.4) que coinciden con cada una de las muestras. En la evaluación visual del color de los panes, la muestra No. 1 es el más claro y la muestra No 3, el más oscuro de entre los 7 fabricantes.

Cuadro No.4. Claves del PANTONE correspondientes a cada muestra.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7
Clave	144U	155U	153U	146U	174U	160U	153U
PANTONE	145U	156U	154U	153U	1605U	469U	1535U
	153U	1385U	160U	1395U	1615U	1535U	1605U

La determinación de los valores de L , a , y b , se realizó a estas cartas para compararlos con los que se obtuvieron con el colorímetro aplicado directamente sobre la muestra de pan. Se reporta también la relación b/a (amarillo/rojo) (cuadro No. 5).

Los tres valores que definen el color del pan como son L , a , b y la relación b/a tanto las determinaciones colorimétricas a la cartas del Pantone como a las realizadas directamente sobre el pan (cuadro No. 5), presentan diferencias entre marca y marca, lo cual se debe al uso de harina proveniente de grano germinado, insuficiente acidificación, adición de preparado de malta, leche o harina de soya, temperatura y tiempo de horneado (38).

En el cuadro No. 5, se marcan con asterisco todos los valores que están dentro de los límites correspondientes, también en dicho cuadro se observa que para Pantone, solo las muestras 3 y 7 tienen sus cuatro valores dentro de límite, para el colorímetro las 1, 3, y 4 solo los valores de L , a y b . Para la muestra 3 tanto Pantone como el colorímetro arrojan valores de L , a y b dentro de límites. Para Pantone las

muestras 1, 3, 6 y 7 y para el colorímetro solo la muestra No. 7 el valor de la relación b/a , está dentro del límite.

Cuadro No.5. Color. Valores promedio de L , a , b y b/a para pan.

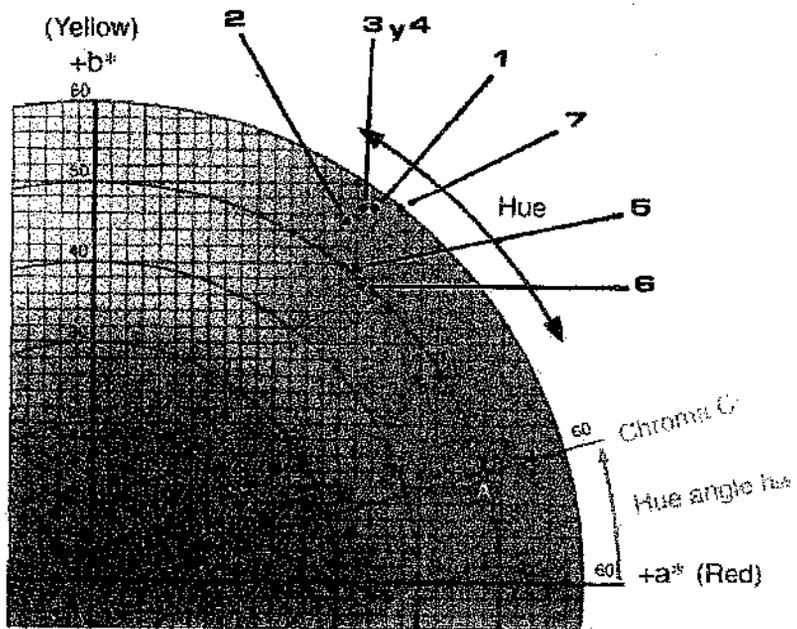
Número de Muestra	Cartas de Pantone				Colorímetro			
	L	a	b	b/a	L	a	b	b/a
1	77.02	46.61	57.87	1.24	69.44	34.15	47.37	1.38
				*	*	*	*	
2	96.77	36.15	53.53	1.48	84.64	30.45	45.55	1.49
		*					*	
3	65.48	31.41	39.33	1.25	70.80	32.69	46.83	1.43
	*	*	*	*	*	*	*	
4	67.51	27.93	42.80	1.53	69.80	32.69	46.68	1.42
	*		*		*	*	*	
5	62.55	32.42	33.29	1.02	60.55	31.99	39.6	1.23
		*				*		
6	61.71	29.28	35.02	1.19	55.64	32.26	37.64	1.16
				*		*		
7	65.54	34.38	41.71	1.21	64.51	36.88	47.76	1.29
	*	*	*	*	*			*
Lim. Inf.	65.33	30.38	38.84	1.14	61.07	31.51	41.44	1.25
Lim. Sup.	76.55	37.66	47.89	1.4	74.74	34.51	47.53	1.36

El valor de a y b en todos los casos es positivo y al ubicarlo en el diagrama de color de Judd- Hunter, se sitúan en el cuadrante donde a = rojo y b = amarillo definiendo el color de la muestra al ubicarlos en la figura 13. También se pueden usar b/a , C y H° . Sólo las muestras No. 3 y 4 son muy similares.

El valor b/a indica la relación entre los colores amarillo y rojo pero no me define una mezcla específica, ya que una variación de esta, no implica una variación en la

misma proporción de los valores de a y b como en las muestras 1 y 4 ($b/a = 0.04$, $a = 1.46$ $b = 0.49$) y 5 y 7 ($b/a = 0.06$, $a = 4.89$, $b = 8.16$).

Figura No. 13. Ubicación de las 7 muestras. Valores a y b . Colorímetro



3.3. Pruebas Texturales.

En el cuadros 6, 7 y 8 se presentan los valores promedio de los parámetros de textura evaluados y los límites inferior y superior calculados en el "Pan Grande de Acámbaro".

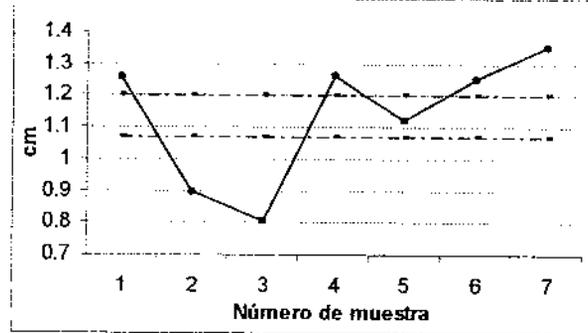
3.3.1. Prueba de penetración.

En la figura No.14 podemos observar que solo la marca No.5 (1.122 cm, con asterisco), está dentro del límite recomendado (1.069-1.203 cm) las 6 restantes están fuera. La marca No. 3 es la que presenta el valor más bajo (0.804 cm), o sea que es la que presenta mayor dureza de las siete marcas analizadas. La muestra No.7 con el valor de penetración más grande (1.352 cm) es la mas suave, seguida de las muestras No. 4, 1 y 6 con valores (1.262, 1.258 y 1.252 cm) muy próximos entre si. El valor de Dureza es inversamente proporcional a la distancia de penetración o sea que a menor distancia de penetración mas duro es el producto (37).

Cuadro No.6. Distancia de penetración. Valores promedio.

No. Muestra	Penetración (cm)
1	1.258
2	0.901
3	0.804
4	1.262
5	1.122*
6	1.252
7	1.352
Límite inferior	1.069
Límite superior	1.202

Figura 14. Valores promedio de la distancia de penetración.



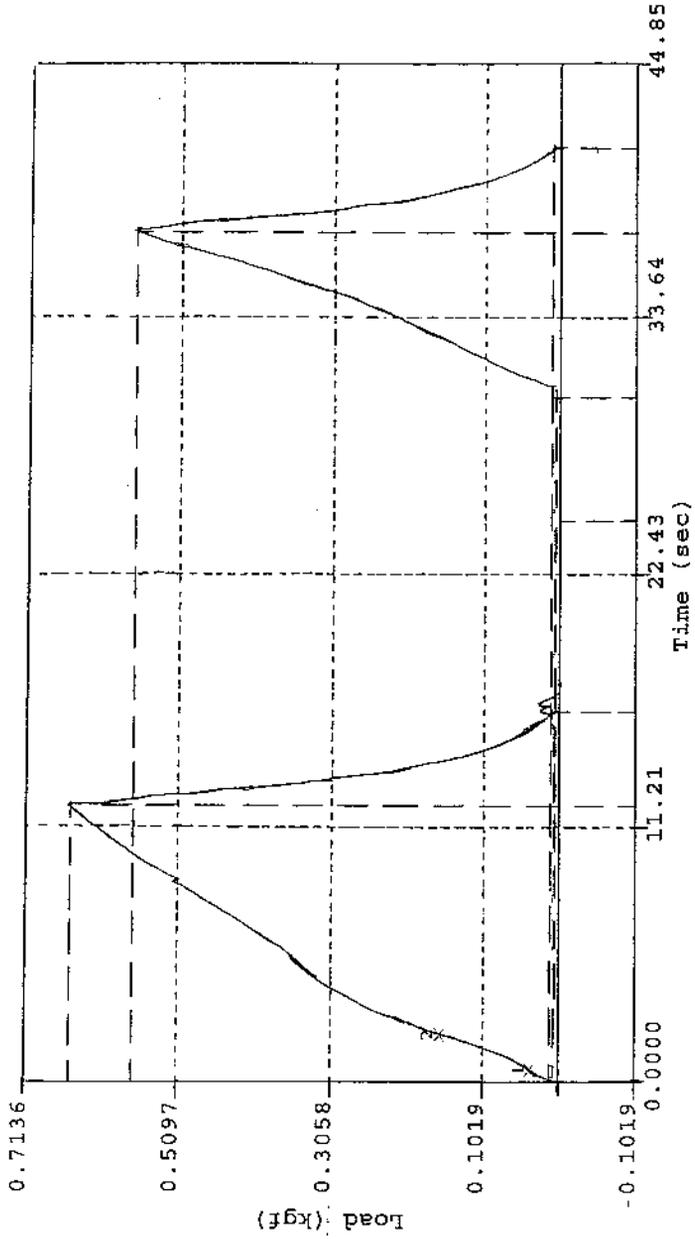
3.3.2. Análisis del perfil de textura (TPA).

En el análisis del perfil de textura (TPA) del "Pan Grande de Acámbaro" tipo "Tallado, se obtuvieron los resultados que se muestran en el cuadro No. 7 (valores con asterisco dentro de límites), ninguna muestra tiene todos sus parámetros del TPA dentro de los límites. En la figura No.15 se representa el ejemplo de la curva resultante de la prueba de TPA realizada a una muestra de pan.

Cuadro No.7. Valores promedio del Análisis del Perfil de Textura (TPA).

No. De Muestra	Dureza (Kgf)	Cohesividad (-)	Modulo (kgf-mm)	I.elasticidad (Kgf-mm)	Masticosidad (Kgf)	Gomosidad (Kgf)
1	0.965*	0.4399	0.0794	0.5660	0.2661*	0.4247*
2	1.2557	0.3485	0.1133	0.5647	0.2496*	0.4383*
3	2.6524	0.3510	0.1680	0.5768*	0.5513	0.9367
4	0.9394	0.4720	0.1046*	0.6829	0.3110	0.4468*
5	0.9390	0.3064	0.0950*	0.5996*	0.2052	0.2656
6	0.6350	0.4288	0.0573	0.6230*	0.1700	0.2727
7	0.8949	0.4233	0.0702	0.6611	0.2500*	0.3804*
L. Inf.	0.950	0.3772	0.0821	0.575	0.2228	0.3594
L. Sup.	1.240	0.413	0.1049	0.63	0.2956	0.4680

Figura No. 15. Análisis del Perfil de Textura de una muestra de pan.

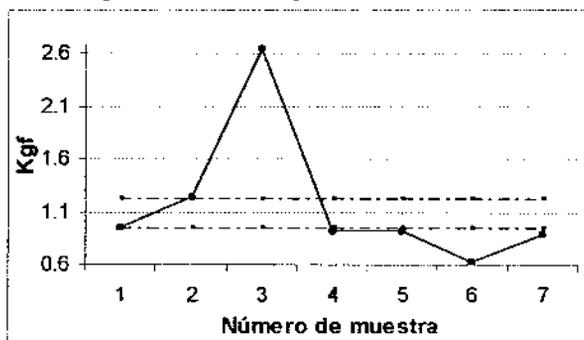


3.3.2.1. Dureza.

Como se sabe la dureza del pan esta determinada por la fuerza necesaria para comprimirlo, sensorialmente es la fuerza requerida para comprimir un trozo de dicho pan, entre las muelas.

En la figura No 16 se observa que la muestra No. 3 es la más dura (2.6524 Kgf) y la No. 6 la más suave (0.635 kgf). Solo la muestra No. 1 (0.965 Kgf) se encuentra dentro de los límites (0.950 a 1.240 Kgf).

Figura No.16. Valor promedio de la dureza.

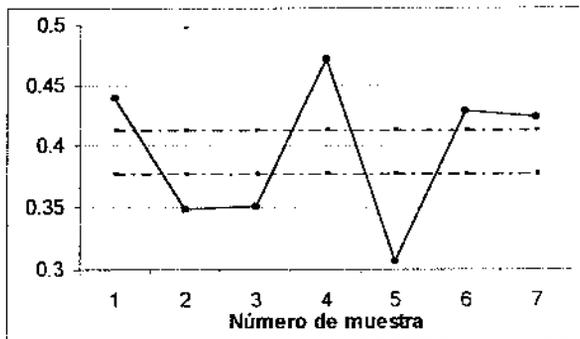


3.3.2.2. Cohesividad.

La cohesividad se manifiesta por el grado de unión de los componentes, físicamente es la medida de la deformación de un material antes de romperse, sensorialmente es el grado hasta el cual se comprime el pan, entre los dientes antes de romperse.

La figura No. 17 nos indica que ninguno de los valores está dentro de los límites (0.3772 a 0.413). La muestra No. 4 (0.472) es la más cohesiva y la No. 5 (0.3064) la menor.

Figura No. 17. Valor promedio de la cohesividad.

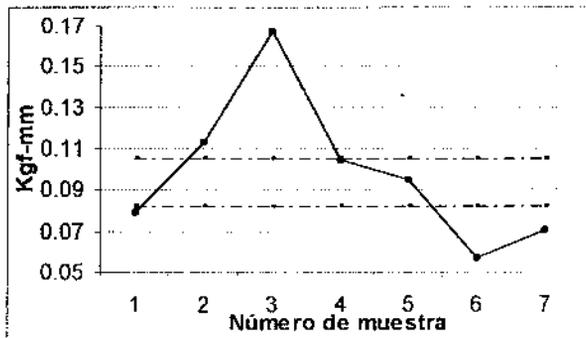


3.3.2.3. Módulo.

El módulo también es conocido como firmeza de un material, se refiere a que tan firme es un producto cuando se comprime ligeramente.

En la figura No. 18 se observa que solo los valores de las muestras 4 y 5 (0.1046 y 0.0950 Kgf-mm) están dentro de los límites (0.0821 a 0.1049 Kgf-mm). La muestra No. 3 es la de mayor firmeza (0.1680 Kgf-mm) y la muestra No.6 la menor (0.0573 Kgf-mm).

Figura No.18. Valor promedio del módulo.

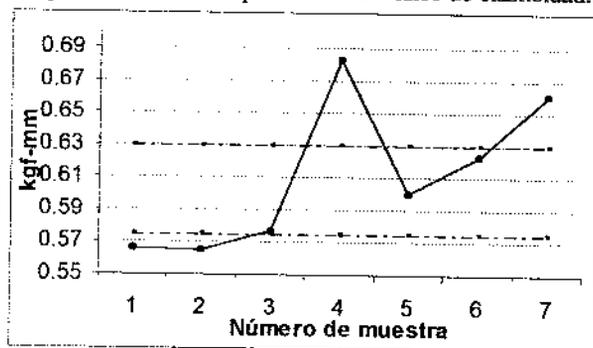


3.3.2.4. Índice de elasticidad.

La elasticidad de un pan, es el grado hasta el cual regresa a su forma original, una vez que ha sido comprimido por una fuerza.

De acuerdo a la figura No. 19, solo las muestra No. 3, 5 y 6 (0.5768, 0.5996 y 0.6230 Kgf-mm) están dentro de los límites (0.575 a 0.63 Kgf-mm). La muestra No. 2 la de menor índice de elasticidad (0.5647 Kgf-mm) y la No. 4 la mayor (0.6829 Kgf-mm).

Figura No. 19. Valor promedio del índice de elasticidad.

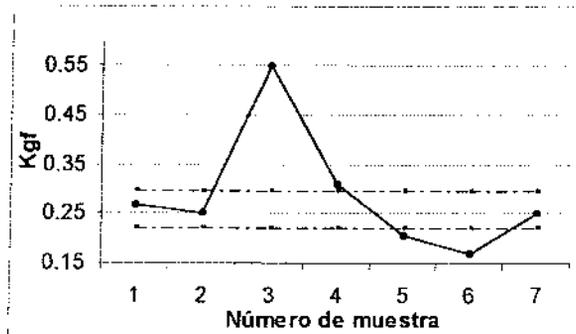


3.3.2.5. Masticosidad.

La masticosidad representa la energía requerida para masticar un alimento hasta que está listo para ser deglutido.

En la figura No. 20, solo las muestras No. 1, 2 y 7 (0.2661, 0.2496 y 0.250 Kgf) están dentro de los límites (0.2228 a 0.2956 Kgf). La muestra No. 3 (0.5513) con la mayor masticosidad y la No. 6 (0.1700 Kgf) con la menor.

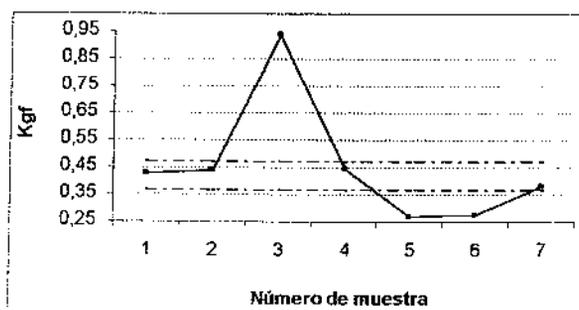
Figura No. 20. Valores promedio de masticosidad.



3.3.2.6. Gomosidad.

La gomosidad es la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para deglutirlo. En la figura No. 21, solo las muestras No.1, 2, 4, y 7 (0.4247, 0.4383, 0.4468 y 0.3804 Kgf) están dentro de los límites (0.3594 a 0.4680). La muestra No. 3 (0.9367 Kgf) tiene la mayor gomosidad y la No. 5 (0.2727 Kgf) la menor.

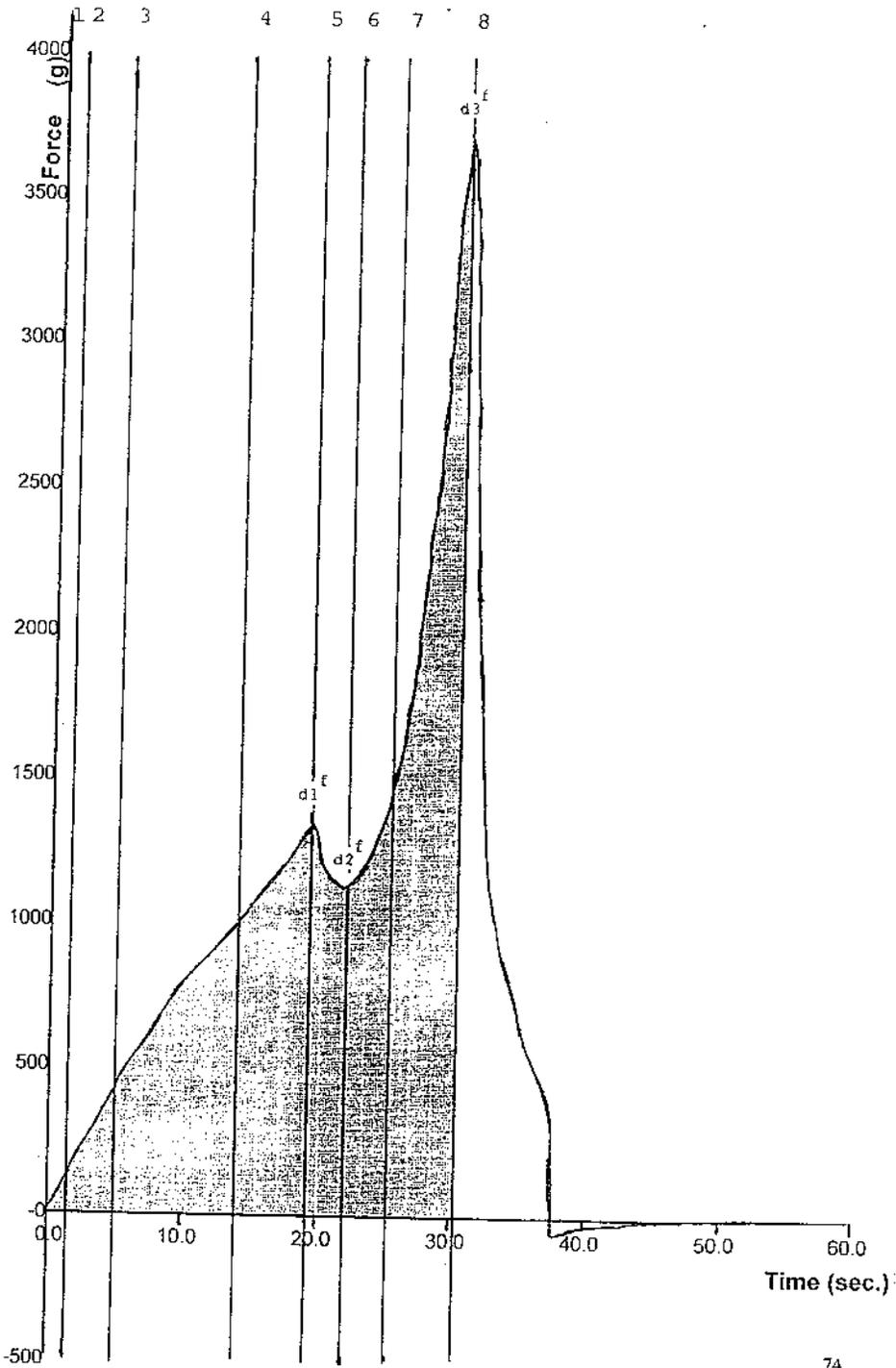
Figura No. 21. Valores promedio de gomosidad.



3.3.3. Prueba de corte.

En la figura No. 22, se muestra un ejemplo de la gráfica obtenida en una prueba de corte. Los datos de fuerza y distancia de corte (cuadro No. 8), son los correspondientes al punto sobre la curva sobre la línea vertical 5.

Figura No. 22. Prueba de Corte de una muestra de pan.



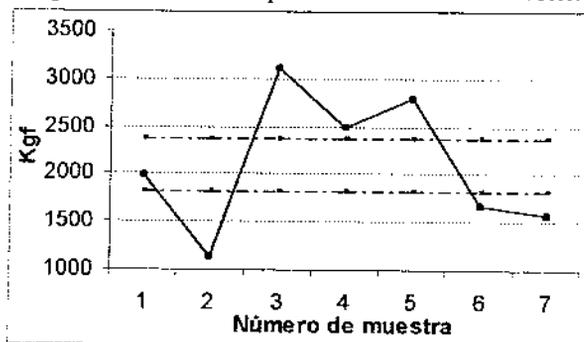
Cuadro No.8. Valores promedio de la prueba de corte.

Número de muestra	Fuerza de corte (Kgf)	Distancia de corte (mm)
1	1982*	51.8782
2	1133	30.6072
3	3115	54.3975
4	2491	50.7392
5	2802	54.2421
6	1666	45.8402*
7	1563	42.6021
Límite inferior	1814	44.4471
Límite superior	2382	50.5971

3.3.3.1. Fuerza de corte.

La Fuerza de Corte en la Figura No. 23, muestra un comportamiento muy heterogeneo en todas las muestras, con la muestra No. 3 con la mayor fuerza de corte (3115 Kgf) y la No. 2 con la menor (1133 Kgf). Solo la muestra No. 1 (1982 Kgf) está dentro de los límites (1814 a 2382 Kgf).

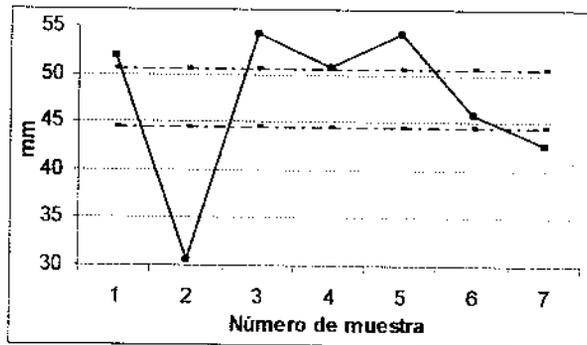
Figura No. 23. Valores promedio de la fuerza de corte.



3.3.3.2. Distancia de corte.

En la figura No. 24, se observa que la distancia a la cual el pan se corta, solo la muestra No. 6 (45.8 mm) está dentro de los límites (44.4 a 50.5971). La muestra No.3 (54.3975 mm) con la mayor distancia de corte y la No. 2 (30.6072) con la menor.

Figura No. 24. Valor promedio. Distancia de corte.



En el cuadro No. 9, se muestra un resumen de los parámetros dentro de límites para cada uno de los fabricantes. Las muestras No. 1 con 6; la muestra No. 7 con 4. Las muestras No. 3, 4, y 5 con 3. Las muestras No. 2 y 6 con 2.

Cuadro No. 9. Panes con parámetros dentro de límites.

Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7
Volumen específico	*						*
Color Pantone			*				*
Color. Colorímetro	*		*	*			
Distancia de penetración					*		
Dureza	*						
Cohesividad							
Módulo				*	*		
Índice de elasticidad			*	*	*		
Masticocidad	*	*					*
Gomosidad	*	*	*				*
Fuerza de corte	*						
Distancia de corte						*	
TOTAL de parámetros dentro del límite	6	2	3	3	3	2	4

En lo que se refiere a valores numéricos de los parámetros, las muestras No. 3 y No. 6 (cuadro No. 10) presentan características que las hacen sobresalir con valores opuestos en todos los parámetros.

Cuadro No. 10. Comparación entre las muestras No. 3 y No. 6.

Parámetro	Muestra No. 3.	Muestra No. 6.
Volumen específico	Más bajo	Más alto
Color Pantone	<i>L, a y b</i> dentro de límites	<i>L, a y b</i> fuera d límites
Color colorímetro	<i>L, a y b</i> dentro de límites	Sólo <i>a</i> , dentro de límites
Distancia de penetración	Más bajo	Más alto
Dureza	Más alto	Más bajo
Cohesividad	Tercero más bajo	Tercero más alto
Módulo (firmeza)	Más alto	Más bajo
Índice de elasticidad	Tercero más bajo	Tercero más alto
Masticosidad	Más alto	Segundo más bajo
Gomosidad	Más alto	Segundo más bajo
Fuerza de corte	Más alto	Tercero más bajo
Distancia de corte	Más alto	Tercero más bajo

En resumen, al observar todos los valores numéricos de los parámetros evaluados se observan diferencias y pocos de ellos están dentro de los límites calculados en las muestras de los siete fabricantes. Como es sabido, las propiedades físicas y de textura en el pan se deben a muy diversos factores, como son la fórmula, la compleja interacción entre componentes. Estudios en este terreno proponen que estas interacciones, como la cristalización del almidón, la absorción del agua, el contenido de almidón soluble, la actividad amilolítica, la retrogradación del almidón, la acción de surfactantes y las condiciones de proceso, influyen en las características sensoriales del pan.

3.4. Valores límite de los parámetros físicos y de textura.

En el cuadro No. 11 se tienen los valores mínimo y máximo de cada parámetro. Los resultados de este trabajo, se propone sean tomados como base para iniciar una evaluación de las propiedades físicas y texturales del pan e ir obteniendo más datos que nos lleven a establecer poco a poco características de calidad más homogéneas del "Pan Grande de Acámbaro" tipo "Tallado".

Cuadro No. 11 Valores límite de los parámetros físicos y texturales evaluados.

Parámetros físicos		
	Límite inferior	Límite superior
Volumen específico (cm ³ /g)	5.461	5.966
Color de costra		
<i>L</i>	61.07	74.74
<i>a</i>	31.51	34.51
<i>b</i>	41.44	47.53
Parámetros de textura		
	Límite inferior	Límite superior
Distancia de penetración (cm)	1.069	1.202
Dureza (Kgf)	0.950	1.240
Cohesividad	0.3772	0.413
Modulo (Kgf-mm)	0.0821	0.1049
Indice elasticidad (Kgf-mm)	0.575	0.63
Masticosidad (Kgf-mm)	0.2228	0.2956
Gomosidad (Kgf)	0.3594	0.4680
Fuerza de corte (Kgf)	1814	2382
Distancia de corte(mm)	44.4	50.5

3.5. Relación entre parámetros evaluados.

Con el objeto de encontrar alguna posible relación entre los parámetros, que fuese de utilidad, se realizaron ajustes a diferentes modelos matemáticos entre los promedios de los parámetros evaluados, reportando solo aquellos que tienen una correlación (R), igual o superior a 0.9. (cuadro No. 12). Las correlaciones resultantes provienen de los promedios de diferentes muestras (fabricantes) por lo que sólo podemos hablar de una relación entre promedios y la tendencia que siguen (39)

Para poder establecer alguna correlación que nos permita predecir propiedades texturales a partir de pruebas sencillas, económicas y rápidas como la distancia de penetración (Dureza penetrómetro) y el volumen específico, necesitamos profundizar nuestro análisis evaluando los parámetros y relacionando los resultados dentro de la misma muestra (fabricante).

Cuadro No.12. Relación entre parámetros evaluados.

	Relación	R ²	R	Tendencia
1	Dureza Penet. - Dureza Text.	0.9564	0.9779	Polinomial
2	Vol. Especifico - Fza. de corte	0.8752	0.9355	Polinomial
3	Dureza Text. - Gomosidad	0.9341	0.9664	Polinomial
4	Dureza Text. - Gomosidad	0.9325	0.9656	Lineal
5	Dureza Text. - Módulo	0.9207	0.9595	Polinomial
6	Dureza Text. - Módulo	0.8745	0.9351	Lineal
7	Módulo - Masticosidad	0.8900	0.9443	Polinomial

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

En la figura No. 25 se muestra gráficamente la relación de Dureza Penetrómetro-Dureza Texturómetro en la cual se puede ver que al aumentar el valor de la primera también se incrementa la segunda. En la figura No. 26, la relación Volumen específico-Fuerza de corte, muestra que al disminuir el primero la segunda aumenta.

Figura No. 25. Relación. Dureza Penetrómetro-Dureza Texturómetro.

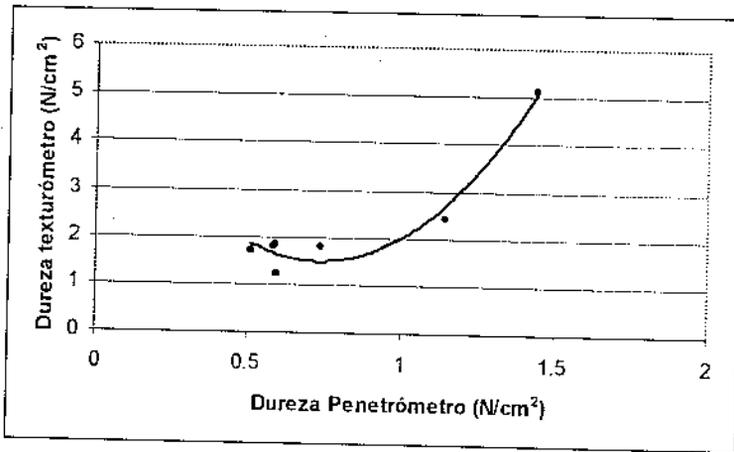
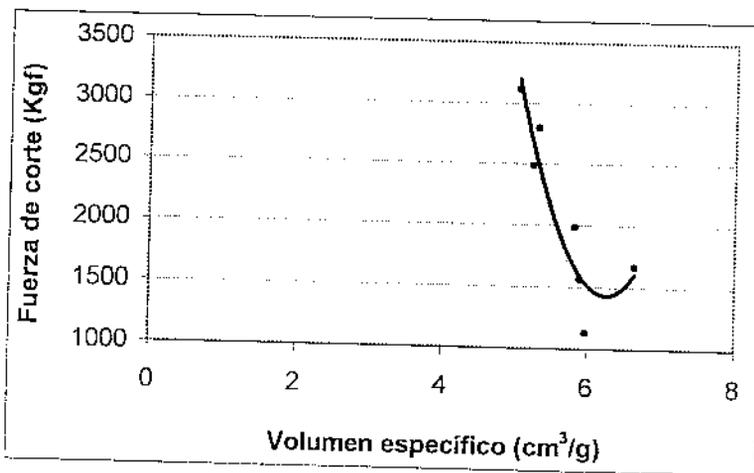


Figura No. 26. Relación. Volumen específico- Fuerza de corte.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

- ❖ Los resultados de la evaluación de las características físicas (volumen específico y color), texturales (distancia de penetración, TPA y prueba de corte) del "Pan Grande de Acambaro" tipo "Tallado", indican que hay diferencias entre cada uno de los siete fabricante objeto de estudio.
- ❖ A través de un análisis de varianza con los datos numéricos de 11 parámetros evaluados, se determinaron valores mínimo y máximo, resultando los siguientes: **volumen específico** (5.461-5.966 cm³); **color** ($L= 61.07-74.74$, $a = 31.51-34.51$ y $b = 41.44-47.53$); **distancia de penetración** (1.069-1.2202 cm); **TPA** (dureza = 0.950-1.240 Kgf, cohesividad = 0.3772-0.413, módulo = 0.0821-0.1049 Kgf-mm, índice de elasticidad = 0.575-0.630 kgf-mm, masticosidad = 0.2228-0.2956 Kgf-mm, gomosidad = 0.3594-0.4680) y **prueba de corte** (fuerza de corte = 1814-2382 Kgf, distancia de corte = 44.4-50.5 mm).
- ❖ De los siete fabricantes estudiados la muestra No.1, es la que más parámetros dentro de límite presenta, con un total de 6 (volumen específico, color, dureza, masticosidad, gomosidad y fuerza de corte). Las muestras con menos parámetros (solo 2) son No. 2 (masticosidad y gomosidad) y la No. 6 (índice de elasticidad distancia de corte).
- ❖ Las muestras No. 3 y No. 6 presentan una característica particular, ya que todos sus parámetros tienen valores opuestos.
- ❖ En la evaluación visual del color con el método Pantone, la carta con la clave 153U coincide con cuatro de las muestras, 1, 3, 4, y 7.
- ❖ En la evaluación colorimétrica del pan, las muestras 1, 3 y 4 tienen los valores de L , a , y b dentro de los límites.

- ❖ En la evaluación colorimétrica a las cartas de Pantone que coinciden visualmente con las muestras de pan, las muestras 3 y 7 tienen los valores de L , a y b dentro de límites.
- ❖ Las muestras 1, 3, 4 y 7 presentan homogeneidad, al aplicar los métodos de evaluación de color con Pantone y Colorímetro.
- ❖ En la evaluación colorimétrica las muestras 3 y 4 son muy similares.
- ❖ Las determinaciones que se pueden realizar con equipo sencillo, rápido y económico son la de dureza con Penetrómetro, el volumen específico y el color con las cartas de Pantone.
- ❖ El análisis del perfil de textura (dureza, cohesividad, módulo, índice de elasticidad, masticosidad y gomosidad) y la prueba de corte (fuerza y distancia de corte), se deben de realizar con un Texturómetro y una medida más fiel del color con un colorímetro electrónico.

RECOMENDACIONES.

El proceso de producción artesanal que siguen los productores del “Pan Grande de Acámbaro” necesita ser complementado con una cultura de **calidad** entendiéndose ésta como “el conjunto de características de un producto que sirve para diferenciar unas unidades de otras y que tiene significado en la aceptación del mismo por el consumidor. En otras palabras, es la combinación de atributos de un alimento que determina el grado de aceptación del producto por el consumidor y que, por lo tanto, condiciona su valor económico”. De lo anterior se deriva el concepto de **control de calidad** como “la actividad industrial que persigue el mantenimiento de la calidad a niveles adecuados a las exigencias del consumidor y a la vez una mejora de la rentabilidad de fabricación”. (45)

Con el fin de homogeneizar el producto terminado, se sugiere iniciar un proceso de control de todos los factores que influyen en su calidad, trabajando con cada uno de los fabricantes del “Pan Grande de Acámbaro” y dando seguimiento de los resultados que se obtengan para detectar el efecto sobre los parámetros propuestos, definiendo los **puntos críticos de control** que tienen marcada influencia sobre las características del producto, los cuales se mencionan a continuación.

- ❖ **Materias primas.** Es fundamental que las características de las materias primas a utilizar estén claramente definidas.
- ❖ **Formulación.** Se debe tener un registro escrito de las formulaciones. Todas las materias deben ser pesadas o medidas.
- ❖ **Proceso.** Contar con un diagrama de bloques, donde se indiquen cada una de las etapas con sus condiciones de operación (tiempos, temperaturas etc.).

- ❖ **Producto terminado.** Definir claramente las características de producto terminado y realizar un control de las unidades o piezas de pan para verificar el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos, junto con las temperaturas de almacenamiento y distribución. Además, se debe conocer la vida útil del producto (fecha de caducidad). (46)

Si se desea obtener un buen pan se deben seguir normas estrictas de calidad, consistente en un control exhaustivo de las materias primas, una formulación definida y un riguroso control del proceso de fabricación. Es conocido por los profesionales del sector la dificultad de la consecución de un control estricto, sin embargo se pueden clasificar las bases aplicables a un control de calidad de la siguiente manera:

- Se debe dedicar personal calificado al control de calidad, quedando bien determinadas de antemano, las responsabilidades de este departamento o individuo.
- Se deben realizar inspecciones continuas durante la elaboración del pan. Estas inspecciones deben realizarse a las materias primas, al proceso en sí y al producto terminado.
- Solicitar del proveedor un análisis de las materias primas, dando los informes precisos de composición de la mismas, para saber cuando utilizar unas y otras, para evitar problemas durante el proceso de elaboración.
- Desarrollar programas de control sanitario.
- La capacitación y concientización del personal de la fábrica en temas de vital importancia como la calidad y buenas prácticas de manufactura (BPM).
- Actualización constante del programa de control de calidad. (44)

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA.

- (1).- Desrosier, N. W. **Elementos de Tecnología de Alimentos.** Cccsa. México. 1989.
- (2).- **Unión de Productores de "Pan Grande de Acámbaro".**
- (3).- Kent, **Tecnología de los cereales.**
- (4).- Charley, H. **Tecnología de Alimentos: Procesos Químicos y Físicos en la Preparación de Alimentos.** Limusa. México. 1987.
- (5).- Badui, S. **Química de los Alimentos.** Alhambra. México. 1990.
- (6).- Barber et al. **El Mundo del Pan.** Año 3. No. 28. Diciembre 1993.
- (7).- Carrillo, N. **Las Proteínas del Gluten en las Etapas de Proceso de Panificación.** Programa Universitario de Alimentos. UNAM. México. 1986.
- (8).- Castellanos, L. Y López, V. **Efecto de la Congelación en la Calidad de un Producto de Panificación.** USB. México. 1994.
- (9).- Cheffel, J.C. y Cheffel, H. **Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos.** Acribia. España. 1976.
- (10).- Flores, G. **Los Vinos, los Quesos y el Pan.** Limusa. México. 1995.
- (11).- Pyler, E. J. **Baking Science & Technology.** Sosland Publishing Company. USA. 1988.
- (12).- Pomeranz, Y. **Wheat: Chemistry and Technology.** American Association of Cereal Chemist. USA. 1988.
- (13).- A.A.C.C. **Approved Methods of AACC.** American Association of Cereal Chemist. USA. 1983.
- (14).- Inglett, G. **Wheat: Production and Utilisation.** AVI Publishing Company Inc. USA. 1984.
- (15).- Matz, S. **Bakery Technology and Engineering.** Pan-Tech Internactional Inc. USA. 1992.
- (16).- Schiller, G.W. **Bakery Flour Specifications.** Research Departament, American Institute of Baking. USA. 1981.

- (17).- Eustace, D. **Wheat Flour Milling**. Research Department, American Institute of Baking, Technical Bulletin, 10 (11), November. USA. 1988.
- (18).- Quaglia, G. **Ciencia y Tecnología de la Panificación**. Acribia. España.
- (19).- Silva. **Elaboración de una Mezcla Enzimática para Mejorar las Propiedades Reológicas del Pan**. Tesis ULSA. México. 1992.
- (20).- Centro Regional de Ayuda Técnica. **De la Harina al Pan**. México. 1974.
- (21).- Manley D.J.R. **Tecnología de la Industria Galletera**. Acribia. España.
- (22).- Canadian International Grains Institute. **Grains & Oilseeds. Handling, Marketing, Processing**. Vol. I y II. Canadá. 1993.
- (23).- Mc Ritchie, F. **Flour Lipids: Theoretical Aspects and Functional Properties**. Cereal Chemistry, 58 (3). 1981.
- (24).- Primo, E. **Productos para el Campo y Propiedades de los Alimentos**. Tecnología y Química Agroindustrial, Tomo III. Alhambra. México. 1980.
- (25).- Belitz, H.D. **Structure and Function of Gluten Proteins**. Cereal Chemistry 63(4).1986.
- (26).- Lees, R. **Análisis de Los Alimentos**. Acribia. España.
- (27).- Pomeranz, Y. **Food Analysis, Theory and Practice**. A.V.I.. USA.1987.
- (28).- Anzaldúa M.A. **La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica**. Acribia. España.
- (29).- Faridi, H. **Dough Rheology and Baked Products Texture**. A.V.I.. USA.1990.
- (30).- Hernández, J. **Harinera Nacional**. México. 1996.
- (31).- Bourne, M. **Effect of Degree of Compresión of Texture Profile Analysis**. Journal of Texture Studies. Vol. 12. 1981.
- (32).- Moscovitz, H. **Food Texture Instrumental and Sensory Measurement**. Marcel Dekker Inc. USA. 1997.
- (33).- Szczesniak A. **Texture: Is it Still and Overlooked Food Attribute?**. Food Technology, 4 (14) .Septiembre 1990.
- (34).- Piggott, J.R. **Sensory Analysis of foods**. Elsevier Science Publisher LTD. England. 1988.

- (35).- Gruenwedel D.W. **Food Análisis: Principles and Techniques**. Vol. I. Marcel Dekker Inc. USA. 1984.
- (36).- Bowers, J. **Food: Theory and Applications**. Macmillan Publishing Company. USA. 1992.
- (37).- Casas N.B., Ramírez M.E. **Evaluación de la Textura de Materiales con Maquina Universal de Deformación**. FESC-UNAM. 1998.
- (38).- Rehm, H.J. **Biotechnology**. Vol 5. Verlag Chemie. Federal Republic of Germany. 1983.
- (39).- Mason R.D. **Estadística para Administración y Economía**. Alfaomega. México. 1998.
- (40).- Kirk R.S. **Composición y Análisis de Alimentos de Pearson**. Cecca. México. 2000.
- (41).- Krees, F. **Instrumentation and Sensors for the Food Industry**. Butterworth Heinemann Ltd.
- (42).- Minolta Camera Co. LTD. **Instrucción Manual Minolta, Chromameter CR-300**. Japan. 1991.
- (43).- Piazza. **Moisture Redistribution Throughout the Bread Loaf During Staling and the Effect of Mechanical Properties**. Cereal Chemistry. 72 (3). Mayo-Junio. 1995.
- (44).- Anónimo. **PANIFICACIÓN AL DÍA: Control de Calidad en la Panificación**. Industria Alimenticia 13 (2). Stagnito Communications Inc. USA. Febrero 2002.
- (45).- Anónimo. **PANIFICACIÓN AL DÍA: Masa Congelada**. Industria Alimenticia. 13 (4). Stagnito Communication. Inc. USA. Abril 2002.
- (46).- Alfaro R. Sergio. **Curso "Innovaciones Técnicas en la Industria de Alimentos"**. Octubre 2001. Banderillas Ver. México.