



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
HIDALGO**

Instituto de Ciencias Agropecuarias

**CARACTERIZACIÓN REOLÓGICA DE MASAS DE
HARINA DE TRIGO ADICIONADAS CON FIBRA
SOLUBLE**

T E S I S

**Que para obtener el título de
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

PRESENTA:

Bernardette Baños Espínola

Directora. Dra. Norma Güemes Vera

Tulancingo de Bravo, Hgo. 2007

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por la vida y la salud, por haberme permitido terminar una carrera y llegar hasta donde estoy.

A mis padres Alejandra y Everardo por darme la vida, por estar conmigo, por su apoyo incondicional, su amor y comprensión por ser mi orgullo y mi ejemplo a seguir, por ser mi punto de apoyo cuando me faltaban las fuerzas y me daban la mano para seguir adelante, por darme alas fuertes, por estar conmigo en cada paso de mi vida. **MIL GRACIAS LOS AMO.**

A ti Pao mi niña hermosa por ser mi ángel, la mitad de mí, mi amiga, mi mano derecha, la fuerza para salir adelante, por tu entereza y por ser esa estrella que alumbró mi existir y me enseñó el camino del triunfo y la felicidad, el privilegio que Dios me dió de tener una hermana gemela que gracias a tu frase “Dios no te pone pruebas que no puedas superar”, he llegado hasta este momento tan importante. Te Amo.

A mi hermana Alejandra, por que nos has puesto un gran ejemplo de superación, por tu valentía, coraje y decisión ante todo. Te Amo

A mi hermano Carlos por enseñarme que con dedicación, amor y perseverancia se obtiene lo que uno quiera. Te Amo.

A la Doctora Norma Güemes por depositar su confianza en mí, para la elaboración y asesoría de este proyecto, por su apoyo incondicional, sus consejos, comprensión, su amistad y sus enseñanzas en todo el tiempo de mi carrera, a usted doctora **MUCHAS GRACIAS.**

A ti Juanjo por la ayuda desinteresada, tu apoyo, y las horas de desvelo que pasaste junto a mí, por tu comprensión, por tu cariño, por escucharme en todo momento. Mil gracias. Te Amo

A la Ing. Aurora Quintero por sus consejos, su apoyo, comprensión durante toda la carrera.

A mis asesores el M. en C. Sergio Soto, la Dra. María Isabel Reyes y la Dra. Alma Delia Hernández por su ayuda, apoyo y asesoría en este proyecto.

A ti Lucí por estar conmigo toda la vida, por apoyarme en los momentos buenos y malos, por tu cariño y comprensión. Gracias. Te quiero

A ti Malu por escucharme, por tus consejos, comprensión, tu cariño incondicional y tu apoyo en todo momento para enfrentar la vida y seguir adelante. Mil gracias, te quiero.

A Miguel por tu amistad, por tu cariño y apoyo en la carrera. Mil gracias.

DEDICATORIAS

A la memoria de mis abuelos “Mima, Pipa, Memo y Tatan”

A mis tíos Claudia, Bernardo y Antonio por su cariño y amor incondicional hacia mí y compartir cada uno de los momentos mi vida.

A mis tías Muñe y Lulú por estar al pendiente de mis logros.

A mi tío Jorge Espinola por ser parte de mis proyectos, por todo su apoyo, cariño.

A todos mis primos.

Pero en especial esta tesis va dedicada a:

A la persona que es mi fuerza para vivir, a ti Pao.

A las personas que son mi orgullo y mi ejemplo, a tí mamá, papá, Carlos, Alejandra y Luis Miguel

LOS AMO

RESUMEN

La fibra existe de forma natural en muchos de los alimentos. Las propiedades fisicoquímicas y biológicas de este compuesto, y su relación con la fibra dietética, esta asociado con las acciones fisiológicas en los intestinos grueso y delgado teniendo importantes implicaciones en la salud humana. Éstas características incluyen la dispersibilidad y solubilidad del agua, los efectos de viscosidad, volumen, la absorción, la fermentabilidad, y su relación con otros compuestos. Estas propiedades pueden llevar a varias acciones fisiológicas como la reducción del colesterol y disminuir la glucosa en la sangre, manteniendo la salud gastrointestinal, y fomentando positivamente la biohabilidad del calcio y la inmunización.

El objetivo de este trabajo fue evaluar las características reológicas de masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble, así como la caracterización fisicoquímica del producto óptimo (pan). En la evaluación reológica de las masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble, indicó que formula óptima para la elaboración de pan. La dureza y la fracturabilidad de los panes adicionados con 5% de fibra soluble disminuyeron con referencia al testigo, no es así para la adhesividad, elasticidad y cohesividad. La calidad de miga del pan testigo presenta alvéolos mas abiertos y no homogéneos, el pan con 5% de fibra tiene una estructura mas cerrada y mas uniforme, también se observa un mayor volumen de la hogaza con respecto al testigo. El pan con 5% de fibra aumenta ligeramente su peso comparado con el testigo, esto podría deberse a la adición de la fibra soluble, que tiene la capacidad de retener agua. El análisis químico proximal de la formula óptima de fibra soluble, el contenido de proteína fue de 7.2%, el de fibra dietética de 1.78%, el de la fue grasa 19.68% y el de los carbohidratos 40.28%, demuestran un aumento. El análisis sensorial reporta una buena aceptación del producto formulado con 5% de fibra soluble.

INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo General.....	3
2.2	Objetivos Específicos.....	3
3	REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1	Definición y Clasificación de la Fibra Dietética.....	4
3.1.1	Generalidades.....	6
3.1.2	Características y otras Variantes.....	7
3.1.3	Las Recomendaciones de Fibra y su Ingesta.....	8
3.1.4	El Destino de la Fibra en el Tracto Gastrointestinal y sus Consecuencias.....	9
3.2	Diferentes Usos de Fibras (Aislado y Concentrado).....	10
3.2.1	Características Funcionales de la Fibra.....	10
3.2.2	El Uso de la Fibra en los Alimentos.....	12
3.3	Elaboración de Pan.....	12
3.3.1	Harina.....	13
3.3.2	Agua.....	13
3.3.3	Agentes Químicos Leudantes.....	14
3.3.4	Azúcar y Edulcorantes.....	15
3.3.5	Sal.....	15
3.3.6	Manteca.....	15
3.3.7	Amasado.....	16
3.3.8	Fermentación.....	16
3.3.9	Horneado.....	16
3.4	Reología de Masas.....	17
3.4.1	Influencia del Proceso en la Reología de las Masas.....	19
3.4.2	Mezclado.....	20
3.4.3	Textura.....	21

3.4.3.1	Definiciones físicas y sensoriales de atributos de textura.....	22
3.4.3.2	Fundamentos de las pruebas instrumentales de textura.....	23
3.4.4	Protocolo de la Prueba.....	23
3.4.5	Prueba de Adhesividad.....	25
3.4.6	Propiedades Texturales de Masas.....	27
3.4.6.1	Influencia del Proceso en la Textura de la Masa.....	27
3.4.6.2	Influencia de los Ingredientes en la Textura de la Masa.....	28
4	MATERIALES Y METODOS.....	29
4.1	Materias Primas.....	29
4.2	Establecimiento del Experimento.....	29
4.3	Tratamientos.....	29
4.4	Variables de Estudio.....	30
4.4.1	Determinación de Proteína.....	30
4.4.2	Determinación de Fibra Dietética.....	31
4.4.3	Determinación de Grasa.....	32
4.4.4	Determinación de Humedad.....	32
4.4.5	Determinación de Cenizas.....	32
4.4.6	Texturómetro THDi.....	33
4.4.6.1	Condiciones de las Pruebas Texturales.....	33
4.4.6.2	Análisis de Perfil de Textura (APT).....	33
4.4.6.3	Procedimiento.....	34
4.4.6.4	Cálculos.....	34
4.4.7	Adhesividad.....	35
4.4.7.1	Procedimiento.....	36
4.4.7.2	Cálculos.....	36
4.4.8	Extensibilidad de Masas.....	36
4.4.9	Determinación de volumen.....	38
4.4.10	Determinación del perfil de textura.....	38
4.4.10.1	Análisis de Perfil de Textura (APT).....	38
4.4.11	Evaluación Sensorial Afectiva.....	41
4.4.12	Análisis de resultados.....	41

5	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	42
5.1	Composición Químico Próximo de la Harina de Trigo.....	42
5.2	Resistencia y Extensibilidad de las Masas de Harina de Trigo Adicionadas con Fibra Soluble.....	43
5.3	Análisis de Perfil de Textura de las Masas de Harina de Trigo Adicionadas con Fibra Soluble.....	44
5.4	Adhesividad de las Masas de Harina de Trigo Adicionadas con Fibra Soluble.....	45
5.5	Análisis de Perfil de Textura en Panes Adicionados con 0 y 5% de Fibra Soluble.....	46
5.6	Calidad de la Miga de Panes Adicionados con 0 y 5 % de Fibra Soluble.....	47
5.7	Peso de Panes Adicionados con 0 y 5 % de Fibra Soluble.....	49
5.8	Composición Químico Próximo de Panes Adicionados con Fibra Soluble.....	50
5.9	Análisis Sensorial de Panes Adicionados con Fibra 5 %.....	50
6	CONCLUSIONES.....	52
7	RECOMENDACIONES.....	53
8	BIBLIOGRAFÍA.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Velocidades y tipo de deformación características de las masas durante el procesamiento	20
Cuadro 2. Formas de reporte de resultados de textura	25
Cuadro 3. Tratamientos de las masas adicionadas con fibra soluble	29
Cuadro 4. Tratamientos de las masas adicionadas con fibra soluble	29
Cuadro 5. Condiciones establecidas en el Texturómetro TX-TA2 para las pruebas de textura	33
Cuadro 6. Análisis proximal de la harina de trigo	42
Cuadro 7. Resistencia de masas adicionadas con fibra soluble	43
Cuadro 8. Extensibilidad de masas adicionadas con fibra soluble	44
Cuadro 9. Análisis de Perfil de Textura de las masas adicionadas con fibra Soluble	45
Cuadro 10. Adhesividad de masas adicionadas con fibra soluble	46
Cuadro 11. Análisis de Perfil de textura en panes con 0 y 5% de fibra soluble	47
Cuadro 12. Peso con 0 y 5% de fibra soluble	49
Cuadro13. Composición nutrimental de pan adicionado con fibra soluble	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo mecánico para el comportamiento reológico de la masa	18
Figura 2. Conjunto para prueba de APT	34
Figura 3. Curva característica para una prueba de APT	35
Figura 4. Conjunto de prueba de adhesividad en masas	35
Figura 5. Curva característica para la prueba de Adhesividad	36
Figura 6. Aditamento SMS/Kieffer para la medición de extensibilidad en masas	37
Figura 7. Curva típica para prueba de ATP (Texture Technologies, 2002)	39
Figura 8. Calidad de miga de pan adicionado con 5% de fibra soluble	48
Figura 9. Volumen de pan adicionado con fibra soluble al 5%	49
Figura 10. Gráfica de Análisis Sensorial	51

1 INTRODUCCIÓN

Los alimentos, son una fuente de nutrimentos que ayudan a conservar el funcionamiento adecuado en el organismo sano. La fibra, es un nutrimento benéfico en el desempeño de los trabajos del cuerpo animal y humano. La Fibra dietética, es investigada y producida en condiciones propias de laboratorio, y está en proporciones en los diversos alimentos, con la intención de ayudar a mejorar la salud humana.

La fibra reacciona en un organismo viviente a través del metabolismo, los efectos que tiene esta son cardiovasculares, las enfermedades que han sido más ampliamente investigadas en este tema son todas aquellas relacionadas con el corazón, se ha relacionado a la fibra dietética, como aquella que reduce el riesgo para enfermedades del corazón, el colesterol y la lipoproteína de baja densidad (LDL).

La fibra dietética aunque no siempre es así definida, ha sido consumida por siglos y ha sido reconocida por tener beneficios sobre la salud. La fibra esta contenida en alimentos ricos en estos componentes, tales como vegetales frescos, frutas, granos enteros y nueces, atenuando o disminuyendo la glucemia y la respuesta de la insulina, incrementando el volumen de excremento, y mejorando la laxación (Schneeman 1999).

Los estudios epidemiológicos en el consumo de la fibra dietética han estabilizado las bases para la asociación de que las fibras ayudan en la reducción de los problemas dietéticos: la obesidad, las enfermedades cardiovasculares, la diabetes, los desórdenes gastrointestinales, incluso el estreñimiento, a las enfermedades inflamatorias del intestino como los divertículos y colitis ulcerosa, y el cáncer de colon (Schneeman 1999).

Los datos epidemiológicos recientes, muestran que una dieta alta en fibra, generalmente refleja un estilo de vida más sana y el consumo de fibra puede verse como el marcador de una dieta saludable (Schneeman 1999).

El desarrollo de un producto alimenticio, es importante desde el punto de vista en que los alimentos ricos en fibra, no sólo proporcionan fibra, sino también se

refuerzan las propiedades funcionales para hacer que estos alimentos altos en fibra, tengan buen sabor y calidad (Schneeman 1999).

En la actualidad tenemos un problema muy grande en nuestra nación y en todo el mundo por la dieta que se consume, enfermedades como la obesidad, el cáncer, la hipertensión etc. están presentes en la mayoría de personas. Por lo que es muy importante cambiar nuestros hábitos alimenticios ya que estos son los principales causantes de estos problemas y la solución esta en este cambio, por lo que la fibra es un medio que ayuda a disminuir los riesgos de cáncer, obesidad y otras enfermedades. En nuestro país existen 250 variedades de pan, estos son alimentos de consumo popular por lo que es importante hacer desarrollo de nuevos productos que tengan adición de fibras solubles, que ayuden a contrarrestar estas enfermedades, así como el no alterar las propiedades sensoriales de estos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Evaluar las características reológicas de masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble de marca (F20), así como la caracterización fisicoquímica del producto óptimo.

2.2 Objetivos Específicos

- Conocer los resultados de las ventajas y desventajas de la utilización de fibras solubles, en los componentes de masas de harina de trigo, mediante un análisis reológico.

Caracterizar mediante análisis químico proximal y sensorial el producto óptimo a elaborar (pan).

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.2 Definición y Clasificación de la Fibra Dietética.

La fibra dietética tiene una larga historia, su definición se origina con Hipsley en 1953, y ha tenido varias revisiones. Este sigue siendo un importante debate a nivel mundial en cómo definir a la fibra dietética y sus componentes.

Una definición para entender mejor lo que es la fibra dietética es la que incluye la participación de compuestos que conforman dicha fibra dietética, como son restos de las paredes de células vegetales, una compleja mezcla de hidratos de carbono que no se pueden digerir en el tracto intestinal y que por tanto se consideran carentes de valor nutricional (Brown, *et al.*, 1999).

La fibra dietética fue desechada durante muchos años por los especialistas en nutrición humana. Sin embargo, en las últimas dos décadas se ha producido una sorprendente apreciación de la importancia de la fibra dietética para la salud. Con el desarrollo de métodos precisos para medir los diferentes compuestos presentes, hoy se prefiere el término polisacárido no almidonoso (PNA).

Los diversos tipos de PNA se pueden dividir en dos grandes grupos:

- a) Los que son insolubles
- b) Los que son solubles en agua (formando geles viscosos).

Los alimentos altos en fibra, han mostrado la reducción en el colesterol (Brown, *et al.*, 1999). En contraste, en un estudio (Anderson *et al.*, 1991) de la intervención con el salvado de trigo, se observó que no tenía el efecto significativo en las concentraciones de colesterol en la sangre, no es apto para apoyar un beneficio epidemiológico.

Al respecto Arjmandi, *et al.*, (1997), menciona que las fuentes de fibra menos viscosas, como la inulina, generalmente han mostrado que el lípido, baje en los estudios con animales, pero no con los humanos, los estudios han mostrado resultados inconstantes, pero sin lugar a dudas los resultados de estas investigaciones señalan que la llamada fibra dietética sí funciona aumentara la mejoría del funcionamiento del organismo humano.

En el ámbito empresarial, algunas de estas definiciones se usan para la etiquetas de los alimentos y su determinación es basada en usar métodos específicos y analíticos, como aquéllos adoptados, por la Food and Drugs Administration (FDA) en 1987; el gobierno noruego en 1998; y aquéllos países y agencias reguladoras mundiales, donde la mayoría prefirió la definición de fibra dietética como una *declaración*, teniendo en cuenta su importancia fisiológica y metabólica. Propuesto por la American Association of Cereal Chemist (AACC) en el 2000.

Estas definiciones, describen los componentes incluidos en el complejo de la fibra y su origen. Muchos de estos componentes fisiológicos se basan en investigaciones y trabajos por Trowell (1972, 1974), Burkitt, *et al.*, (1974), y Painter (1975), quienes estudian las culturas rurales africanas a principios de los años 70's, con respecto a las sustancias en la dieta que potencialmente podría ayudar gratuitamente a las personas enfermas.

Estas definiciones típicamente incluyen los componentes de fibra; los polisacáridos sin almidón (NSP) y los oligosacáridos resistentes (RO), la lignina, las sustancias asociadas con el NSP y complejo de lignina en las plantas y otros hidratos de carbono análogos, como el almidón resistente (RS), las dextrinas.

3.1.1 Generalidades.

Por otra parte existen, algunas otras generalidades de las fibras, como son los componentes de fibra, que se conocen como los polisacáridos no digeribles, y que consisten en el NSP resistente a la digestión en el intestino delgado y fermentable en el intestino grueso (Ripsin *et al.*, 1992; Olson *et al.*, 1997; Anderson *et al.*, 2000).

Además, los datos apoyan que el colesterol de sangre puede ser controlado usando los tipos de fibra bien fermentados, pues en ese producto la viscosidad es relativamente alta (Ripsin *et al.*, 1992; Olson *et al.*, 1997; Anderson *et al.*, 2000).

La dieta media en los países desarrollados proporciona entre 11 y 12 gramos de PNA por día, la mitad procede de fuentes vegetales y el 40% de los cereales. Entre el 40 y 50% del consumo total es PNA soluble. El mayor consumo de PNA tiene muchos efectos beneficiosos; la cantidad recomendable es unos 18 gr al día (Satchithanandam, *et al.*, 1990).

El incremento en volumen de los alimentos ricos en fibra aumentan la capacidad para saciar (es decir, hacen que la persona se sienta "llena"), lo que es benéfico para prevenir la obesidad. Y lo que aún es más importante: es que una dieta pobre en fibra causa estreñimiento y compresión en el tracto intestinal. Esto se ha relacionado con el desarrollo de la enfermedad diverticular del colon, hernia hiatal, hemorroides y venas varicosas. Todas estas dolencias son más comunes en personas que ingieren poco PNA (Satchithanandam, *et al.*, 1990).

3.1.2 Características y otras Variantes.

Los polisacáridos (PNA), son hidratos de carbono polimérico típicamente de cadenas largas, que contienen arriba de cientos de miles de unidades mononuméricas. Los polisacáridos difieren por el número y el tipo de unidades mononuméricas con las que son unidas, el orden en la cadena, así como los tipos de uniones entre varios mono-numéricos y la presencia de puntos de la rama en la estructura de la molécula, tienen presente un grupo ácido (por ejemplo, ácido urónico en las pectinas), (Englyst *et al.*, 1992).

Por otro lado, la lignina es un polímero del fenil-propano, y no un hidrato de carbono que esta ligado covalentemente a las paredes celulares de los polisacáridos fibrosos (celulosa). La lignina tiene una composición heterogénea que va de 1 a 2 unidades ligadas a muchos propanos del fenil que son unidos cíclicamente. Probablemente estas 2 características han establecido la base para incluirlo como una fibra dietética (Englyst *et al.*, 1992).

El almidón resistente (1) RS1 se encuentra en los granos, o en los cereales quebrados, las semillas, o legumbres. El almidón resistente (2) RS2 incluye el almidón granuloso que es muy resistente a la digestión por la alfa-amilasa. Esta forma se encuentra típicamente en la papa cruda, el plátano (particularmente cuando es verde), y el almidón de maíz que es alto en amilasa. El almidón resistente (3) RS3 se relaciona con los polímeros de almidón retrogradados de alimentos que se procesan de las fuentes anteriormente mencionadas. El almidón resistente (4) RS4 incluye modificaciones químicas, que comercialmente permiten producir almidones resistentes que probablemente se degradan en fragmentos solubles por la amilasa de alcohol y se usa en la elaboración de alimentos para bebé. (Englyst *et al.*, 1992).

Suberin, es otra de estas sustancias asociadas con la planta, aunque no esta totalmente clasificada se especula que es ramificada como una molécula

entrecruzada (Kolattukudy, 1981). En estos últimos años se han desarrollado varios métodos para analizar la fibra dietética, los dos métodos primarios que se usan ahora para el etiquetado de los alimentos, son gravimétricos, enzimáticos, como los recomendados por la Association of Official Analytical Chemist (AOAC), y los métodos químicos enzimáticos sugeridos por Englyst y Cummings (1990).

En investigaciones recientes de laboratorio, se han usado varios sistemas para clasificar los componentes de fibra dietética: basado en el papel de la planta, en el tipo de polisacárido, su solubilidad gastrointestinal, el sitio de digestión y basado en los productos de digestión y clasificación fisiológica. Sin embargo, ninguno es completamente satisfactorio, cuando los límites no pueden ser absolutamente definidos.

Los tipos de fibra que se fermentan bien incluyen: pectina, goma guar, goma arábica, inulina, povidex y oligosacáridos. En los tipos menos fermentables, se incluyen la celulosa, el salvado del trigo, el salvado de maíz, fibra de cáscara de avena, y un poco de almidones resistentes, donde generalmente, las fibras bien fermentadas son solubles en agua, mientras las parcialmente o pobremente fermentadas son insolubles.

3.2.2. Las Recomendaciones de Fibra y su Ingesta.

Es conveniente conocer los métodos para definir el contenido dietético de una forma satisfactoria. Estos datos se derivan del análisis de alimentos que usan los métodos oficiales para la fibra, como el método de AOAC, 985.29. Los más recientes estudios han usado varios métodos analíticos para determinar los segmentos de la fibra dietética, como es el caso de los polisacáridos sin almidón insoluble y soluble.

Se recomienda el uso de la fibra dietética en los alimentos, en cantidades adecuadas, de acuerdo al tipo de organismo donde se va a utilizar. El Instituto de

Cancerología (NCI) recomendó, el contenido fibroso y los alimentos que proporcionan alguna protección contra el colon y el cáncer rectal. Sin embargo, con todo y sus complejidades, la fibra actualmente no se consume (Butrum *et al.*, 1988).

3.2.2. El Destino de la Fibra en el Tracto Gastrointestinal y sus Consecuencias.

El tracto gastrointestinal es la primera área de acción de la fibra dietética, es más notable en el intestino grueso. Los efectos fisiológicos de la fibra dietética dependen del tipo (parcialmente fermentable o muy fermentable), la dosis de consumo de una fibra específica, la composición del contenido total de fibra en la comida, y el perfil fisiológico de la cantidad de fibra en el consumo del individuo. Por ello, los efectos fisiológicos mayores de fibra dietética se originan en las interacciones con el colón a lo largo de su fermentación. (Tungland y Meyer, 2000).

A través de las diferentes propiedades fisicoquímicas, las fibras dietéticas están relacionadas con varios procesos metabólicos, incluso en la absorción de nutrientes, hidratos de carbono y el metabolismo de grasas, y de colesterol. Además tiene la influencia en la fermentación colónica y afecta la producción de excremento. Se presume que la fibra tenga influencia en la función inmune del organismo.

Las fibras dietéticas, como se ha mencionado previamente, difieren en su solubilidad y pueden tener un efecto reológico; muchas fibras fermentan bien en las soluciones viscosas del intestino (por ejemplo, la goma guar), pero las que no son la goma arábiga e inulina. Algunos se gelifican (las pectinas), mientras otros tienen una capacidad alta de retención de agua (por ejemplo, la celulosa) (Tungland y Meyer, 2000).

3.3 Diferentes Usos de Fibras (Aislado y Concentrado)

Una variedad de técnicas se usan para la producción de los ingredientes de fibra y para su uso en los alimentos. Estas técnicas incluyen varios procesos de molienda, simple extracción, tratamientos de enzimas y aditivos. Usando estas técnicas se obtienen fibras como aislados y concentrados de materiales frescos, modificando lo que sirve de un alimento, ingredientes como la fibra pueden ser obtenidos de los productos que son desperdicio como por ejemplo, la paja de trigo, cáscara de la soya, cáscara de la avena, cáscara de cacahuate, almendra, tallo de maíz y mazorca, los desechos de frutas y de vegetales procesados en grandes cantidades (Tungland, B.C. and D. Meyer. 2000).

La modificación de la fibra se realizan de dos formas: (B-Trim y Z-Trim) la cual se realiza al desarrollar ingredientes de fibra y procesar alimentos.

La mezcla de fibra es otra técnica usada como una aplicación particular de los alimentos, incorporando esta a los alimentos y así mejorar los niveles de fibra dietética.

La modificación del peróxido de hidrógeno usándolo para romper una fibra baja en lignina en productos de desperdicio-paja de trigo, tallo de maíz, mazorca, soya y hojuelas de avena una vez obtenida la fibra, se convierten en harinas con alto contenido de fibra y bajas calorías. Otras técnicas de obtención es a través de dar tratamientos térmicos para la formación de almidones resistentes estas no son fibras pero tienen la función de fibras (Tungland y Meyer. 2000).

3.2.2. Características Funcionales de la Fibra.

La fuente de fibra puede proveer muchas funciones cuando es adicionada a los alimentos. A continuación se describen las características de funcionalidad de las fibras (Tungland y Meyer. 2000).

1. Beneficios de salud. La fibra tiene un efecto protector para ciertos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares, la fortificación de los alimentos tiene una apta aceptación por parte de los consumidores se enlistan las buenas propiedades nutricionales por lo que es altamente aceptada por las compañías.
2. Reducción de calorías. La fibra es considerada un producto no calórico esto se debe principalmente a que los carbohidratos contenidos en esta son rápidamente degradados por la microflora intestinal la cual tiene bajo poder calórico 4 Kcal /g. La fibra puede ser usada como un agente que da volumen en combinación con edulcorantes de alta intensidad esta hace que pueda reemplazar a edulcorantes con alto poder calórico como el azúcar.
3. Capacidad de retención de agua. La fibra tiene una alta capacidad de retención de agua gracias a esto se retarda el envejecimiento de los productos, hay un control en la migración de humedad y la formación de cristales de estabilidad, y reduce a la sinéresis.
4. Grasas sustitutas. La grasa contribuye a varias funciones de las propiedades de los alimentos como resultado de esto es difícil de encontrar un solo ingrediente que pueda sustituir exclusivamente a la grasa. Sin embargo la grasa al combinarse con la fibra y dos o mas ingredientes reemplaza a la grasa, proporcionando al producto todas las propiedades de lubricación, emulsión, opacidad y textura.
5. Agente aglutinante. Ayuda a prevenir las aglutinaciones y mejora la formación de espuma.
6. Agente que evita la pegajosidad en procesos de extrusión, amasado, y ayuda que la extrusión sea más efectiva.
7. Estabilizador: Ayuda a estabilizar y modificar la estructura de los alimentos, mejora la densidad del producto.
8. Agente texturizante: El origen de muchas fibras contribuye a mejorar la textura de los alimentos.
9. Agente gelificante: La capacidad de atrapar agua mejora la formación de geles lo cual contribuye a la mejora de viscosidad del alimento.

3.2.2. El Uso de la Fibra en los Alimentos.

En 1970 inicia la fortificación de alimentos con fibra como en los panes blancos, en un principio se hizo para beneficiar la salud de los consumidores como es la pérdida de peso, a través del tiempo se fueron descubriendo otros aspectos funcionales de las fibras, pero en la actualidad se utiliza en un amplio número de productos, como son:

Los productos horneados en los cuales, un gran número de factores deben ser considerados para adicionar fibras a estos alimentos, ya que los productos horneados para ser aceptados por el consumidor, deben considerarse las propiedades reológicas de las masas ya que al tener una alta capacidad de retención de agua la absorción de agua incrementa con los niveles de fibra lo que afectara la reducción del tiempo a la tolerancia al mezclado, reducirá la extensibilidad y dependiendo de la fibra usada disminuirá o aumentara la resistencia a la extensión la viscosidad y la pegosidad de las masas al estar afectados estos factores influirán en el volumen de la masa por lo que necesitara la adición de mejoradores de estas características (Tungland y Meyer. 2000).

3.3 Elaboración de Pan.

El pan es el alimento mas antiguo y consumido por el hombre, su origen se remota a épocas prehistóricas donde existen claras evidencias de su uso por las diferentes civilizaciones las religiones cristianas, judías y antiguas griegas y egipcias que han utilizado el pan como símbolo sagrado.

Existen descripciones de fabricación de pan en Egipto que datan desde la época de Ramses III (Serna, 1996).

El pan ha sido un producto tan popular dado que para su fabricación requiere utensilios sencillos, es un alimento altamente nutritivo y para su producción requiere ingredientes comunes como son sal, azúcar y fermento (Serna, 1996).

Los procesos industriales modernos de panificación son solamente mecanizados y requieren un estricto control de calidad de la harina de trigo ya que la misma afecta variables del proceso y calidad del producto terminado (Serna, 1996).

Los ingredientes básicos para la manufactura de pan fermentado son: harina, agua y fermento o levadura, casi todas las formulaciones contienen sal, azúcar y manteca animal o vegetal. Existe un sin número de ingredientes para mejorar las propiedades texturales de sabor y vida de anaquel entre las más importantes se encuentra la malta diastásica, conservadores o preservativos (propionato de calcio), agentes oxidantes, (bromatos y/o ascorbatos), aditivos para mejorar la actividad de la levadura, emulsificantes, leche en polvo descremada, etc. generalmente el pan de forma o de masa contiene la mayoría de estos ingredientes (Serna, 1996).

3.3.1 Harina.

La harina cuando es probada con el farinógrafo generalmente mide el % de absorción de agua y la harina proveniente de un trigo duro absorbe 60-64% de agua, tiene un tiempo de desarrollo de 6-8 min., una estabilidad de 10-17 min., y un índice de tolerancia al mezclado de 20-35 unidades farinogramas.

3.3.2 Agua.

El agua es el elemento fundamental para solubilizar los ingredientes de panificación: activa la levadura y las enzimas de la malta, hidrata e hincha los gránulos de almidón y sobre todo es el agente necesario para el desarrollo y

formación del gluten una vez que la harina hidratada es sujeta a la acción mecánica del mezclado o amasado, la distribución del agua en la masa es generalmente de 31% con la gliadina y las gluteninas 46% con la fracción almidonosa y 23% con la pentosanas. Una vez que la masa es sujeta al proceso de horneado para la formación de pan pierde aproximadamente 10% de humedad y 77 y 23% del agua queda ligada a la porción almidonosa gelatinizada y a las pentosanas respectivamente. El gluten se desnaturaliza y prácticamente pierde su función ligadora de agua (Serna, 1996).

3.3.3 Agentes Químicos Leudantes.

La levadura (*saccharomyces cereviceae*) es el agente fermentador, existen varios tipos de fermentos:

- Fresco húmedo
- Fresco comprimido
- Seco

En términos prácticos 1 Kg de fermento seco comprimido equivale aproximadamente 0.45 Kg de fermento seco sin comprimir.

La ventaja del fermento seco es que tiene una alta vida de anaquel pues las células de levadura están aletargadas debido a que fueron deshidratadas y compactadas al vacío, la desventaja es que demora mas tiempo al activarse y empieza a hidrolizar el sustrato, además durante la deshidratación de la levadura hay daños en las paredes celulares, liberándose el ion que tiene un efecto reductor en el gluten (pierde fuerza), la levadura desdobla los monosacáridos, disacáridos y trisacáridos responsables para bajar el pH (Serna, 1996).

3.3.4 Azúcar y Edulcorantes.

El azúcar tiene tres funciones básicas impartir sabor y color y ser el principal sustrato regulador de la levadura. Los azúcares más utilizados son: la sacarosa, los edulcorantes invertidos y el jarabe o soripa de maíz (glucosa, fructuosa), estos carbohidratos imparten sabor al pan directa e indirectamente.

Los azúcares son también responsables por el desarrollo del color típico vía reacciones de Maillard o de encafecimiento no enzimático las formulaciones del pan de masa generalmente contienen de 4-5% de azúcar (Serna, 1996).

3.3.5 Sal.

La sal es un agente saborizante que tiene como función principal contrarrestar el sabor dulce de los edulcorantes y fortalece al gluten vía modificación iónica de las proteínas también baja ligeramente la actividad del agua (AW) del sistema por lo tanto sirve como agente conservador, las cantidades son aproximadamente 1-2% (Serna, 1996).

3.3.6 Manteca.

La manteca vegetal hidrogenada y/o la manteca animal tiene importantes funciones actúa como agente lubricante mejorando el comportamiento de la masa durante el mezclado, disminuyendo el problema de pegosidad, sin embargo su principal función es mejorar la textura del pan produciendo una miga más suave. Esto es por que debido a que la manteca forma pequeñas películas entre la del gluten y los otros constituyentes interfiriendo con el fenómeno de retrogradación del almidón, el cual esta asociado con la pérdida progresiva del pan. El contenido recomendado de la manteca vegetal, animal generalmente es de 3-3.5% (Serna, 1996).

3.3.7 Amasado.

La formación de masa tiene dos objetivos primordiales: distribuir homogéneamente los ingredientes y proporcionar el desarrollo del gluten. El punto óptimo de mezclado también llamado tiempo de desarrollo es cuando el gluten adquiere su mayor fuerza elástica y de tenacidad en este punto la masa tiene una textura lisa y brillante y tiende a retener la mayor cantidad de gas que se produce durante la fermentación, lo que se traduce con un buen volumen del pan (Serna, 1996).

3.3.8 Fermentación.

Esta operación se lleva a cabo bajo un estricto control de temperatura y humedad. Generalmente la fermentación se efectúa a una temperatura de 26-32°C bajo una alta humedad relativa. Esto evita que la masa sufra una deshidratación (costra) que afectará la calidad y rendimiento del producto terminado. El sustrato para las células de levadura son los carbohidratos y estos producen ácidos orgánicos, alcohol y bióxido de carbono. Posteriormente la levadura ataca la maltosa generada principalmente por la actividad diastásica y la acción enzimática de la harina la cual genera ácidos orgánicos baja el pH del sistema eventualmente, ayudando a la actividad del agente conservador o preservativo (Serna, 1996).

3.3.9 Horneado

La masa es transformada por su horneado a temperaturas aproximadamente a 200-220°C por 18-25 min. La temperatura y el tiempo de horneado varía de acuerdo con el peso de la masa.

Durante las etapas iniciales del horneado la masa incrementa su volumen y la altura dado que la levadura todavía produce gas y a que el dióxido de carbono se

expande por el notable incremento de temperatura. El gluten se desnaturaliza perdiendo así su fácil capacidad de retención de agua.

La presencia de azúcares reductores y grupos aminos libres con altas temperaturas propicia que la costra del pan adquiera su color dorado resultante de las reacciones tipo Maillard. La costra de pan recién salida del horno es dura pero se suaviza paulatinamente durante el enfriado dado a que la más alta humedad de la miga o del interior del pan migra hacia el exterior para equilibrarse. Este fenómeno resulta en la rehidratación gradual de la costra (Serna, 1996).

3.4 Reología de Masas

Las propiedades reológicas determinan el comportamiento de las masas de harina de trigo durante el manejo mecánico, además de su influencia en la calidad del producto final. Tener conocimiento del comportamiento reológico de las masas y sus propiedades empieza a tomar importancia debido a la creciente automatización de la industria de la panificación (Launay, 1990; Mani *et al.*, 1992).

Las masas de harina de trigo son materiales viscoelásticos (Launay, 1990; Weipert, 1990; Petrofky y Hosenev, 1995; Rao, 1995), que poseen al mismo tiempo, las características de un líquido viscoso y un sólido elástico, que muestra un comportamiento no lineal, es decir, que depende tanto del esfuerzo como del tiempo (Navickis, 1989).

La Figura 1 muestra el modelo mecánico que describe el comportamiento viscoelástico de la masa, éste sugiere que frente a la aplicación de un esfuerzo o deformación, el componente que responde primero es la parte elástica del material (Resorte A); posteriormente hay una respuesta simultánea de los componentes elástico y el viscoso (B,C) y por último aparece la respuesta del componente viscoso (D). La magnitud de la respuesta depende de la composición y las características de la masa.

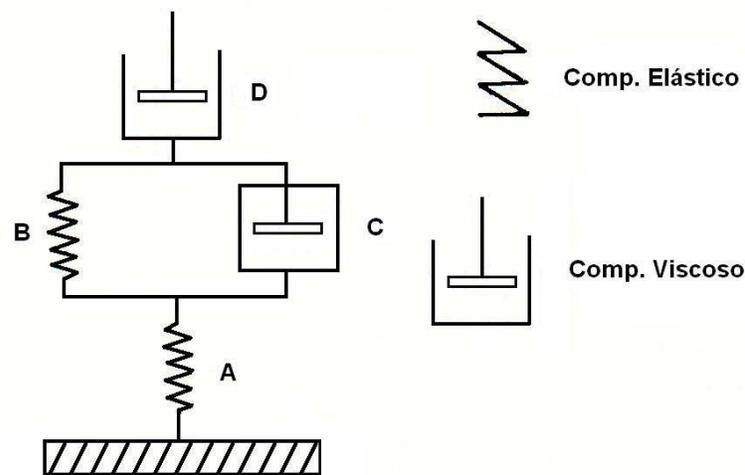


Figura 1. Modelo mecánico para el comportamiento reológico de la masa (Pomeranz, 1977).

Cuando harina y agua son mezcladas y sometidas a un amasado, ocurre una desnaturalización mecánica de las proteínas del gluten. Básicamente se pueden imaginar que en la masa sometida a fuerzas externas los enlaces débiles que mantienen juntos a sus constituyentes pueden romperse y reformarse, seguidos del relajamiento de la masa, total o parcialmente, bajo la aplicación de un esfuerzo (Masi *et al.*, 1998).

Las características reológicas de masas fermentadas dependen de la estructura y el arreglo de los constituyentes y las fuerzas que actúan entre ellos. Las propiedades reológicas de las masas son análogas a las propiedades del gluten. (Mani *et al.*, 1992; Schober *et al.*, 2002). La glutenina es la porción a la que se le atribuye el papel de dar firmeza y fuerza, en tanto que la gliadina actúa como el adhesivo que mantiene unidas las partículas de glutenina (USWA, 1985). Las características de las masas son debidas principalmente al gluten (Wang y Kokini, 1995).

Un componente crítico en la masa para pan, la harina, es responsable por mucho del carácter viscoelástico y por ello ha sido el centro de las investigaciones en reología dinámica. Una fórmula simplificada con harina y agua abarca una serie de interacciones complejas entre los componentes de la harina. El gluten y las principales mezclas del almidón se emplean frecuentemente en las pruebas reológicas, no solo para controlar el contenido de proteína en la masa, además ayuda a comprender la interacción con otros ingredientes como el almidón dañado, agua y pentosanas solubles e insolubles, celulosa, lípidos y proteínas incluidas enzimas (Petrosfky y Hosenev, 1995).

Las medidas dinámicas de módulos de una geometría regular sometida a pequeñas amplitudes de deformación (pruebas oscilatorias) son una técnica deseable en la caracterización de la influencia del contenido de agua y temperatura en el comportamiento reológico de las masas (Weipert, 1990). Además han provisto información acerca del efecto del contenido de proteína, el contenido de agua, diferentes aditivos como emulsionantes, agentes oxidantes, etc., así como de la dependencia de la frecuencia y los cambios en la amplitud de la deformación en las propiedades de la masa (Petrosfky y Hosenev, 1995).

3.4.1 Influencia del Proceso en la Reología de las Masas

El Cuadro 1 muestra algunas de las operaciones más comunes a que se someten las masas durante su procesamiento, especificando las condiciones empleadas en cada operación mecánica. Es evidente que el rango de velocidades a que esta sometida la masa es sumamente amplio (10^{-4} a 70 s^{-1}) y el tipo de deformación que sufre también es diverso, por ello reproducir de forma exacta las condiciones para extrapolar el comportamiento a través de una prueba se vuelve un tanto complicado. Sin embargo, se tienen avances a ese respecto, sobre todo con pruebas de tipo fundamental, donde son controladas velocidad y deformación durante toda la prueba (Dobraszczyk, 1997).

Cuadro 1. Velocidades y tipo de deformación características de las masas durante el procesamiento.

Proceso	Vel. Deformación (s ⁻¹)	Tipo de Deformación
Mezclado	70	Cizalla
Moldeado	30	Corte, extensión
Laminado	10	Extensión
Prueba	10 ⁻³ a 10 ⁻⁴	Extensión biaxial
Horneado	10 ⁻² a 10 ⁻³	Extensión biaxial

Fuente: Dobrasczczyk (1997).

3.4.2 Mezclado

Al inicio del proceso del mezclado, tienen lugar las acciones físicas como la hidratación de la harina, la formación de redes de gluten es llevada a cabo por las proteínas, y los gránulos de almidón absorben agua. La actividad enzimática de amilasas, proteasas y hemicelulasas causan la degradación de muchos componentes de la harina. Cada pequeño cambio químico y físico en las redes de gluten puede significar una modificación significativa en las características reológicas de la masa (Roach y Hosenev, 1995, Wehrle y Arendt, 1998). Las interacciones intermoleculares entre las proteínas del gluten y otras proteínas y compuestos no proteicos llevan a la formación de agregados (películas y fibras) que determinan, por su estructura y tendencia a interactuar con otros, las propiedades reológicas de la masa (Mani *et al.*, 1992).

El grado de mezclado puede alterar la viscosidad o la fluidez de la masa y determinan la textura del producto terminado. El tiempo de mezclado varía con cada receta según los ingredientes, la proporción de éstos, la temperatura el tipo de mezclado y aún otros factores (USWA, 1985b).

3.4.3 Textura

Se consumen alimentos básicamente por la necesidad del organismo de nutrimentos, pero el comer también es entendido por el hombre como un placer. En este sentido, el hombre juzga sensorialmente la calidad de los alimentos que consume con base en atributos, que percibe por medio de los sentidos, los cuales son procesados en el cerebro como una impresión global de calidad. Debido a la importancia de textura en la calidad de los alimentos, se han hecho importantes esfuerzos por sistematizar su evaluación ya sea desde el punto de vista sensorial, así como por métodos instrumentales.

Las propiedades o características de textura han sido clasificadas en función de las propiedades físicas del material en: atributos mecánicos, geométricos y de composición. Además se pueden clasificar también por el orden en que se perciben durante el consumo en: atributos de percepción inicial en el paladar, de masticación y residual (Bourne, 1982).

Estos atributos se utilizan para reportar los resultados de las evaluaciones de textura tanto instrumentales como sensoriales, y para tener una idea más clara de lo que cada atributo describe, se definen a continuación desde el punto de vista físico y sensorial algunos de ellos. La definición física tiene que ver con el tipo de prueba que se implementa a nivel instrumental, mientras que la definición sensorial está descrita tal como debe entenderla un juez al momento de evaluar el atributo durante el consumo (De Man, 1976, Bourne 1982).

Las definiciones de atributos mecánicos pueden hacerse a nivel general, ya que la mayoría de los productos los presentan, sin embargo, los atributos geométricos y de composición son específicos para algunos de los productos como lácteos y productos grasos y sus definiciones están dadas en función de productos particulares.

3.4.3.1 Definiciones físicas y sensoriales de atributos de textura

DUREZA:

Física: Fuerza necesaria para una deformación dada.

Sensorial: Fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas (sólido) o entre la lengua y el paladar (semisólidos).

COHESIVIDAD:

Física: Qué tanto puede deformarse un material antes de romperse.

Sensorial: Grado de compresión de una sustancia entre los dientes antes de romperse.

ELASTICIDAD:

Física: Tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante.

Sensorial: Grado hasta el cual regresa un producto a su forma original una vez que ha sido comprimido entre los dientes.

ADHESIVIDAD:

Física: Trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto.

Sensorial: Fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca (generalmente al paladar) durante su consumo.

Como la textura se manifiesta en diferentes etapas se recomienda evaluar primero la textura del alimento apretándolo con los dedos, después mordiéndolo, dándole un segundo mordisco, masticándolo, al tragarlo y por último, en la etapa residual, o sea la sensación que queda después de haber terminado. Se ha observado que las propiedades mecánicas secundarias son destacadas más frecuentemente en las etapas: masticatoria, deglutiva y residual (Hansen y Setter, 1990).

Las pruebas de perfil de textura se deben de llevar a cabo con los paneles de jueces entrenados. La prueba requiere que primero se defina la terminología y se estructuren las escalas que han de utilizarse, para posteriormente evaluar el producto. Es importante subrayar aquí, la importancia que tiene la definición de cada atributo que se desea evaluar dando a los jueces un patrón de referencia de consumo común en el lugar en que se realicen las pruebas (cada país, cada región incluso tiene sus propios patrones y terminología, siendo diferente la respuesta, aún en el mismo idioma). Además de las condiciones específicas que deben cubrir las pruebas sensoriales como son: la hora en que se realizan las pruebas, la frecuencia, el lugar, la iluminación, etc. las pruebas de perfil de textura tienen características que se deben considerar cuando se desea hacer una evaluación más precisa de la textura (Rosenthal, 1999).

3.4.3.2 Fundamentos de las pruebas instrumentales de textura

Independientemente de las pruebas de los variados instrumentos utilizados en las pruebas de textura, todos tienen principios comunes, como el empleo de dispositivos (cilindros, placas, cuchillas, esferas, etc.) tiempos y velocidad de prueba, y en un modo de operación de los equipos para el desarrollo de la prueba (en tensión o comprensión). Debido a las variadas posibilidades para desarrollar una prueba se requiere especificar claramente las condiciones en que se lleva a cabo. Para tener una mayor posibilidad de comparar y reproducir pruebas, a este conjunto de especificaciones se le denomina protocolo de prueba.

3.4.4 Protocolo de la Prueba

Se refiere al procedimiento a seguir para efectuar una prueba en una muestra determinada. Se establece en base al tipo de instrumento, la muestra y la información que se desea obtener de la misma. Comprende los siguientes puntos:

- Selección del dispositivo
- Selección de las dimensiones de la muestra

- Historia de la muestra
- Velocidad de prueba
- Tiempo
- Número de veces que se repite la prueba
- Temperatura a la que efectuará la prueba
- Otros específicos del instrumento

Las variables antes mencionadas son las más comunes en la mayoría de los instrumentos y generalmente, el operario determina las variables a controlar y sus magnitudes en función del tipo de alimento y el atributo de textura que se desea evaluar (dureza, fracturabilidad, adhesividad, untabilidad, etc.).

Es indispensable que se reporten sistemáticamente todos los elementos contenidos en el producto y que solo se comparen muestras efectuadas bajo condiciones iguales de protocolo (Casas y Ramírez, 1998).

Control de la prueba:

En función del protocolo establecido, las variables a controlar en una prueba pueden ser: fuerza, distancia, tiempo y velocidad:

Fuerza: con pesas, neumática, hidráulica, mecánica, computarizada.

La distancia: manual, electrónica, computarizada.

El tiempo: con cronómetro, digital, computarizado.

Velocidad: mecánica, computarizada.

Registro de datos

Dependiendo del tipo de instrumento de que se trate, el registro de los resultados pueden ser:

Indicadores de carátula (distancia, fuerza), escalas de distancia, micrómetros (distancias).

Digital (fuerzas, distancias y tiempos).

Cronómetros mecánicos, cronómetros electrónicos.

Graficadores (curvas fuerza-tiempo, distancia-tiempo)

Registro computarizado de todas las variables (presentación en pantalla o impresa de datos tabulados y gráficos).

El Cuadro 2 resume las formas más comunes para reportar los resultados obtenidos en pruebas de textura con ejemplo de de los parámetros que se obtienen y algunos de los instrumentos empleados para realizar la prueba.

Cuadro 2. Formas de reporte de resultados de textura.

TIPO DE REPORTE	EJEMPLO DE PARÁMETRO	INSTRUMENTOS EMPLEADOS
Directo	Fuerza, distancia, tiempo, volumen	Consistómetros, penetrómetros.
Puntuales derivados	Dureza, fuerza del gel SAG, consistencia, firmeza, grados Bloom, valor de cedencia.	Penetrómetros, gelómetros, ridgelímetro.
Curvas	Fuerza-distancia Fuerza-tiempo Distancia-tiempo	Penetrómetros instrumentados, texturómetros, máquinas universales de deformación.
Parámetros derivados de las curvas	Fuerzas, distancias o tiempos máximos y mínimos, fuerzas, distancias o tiempos en ciertas zonas de la curva, áreas específicas de la curva, relaciones de las fuerzas, áreas pendientes, etc.	Penetrómetros instrumentados, texturómetros, máquinas universales de deformación.

FUENTE: Bourne, 1982.

3.4.5 Prueba de Adhesividad.

Si bien el APT proporciona información de varias características texturales de un alimento, cuando se desea comparar una propiedad en particular, como la adhesividad, puede ser que la información aportada por esta prueba no sea lo suficientemente sensible. Para este fin, se ha diseñado una prueba específica

para evaluar las propiedades adhesivas de materiales como cajeta, mayonesa, caramelos fluidos, masas, geles, etc.

La prueba consiste en lo siguiente: el material es colocado sobre la base del texturómetro o en un recipiente cilíndrico; el dispositivo (generalmente un cilindro o placa circular) baja a una velocidad especificada hasta que detecta la superficie de la muestra, en seguida aplica una fuerza al material, misma que mantiene por un tiempo determinado después del cual, el dispositivo se retira a una distancia especificada por encima de la superficie en la que detectó originalmente la muestra (Texture Technologies, 2002).

Durante el proceso de compresión y retirada, se obtiene la curva de fuerza en función de la distancia o tiempo. La forma de la curva depende de las propiedades cohesivas y adhesivas del material.

Se puede extraer varios parámetros que a continuación se mencionan (Texture Technologies, 2002):

- **Fuerza adhesiva:** Pico de fuerza máximo
- **Resistencia adhesiva inicial:** Pendiente inicial de la curva durante la retirada de dispositivo.
- **Área de trabajo adhesivo:** Área bajo la curva del inicio de retirada de dispositivo.
- **Área de trabajo cohesivo:** Área bajo la curva después de la retirada pico máximo (curva fuerza-tiempo).
- **Estiramiento del producto:** Distancia desde el inicio de la retirada del dispositivo hasta que la fuerza cae a un valor constante o hasta cero.

También pueden extraerse parámetros secundarios como *la relación de áreas adhesiva/cohesiva* o viceversa: *la relación entre la fuerza adhesiva y el estiramiento* o viceversa, que puede ser una medida de la *untabilidad* del producto.

Un producto altamente cohesivo se mantiene unido y el material se romperá cerca de la base o de la superficie de la muestra. Un poco pobre en cohesión, se deformará tomando la forma de un reloj de arena si su adhesividad es mayor que su cohesividad. La ruptura en un producto con pobre cohesión ocurrirá en el centro del “reloj de arena” y el material adhesivo se quedará pegado tanto en la base como en el dispositivo.

3.4.6 Propiedades Texturales de Masas

3.4.6.1 Influencia del Proceso en la Textura de la Masa

El mezclado altera de manera significativa las propiedades mecánicas de la masa. Este proceso facilita la hidratación de las partículas de harinas, facilitando el desarrollo de la matriz de gluten e incorporando aire dentro del sistema. Una de las propiedades que se ven más alterada es la elasticidad porque afecta la capacidad de retención de aire de la masa. La masa debe ser extensible para prevenir la ruptura de las membranas entre las celdas de aire (Bloksma, 1990; Mani *et al.*, 1992).

Mani *et al.*, (1992) determinaron que existe una relación directa entre las propiedades mecánicas de la masa y el tiempo óptimo de mezclado de forma independiente del equipo de mezclado empleado.

La mayoría de estos estudios está relacionado con el empleo de medidas empíricas que se utilizan primordialmente en el control de calidad y en

investigación. Los equipos más comúnmente empleados son el farinógrafo y el mixógrafo, que miden la resistencia de la masa al trabajo de mezclado durante una operación prolongada (Spies, 1990; Wang y Sun, 2002).

Cuando la harina es mezclada con la proporción correcta de agua y en un tiempo óptimo se tiene una masa suave y homogénea. Sin embargo, si la masa es sobremezclada o contiene demasiada agua puede volverse demasiada pegajosa. Esta característica está relacionada con las propiedades genéticas de la harina que hacen intolerante al sobremezclado, marcadamente pegajosa y con poca fuerza. Chen y Hosney (1995) encontraron que los compuestos que causan esta adhesividad marcada son el ácido ferúlico unido a una cadena de carbohidrato mediante un enlace de tipo éster. La longitud de este carbohidrato puede ser de = 24. Cuando se separó este ácido ferúlico de la masa por tratamiento alcalino, la adhesividad de la masa disminuyó.

3.4.6.2 Influencia de los Ingredientes en la Textura de la Masa.

A diferencia de la cantidad de información que se tiene para las características reológicas de la masa, en el caso de las propiedades texturales se encuentran menos reportes referidos al tema.

Las propiedades mecánicas de las masas dependen de su estructura y del arreglo de sus constituyentes y las fuerzas que actúan entre ellos. Propiedades como la dureza y el trabajo necesario para alcanzar el mezclado óptimo, son afectadas por la presencia de aditivos que se emplean para mejorar el manejo de las masas durante su procesamiento.

4 MATERIALES Y METODOS

4.1 Materias Primas.

Las materias primas que se utilizaron en este estudio son: harina de trigo (Ozasuna), fibra soluble F20, leche en polvo (NIDO), agentes químicos leudantes (Royal), mantequilla (La Gloria), azúcar, vainilla y huevo.

Cuadro 3. Formulación para la elaboración de 100g de pan.

Ingredientes	Gr	Ingredientes	Gr
Harina de Trigo	95	Leche	25
Fibra Soluble	5	Vainilla	2.5
Mantequilla	60	Sal	0.8
Azúcar	40	Huevo	1
Leche en polvo	10	Agentes químicos leudantes	1.8

4.2 Establecimiento del Experimento.

Se realizó el experimento en el Laboratorio de Análisis especiales del Centro de Investigaciones de Ciencia y Tecnología de los Alimentos CICyTA.

4.3 Tratamientos

En este caso se realizaron cuatro tratamientos cada uno con tres repeticiones.

Cuadro 4. Tratamientos de las masas adicionadas con fibra soluble.

Tratamientos	Harina de trigo	F20	Repeticiones
1	100 g	0 g	3
2	95 g	5 g	3
3	90 g	10 g	3
4	85 g	15 g	3

4.4 Variables de Estudio

4.4.1 Determinación de Proteína.

Se realizó el contenido de proteína por el método de Kjeldhal 32.1.22 (AOAC 1995).

La proteína del pan así como de harina fue obtenida pesando la cantidad de 0.5 a 1.0 g de muestra (seca o húmeda), de acuerdo con su contenido de nitrógeno, sobre papel libre de nitrógeno, tarado previamente.

Después se colocó la muestra en el fondo del matraz Kjeldhal, se adicionó aproximadamente 2.0 g de mezcla de catalizadores y de 10 a 15 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Posteriormente se colocó en el matraz digestor, caliente suavemente al principio y después en forma energética, se calentó hasta su completa oxidación, punto donde la mezcla forma una solución verde clara transparente, algunas veces se presenta un precipitado gris correspondiente a los catalizadores si se agota el ácido y no se ha digerido completamente la muestra (esto es cuando no ha alcanzado el color verde claro transparente), se dejó enfriar y se añadió otra pequeña cantidad conocida de ácido y se continuó calentando.

Terminada la digestión se enfrió el matraz en una campana para extracción de gases (o en su defecto al aire libre), se añadió aproximadamente 200 ml de agua para disolver completamente (calentar si es difícil la disolución), se agregó unas granallas de zinc o trozos de piedra pómez. Se agitó y enfrió. Se adicionó antiespumante que puede ser octano, parafina o tween.

Se preparó el aparato de destilación, a la salida del refrigerante, se adaptó un tubo de vidrio el cual permaneció sumergido dentro de 75 ml de ácido bórico al 4% contenidos en un matraz erlenmeyer de 500 ml adicionado con unas gotas de indicador de Wesselow. Se añadió al matraz de kjeldhal, estratificando y lentamente, 5 ml de NaOH 405% por cada ml de ácido sulfúrico adicionado durante la digestión, mas 10 ml de exceso por la posible carbonatación de la sosa. Se conectó inmediatamente el sistema de destilación del aparato de Kjeldhal.

Se encendió la parrilla, se abrió la llave del agua y se mezcló lentamente el contenido del matraz de Kjeldhal (ya conectado al destilador), con movimientos rotatorios. Observar que las mangueras de látex no estén estranguladas.

Después se recuperó un poco del destilador, deberá virar al color del indicador, de violeta a verde. Se destiló aproximadamente 250 ml para garantizar que haya pasado todo el amoníaco.

Se retiró el matraz receptor y después se apagó la fuente de calor, con el fin de evitar que se haga sifón. Se lavó el refrigerante. Poniendo un vaso con agua destilada a la salida del mismo, y se esperó a que se refluje hacia el matraz Kjeldhal. Titular con solución de HCl 0.1 N (vire de verde a violeta).

4.4.2 Determinación de Fibra Dietética.

Se determinó el contenido de fibra dietética 32,10 (AOAC 1995) con el equipo Fiber Tec System E mod. 1023 Filtration módulo FOSS TECATOR. Se pesó un g de muestra posteriormente se adicionó 50 ml de una solución buffer de fosfato (PO_4), 0.1ml de alfa amilasa. Se colocó dentro de un baño maría para su incubación de la enzima a una temperatura de 95°C durante 15 min. Con anterioridad se enfrió a temperatura ambiente, se agregaron 10 ml de hidróxido de sodio (NaOH) y se estandarizó el pH 7.5, se preparó una solución de proteasa 50 mg/ml en buffer de fosfato (PO_4), después se agregó 0.1 ml se incubó a 60°C durante 30 min. Se enfrió a temperatura ambiente ajuste el pH de 4.0 – 4.6 se adicionó 10 ml de HCl, posteriormente se agregó 0.1ml de aminoglucosidasa esta se sometió a un baño maría de 60°C durante 30 min. Para lograr su incubación, a esa solución se adicionó 4 volúmenes de etanol al 95%, se dejó reposar durante 24 h la solución, después se paso a la filtración, se humedeció el crisol con alcohol al 98%, se transfirió el precipitado, se lavó tres veces con 20 ml de etanol 78%, dos veces con 10 ml de etanol al 95% y dos veces con acetona, se pasaron los crisoles a la estufa a una temperatura de 105°C durante 24 h posteriormente se enfrió y se analizó el porcentaje de nitrógeno en dos muestras y para cenizas el residuo se puso en la mufla a 525°C durante 4 h. Se enfrió y se peso.

4.4.3 Determinación de Grasa.

Se determinó el contenido de grasa por el método 30,10 (AOAC 1995). Se pesaron 2 g de muestra adicionando 2 ml de alcohol al 95%, 10 ml de ácido clorhídrico (HCl) concentrado y 8 ml de agua destilada se colocó toda la solución en un frasco bien sellado para que no hubiera evaporaciones de solución, se colocó en un baño maría a 60°C durante 20 min, se dejó enfriar, después se obtuvo la grasa separada del solvente, se adicionaron 10 ml de alcohol, 25 ml de éter dietílico, se agitó durante 1 min. Posteriormente se adicionaron 25 ml de éter de petróleo, se agitó durante un min, así por decantación se preparó la grasa y posteriormente se obtuvo en una charola de aluminio que anteriormente se colocó a peso constante, se metió a la estufa a 100°C durante 30 min después se enfrió el residuo y se peso.

4.4.4 Determinación de Humedad

La humedad de la harina así como del pan fue determinada pesando una cantidad de muestra en una cápsula de aluminio previamente tarada y/o a peso constante, se colocó la cápsula en una estufa que se calibró a una temperatura de 100°C por 24 h aproximadamente. Después del tiempo dado se sacó la cápsula de la estufa y se puso a un desecador para dejarla enfriar, a temperatura ambiente, y continuando como el procedimiento se peso la cápsula con el producto seco.

4.4.5 Determinación de Cenizas

Las cenizas se obtuvieron por la norma oficial mencionada con anterioridad, se tomó un crisol que previamente se llevó a peso constante, se pesó la cantidad de muestra necesaria que nos pidió la norma oficial para su determinación, se calcinó la muestra con fuego directo (hasta que no hubiera presencia de humo blanco proveniente de la muestra), se llevó el crisol con los muestra calcinada a una mufla calibrada previamente a una temperatura de 600°C por 2 a 3 h

aproximadamente, con el tiempo transcurrido se sacó el crisol y se colocó en un desecador para enfriar la muestra y poder hacer los pesos correspondientes.

4.4.6 Texturómetro THDi

Geometría del cilindro de 2 in (5.08 cm) para ambas pruebas.

Accesorios especiales para ATP y Adhesividad (descritos en la siguiente sección).

4.4.6.1 Condiciones de las Pruebas Texturales

Se necesitó una etapa experimental previa en la cual se establecieron las condiciones de prueba que se han empleado en el texturómetro THDi para realizar las pruebas seleccionadas (Análisis de Perfil de Textura (APT), y Adhesividad en la masa patrón esta actividad se llevó a cabo con la formulación original, los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Condiciones establecidas en el Texturómetro THDi para las pruebas de textura.

Prueba	Velocidad (mm/s)		Fuerza (Kg)	Tiempo (s)	Distancia (mm)
	Prueba	Retirada			
APT	1.7	1.7	----	5	10
Adhesividad	1.7	10	1	5	----

Los accesorios que se emplearon con el texturómetro THDi se muestran a continuación:

4.4.6.2 Análisis de Perfil de Textura (APT)

Para efectuar la prueba se utilizó el conjunto de prueba descrito a continuación acoplado al texturómetro THDi y que consta de:

- Cilindro de acrílico de 2 in (5.08 cm) de diámetro, (a) de la Figura 2.
- Molde para masa, (b) de la Figura 2.

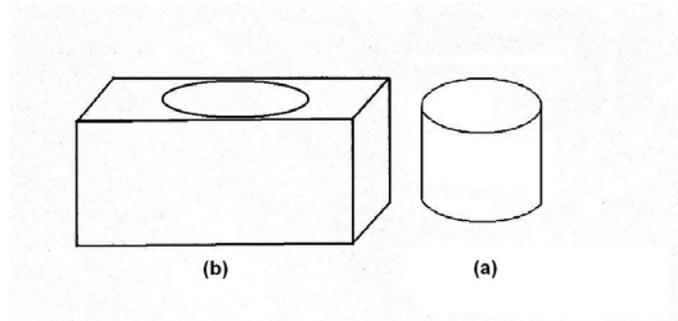


Figura 2. Conjunto para prueba de APT

4.4.6.3 Procedimiento

Se colocó una cantidad de masa suficiente (70-90 g) para cubrir el volumen de la base (previamente engrasada con aceite vegetal para facilitar el desmolde) y se comprimió con peso de 5 Kg durante 15 min para eliminar los espacios de aire de la masa y dar forma cilíndrica a la muestra. Posteriormente se llevó a cabo la prueba que consiste de dos ciclos de compresión-descompresión con una punta cilíndrica de 2 in (5.08 cm).

4.4.6.4 Cálculos

De la curva de fuerza vs. Tiempo (Figura 3) se obtienen los parámetros del APT concernientes al producto.

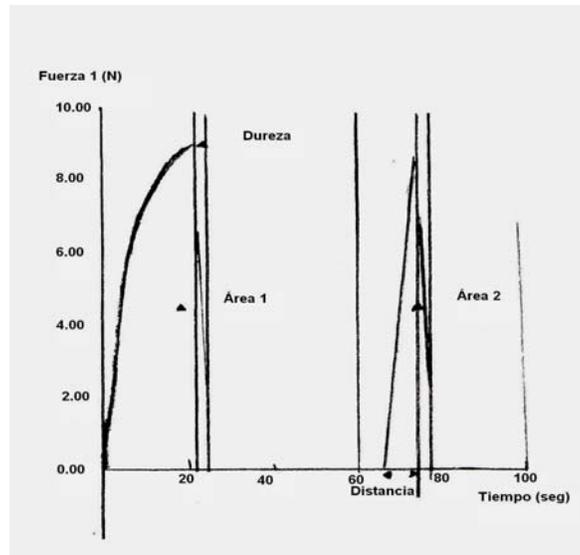


Figura 3. Curva característica para una prueba de APT

4.4.7 Adhesividad

Para efectuar la prueba se utilizara el accesorio descrito a continuación (Figura 4) acoplado al Texturómetro THDi.

Accesorio para adhesividad.

- Cilindro de acrílico de 2 in (5.08 cm) de diámetro,(a) de la Figura 4.
- Base, (b) de la Figura 4.
- Tapa con perforación cilíndrica de 5 in (12.7 cm), (c) de la Figura 4.

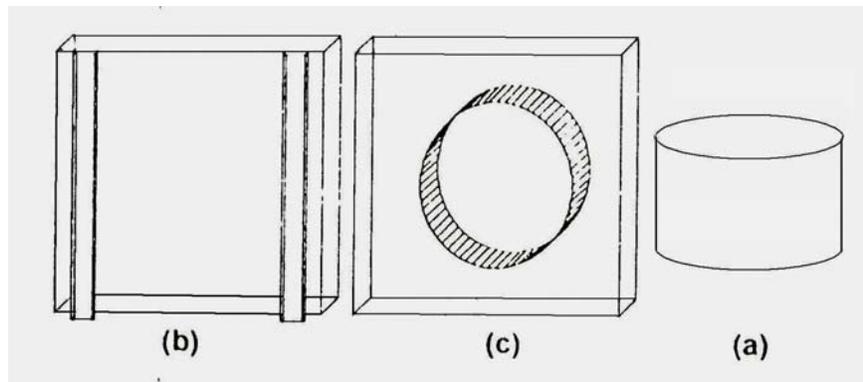


Figura 4. Conjunto de prueba de adhesividad en masas

4.4.7.1 Procedimiento

Se colocó en la base de acrílico una cantidad de masa suficiente (250-500 g) para cubrir el volumen de la perforación de la tapa, ésta se coloca y se elimina la masa que rebase los límites de la base, posteriormente se realizó la prueba de compresión con un cilindro de acrílico con 2 in (5.08 cm) de diámetro.

4.4.7.2 Cálculos

Se analizó la curva de fuerza vs distancia o fuerza vs tiempo (Figura 5) y se obtuvieron los parámetros de adhesividad.

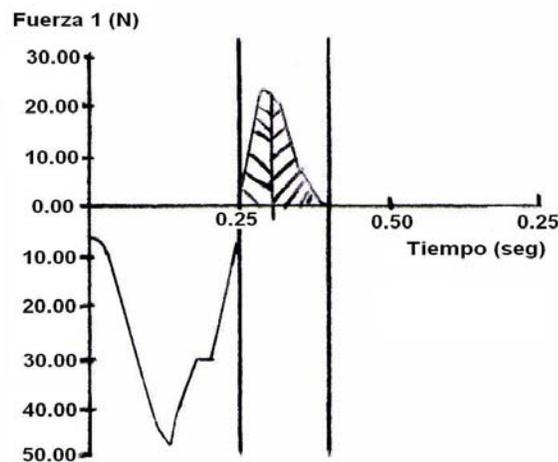


Figura 5. Curva característica para la prueba de Adhesividad

4.4.8 Extensibilidad de Masas

En este método se pesaron 25 g de harina, se preparó una solución salina, las cuales se mezclaron hasta obtener una masa compacta. Posteriormente se extendió la masa en un molde, que a continuación se mostrará en la siguiente

Figura, con una pequeña cantidad de aceite para evitar la adherencia de la muestra al instrumento.

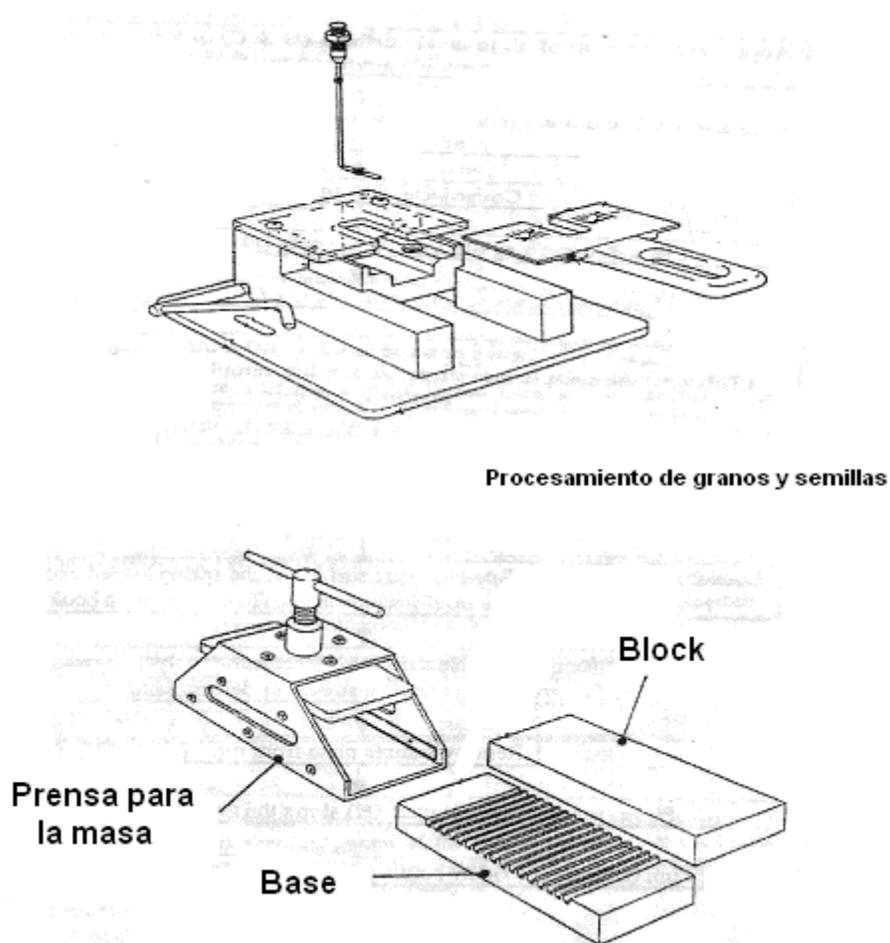


Figura 6. Aditamento SMS/Kieffer para la medición de extensibilidad en masas

Presionar y dejar reposar durante 30 minutos para la formación y compactación de las bandas de masa. Ya pasando el tiempo escribió retirar las bandas de masa con una espátula, cuidando que no se rompan y evitar extenderlas, se colocan las bandas en el texturómetro y se comienza la operación de extensibilidad. Una vez que el gancho agarra la masa de harina comienza a extenderla hasta que la masa alcance su límite elástico (fuerza máxima).

4.4.9 Determinación de volumen

Para la evaluación de este parámetro se empleara el método de desplazamiento de semillas de mostaza.

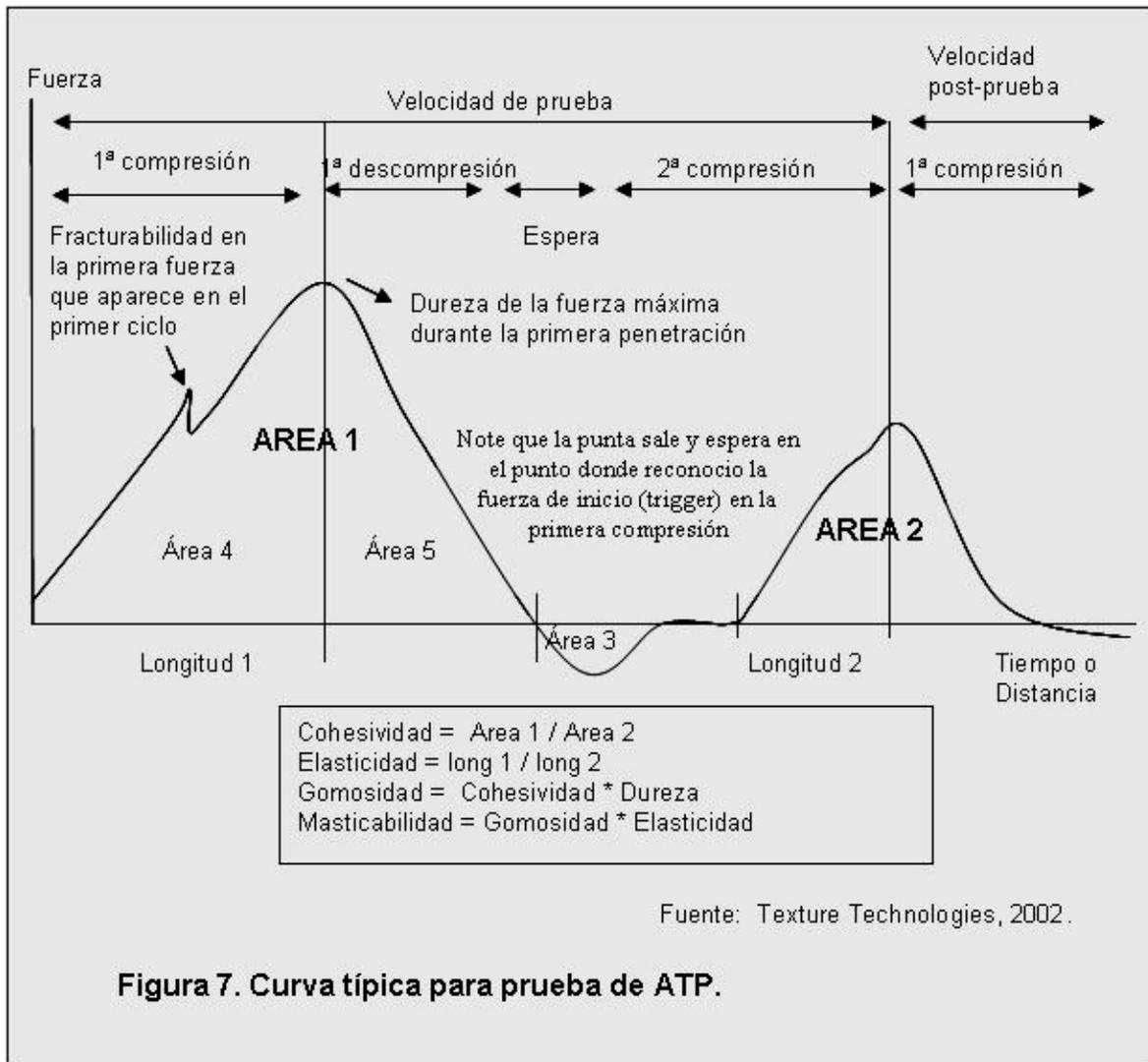
4.4.10 Determinación del perfil de textura

La textura de pan se determinó en el texturómetro TAX2i. La prueba consistió en comprimir 2 veces consecutivas un pedazo de alimento, utilizando el instrumento TAX2i (texture technology corp. USA), se realizó una prueba de doble compresión, con un embolo de una pulgada de diámetro; se empleó una celda de carga de 5 kg. Se comprimieron 3 panes por cada corrida experimental hasta un 20%. En la figura 8 se muestran los cambios producidos en un alimento y detectados por un texturómetro se muestran los cambios producidos en un alimento y los datos registrados en una grafica. Esta prueba se realizó de acuerdo a lo reportado por Corre-Gannere, (1995).

4.4.10.1 Análisis de Perfil de Textura (APT)

Una curva típica de Análisis de Perfil de Textura es como se muestra en la Figura 7. La prueba consiste básicamente en lo siguiente:

Es una prueba que mide la fuerza en compresión. Se le indica al instrumento que la punta o sensor comprima el alimento cierta distancia (dada en mm o en % con respecto a la altura de la muestra) a una de la muestra y esta será el punto de referencia. En esta operación la punta viaja hacia abajo hasta llegar a la distancia indicada. La punta sube y se retira de la muestra, regresa a la posición de inicio de la prueba (distancia de referencia). En esta posición espera el tiempo indicado. Efectúa el segundo ciclo de compresión, bajando nuevamente la distancia indicada. Regresa a la posición original antes de iniciar la prueba (Texture Technologies, 2002).



Durante todo este proceso, la punta de prueba detecta la fuerza y se obtiene la curva fuerza-tiempo. La fuerza de la curva puede variar de la presentada como típica. Básicamente en las alturas de picos positivos y negativos, las áreas bajo estos picos, la presencia de picos secundarios, altura y áreas negativas.

Las fuerzas positivas indican la resistencia que ofrece la muestra a la penetración o compresión por parte de la punta en el proceso de bajada. Las fuerzas negativas indican la fuerza debido a la muestra que se adhiere al retirarse el sensor.

De la curva se calculan los siete parámetros texturales característicos que se mencionan a continuación (Szczesniak, 1963):

DUREZA: La fuerza máxima en el primer ciclo de compresión (H).

FRACTURABILIDAD: El primer pico significativo en la curva del primer ciclo de compresión (F).

COHESIVIDAD: La relación entre el área positiva durante el segundo ciclo de compresión y el primero ($A_4 / A_1 + A_2$).

ADHESIVIDAD: El área negativa del primer ciclo de compresión (A_3). Representa el trabajo necesario para retirar el sensor de la muestra.

ELASTICIDAD: (Springiness, Resorteo): La altura que la muestra recupera entre término del primer ciclo de compresión y el inicio del segundo (c). Otros autores la refieren como la relación c/a. Cabe aclarar que aún cuando la elasticidad es una relación de distancias sus valores se pueden obtener de la curva fuerza-tiempo, si se considera la velocidad a que se efectúa la prueba.

GOMOSIDAD: El producto de la dureza y la Cohesividad.

MASTICABILIDAD: Producto de gomosidad y elasticidad.

Algunos autores (Bourne y Cumstock, 1982), reportan otros parámetros como:

MÓDULO: También conocido como **FIRMEZA**, se refiere a que tan firme se siente un producto cuando se comprime ligeramente, y es la pendiente inicial de la curva fuerza-distancia en el primer ciclo de compresión.

FRAGILIDAD: Es la distancia a la que ocurre la fractura, puede reportarse en mm o en % en relación a la deformación máxima en el primer ciclo de compresión. Entre mayor sea el valor, menos frágil es el material.

EXTENSIBILIDAD: La distancia que el producto se extiende durante la descompresión antes romperse (b). También se puede considerar la del segundo ciclo (d).

RESISTENCIA: (Elasticidad): Relación entre el área positiva de bajada del primer ciclo de compresión y el área de subida del mismo A_2 / A_1 .

FUERZA NEGATIVA MÁXIMA: Relación entre la primera y la segunda áreas de adhesión A_3 / A_5 . La recuperación en la porción de adhesión entre el segundo y el primer ciclo de compresión $A_3 - A_5$.

INDICE DE APLASTABILIDAD: Relación entre la diferencia de área de compresión y descompresión del primer ciclo el área de descompresión $(A_1 - A_2)/A_2$.

Los parámetros antes mencionados se calculan a partir de la curva de fuerza-tiempo con ayuda de los programas computacionales que cada equipo proporciona.

4.4.11 Evaluación Sensorial Afectiva

Se realizó una prueba de evaluación sensorial de acuerdo con Anzaldúa (1994), con 30 jueces tipo consumidor los cuales probaron el pan y dieron su opinión a través de una prueba preferencia. Los resultados se sometieron a un análisis no paramétrico con la prueba de Chi-Square Test (χ^2).

4.4.12 Análisis de resultados

El análisis de varianza se realizó con el programa SAS (SAS, 2000) se obtuvo un análisis para cada variable de estudio para determinar si hay dependencia o no entre las variables de estudio, se utilizó un nivel de probabilidad de $p < 0.05$. Dicho análisis fue aplicado a todos los resultados tanto de pruebas en masa como en pruebas en producto terminado (panes).

5 RESULTADOS Y DISCUSIONES.

5.1 Composición Químico Próximo de la Harina de Trigo.

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de la composición química proximal de panes adicionados con fibra soluble. En este se observa que la harina de trigo tuvo un porcentaje de proteína (10.61%) similar al comparado por Ranhotra, 1996 y Güemes, 2004 (11.0%), aún y cuando las muestras se obtuvieron de diferentes molinos pero no de trigos distintos ya que estos pertenecen al grupo de los duros, por lo cual se puede considerar una diferencia mínima en los resultados. En la determinación de grasa (0.46%), se obtuvo un valor menor que el reportado por Ranhotra, 1996 y Güemes, 2004, esto pudo ser por la diferencia de los tratamientos de determinación de grasa, ya que en este estudio la técnica utilizada aplica una temperatura de 100°C aproximadamente y podría considerarse una volatilización de la grasa. No se realizó el análisis de fibra ya que la harina contiene muy poco porcentaje. En cuanto a la humedad (14.84 %) y cenizas (0.30%) se mantuvieron por debajo de lo reportado por Güemes, 2004. Y en los carbohidratos sí mostró una diferencia mayor (79.0%) con lo reportado por Güemes, 2004, y puede resultar así debido a el porcentaje bajo en grasas.

Cuadro 6. Análisis proximal de la harina de trigo

Harina de Trigo	%
Proteína NX6.25	10.61 ± 0.1
Grasa	0.46 ± 0.0
Fibra cruda	14.84 ± 0.5
Cenizas	0.30 ± 0.3
Carbohidratos (por diferencia)	79.0 ± 0.2

Valores con ± DS en determinaciones por triplicado

5.2 Resistencia y Extensibilidad de las Masas de Harina de Trigo Adicionadas con Fibra Soluble.

En el Cuadro 7 se muestran los resultados de la resistencia de masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble. Se observa que existe diferencia significativa en la masa de harina de trigo con 15 % de fibra soluble comparada con el testigo. Las masas con 5 y 10 % no presenta diferencia significativa ($P < 0.05$). En relación a esto Rao *et al.*, 1992 reportaron un incremento en la resistencia a la extensión por la adición de gomas, la extensibilidad disminuye por la adición de geles. Al respecto Palmer (1982) reporta que las fibras de celulosa consisten en varios polisacáridos, y esto puede afectar las propiedades físicas de la harina de trigo, el tiempo de mezclado de la masa se optimiza en la presencia de fibras. En relación a esto Park *et al.*, 1997, mencionan que la masa hecha con 5% de fibra de *Physillium* presentó fragmentos indeseables que complican especialmente el mezclado de la masa aunque estos desaparecen en la masa al momento de enmoldar el pan.

Cuadro 7. Resistencia de masas adicionadas con fibra soluble

Fibra (%)	Resistencia (cm)
0	73.84 ^a
5	69.44 ^a
10	58.75 ^a
15	14.83 ^b

El superíndice que aparece en los promedios de cada parámetro indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Duncan ($P < 0.05$)).

En el Cuadro 8 se muestran los resultados de la extensibilidad de masas adicionadas con fibra soluble, donde se observa que no existe diferencia significativa ($P < 0.05$) en la masa de harina de trigo adicionada con 10 % de fibra soluble comparada con el testigo. Sin embargo la masa con 5 y 15 % muestran diferencias significativas.

Cuadro 8. Extensibilidad de masas adicionadas con fibra soluble

Fibra (%)	Extensibilidad (-) (cm)
0	36.57 ^{ab}
5	44.30 ^b
10	36.07 ^{ab}
15	27.91 ^a

El superíndice que aparece en los promedios de cada parámetro indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Duncan ($P < 0.05$)).

5.3 Análisis de Perfil de Textura de las Masas de Harina de Trigo Adicionadas con Fibra Soluble.

En el Cuadro 9 se muestran los resultados de la dureza de masas adicionadas con fibra soluble, donde se observa que no existe diferencia significativa ($P < 0.05$) en las masas de harina de trigo adicionadas con 5, 10 y 15 % de fibra soluble comparada con el testigo. Por otro lado, en las muestras preparadas con celulosa, la dureza aumenta conforme se incrementa el porcentaje de ésta en la mezcla, como lo muestra en el 10% de sustitución (111.7 g), esto se debe a que la celulosa es porosa y tiene una estructura fibrosa que le permite retener mas agua (Crosby y Ang, 2005), por lo que al mezclarse con la harina, la mezcla resulta mas dura. También se muestran los resultados de la elasticidad de masas adicionadas con fibra soluble, esto podría ser debido a que la celulosa tiene la propiedad de disminuir la viscosidad en los productos. Se observa que no existen diferencias significativas ($P < 0.05$) en las masas de harina de trigo adicionadas con 5, 10 y 15 % de fibra soluble comparada con el testigo. En el Cuadro 9 se muestran los resultados de la cohesividad de masas adicionadas con fibra soluble. Se observa que no existe diferencias significativas en las masas de harina de trigo adicionadas con 5-15 % de fibra soluble comparada con el testigo. es decir que estas masas son mas difíciles de deformar, debido a las propiedades que le da la celulosa en polvo, como son una estructura fibrosa que ayuda a mantener la forma física del producto (Crosby y Ang., 2005).

Cuadro 9: Análisis de Perfil de Textura de las masas adicionadas con fibra soluble

Fibra (%)	Dureza (kgf)	Elasticidad (cm)	Cohesividad
0	2.77 ^a	0.53 ^a	0.619 ^a
5	2.41 ^a	0.49 ^a	0.469 ^a
10	1.54 ^a	0.92 ^a	0.417 ^a
15	1.44 ^a	0.92 ^a	0.417 ^a

El superíndice que aparece en los promedios de cada parámetro indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Duncan (P<0.05)).

5.4 Adhesividad de las Masas de Harina de Trigo Adicionadas con Fibra Soluble.

En el Cuadro 10 se muestran los resultados de la Fuerza Adhesiva de masas adicionadas con fibra soluble. Se observa que existe diferencia significativa en las masas de harina de trigo adicionadas con 5-15 % de fibra soluble comparada con el testigo. En este se observa que los resultados de la Extensibilidad relacionada con la adhesividad de masas adicionadas con fibra soluble. Se observa que no existe diferencia significativa en las masas de harina de trigo adicionadas con 5-15 % de de fibra soluble comparada con el testigo.

También se muestran los resultados de la Adhesividad de masas adicionadas con fibra soluble, donde se observa que existe diferencia significativa en las masas de harina de trigo adicionadas con 10 y 15 % de fibra soluble comparada con el testigo, no fue así en la masa adicionada con el 5% de fibra. La celulosa no proporciona estas características ya que da una mayor dureza debido a la inserción de las fibras en las redes del gluten de las masas esto es en base a lo reportado por Güemes (1998). Al respecto Chen *et al.*, (1988) informan que los datos de la capacidad de retención de agua también confirmaron que los salvados de cereal absorben menos agua (5.03) que la fibra de manzana (9.36).

Cuadro 10. Adhesividad de masas adicionadas con fibra soluble

Fibra (%)	F. Adhesiva (kgf)	Extensibilidad (cm)	Adhesividad
0	79.07 ^a	32.79 ^a	83.75 ^a
5	64.30 ^{ab}	42.96 ^a	43.96 ^a
10	48.20 ^b	37.08 ^a	405.37 ^b
15	13.36 ^c	30.94 ^a	386.14 ^b

El superíndice que aparece en los promedios de cada parámetro indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Duncan ($P < 0.05$)).

5.5 Análisis de Perfil de Textura en Panes Adicionados con 0 y 5% de Fibra Soluble.

En el Cuadro 11 se muestran los resultados de la Dureza del pan adicionado con 5 % de fibra soluble. Se observa que no existe diferencia significativa ($P < 0.05$) comparada con el testigo. Los resultados de la Adhesividad del pan adicionado con 5 % de fibra soluble, donde no existe diferencia significativa comparada con el testigo. ($P < 0.05$). También se muestran los resultados de la Elasticidad del pan adicionado con 5 % de fibra soluble. En estos resultados se presenta que no existe diferencia significativa comparada con el testigo. ($P < 0.05$). En este se expresan los resultados de la Cohesividad del pan adicionado con 5 % de fibra soluble. No hay diferencia significativa comparada con el testigo. En este también se muestran los resultados de la Fracturabilidad del pan adicionado con 5 % de fibra soluble. Donde se observa que si existe diferencia significativa comparada con el testigo. A cerca de esto informan Park y col. (1997) que la firmeza mejora en el pan sin fibra y sin aditivos (SSL) que en los panes que contenían del 5-10% de fibra. El pan hecho con 5% de fibra mostró la mínima firmeza probablemente porque esta tenía buen volumen de hogaza y contenía además el más alto nivel de mezcla (43%). Czuchajowska *et al.*, (1992) notaron previamente que el 4% de fibra incrementó la suavidad de la corteza del pan.

Cuadro 11. Análisis de Perfil de textura en panes con 0 y 5% de fibra soluble.

Fibra (%)	Dureza (kgf)	Adhesividad	Elasticidad (cm)	Cohesividad	Fracturabilidad (kgf)
0	1.68 ^a	-0.25 ^a	1.39 ^a	0.25 ^a	1.16 ^a
5	1.47 ^a	-0.52 ^a	1.27 ^a	0.24 ^a	6.00 ^b

El superíndice que aparece en los promedios de cada parámetro indica la diferencia significativa según la ANOVA (prueba de Duncan ($P < 0.05$)).

5.6 Calidad de la Miga de Panes Adicionados con 0 y 5 % de Fibra Soluble.

La calidad de miga se muestra en la Figura 8, la miga del pan testigo presenta alvéolos mas abiertos y no homogéneos, el pan con 5% de fibra presenta una estructura mas cerrada y mas uniforme, también se observa un mayor volumen de la hogaza con respecto al testigo. Al respecto Lai y col. (1989) encontraron que el alveolo de la hogaza de pan presenta buen volumen cuando:

- Se adiciona Lipoxygenasa (enzima activa de la harina de soya) y el óxido de glutation (suavizante ablandador de masa).
- Al incrementar la absorción del agua hasta el nivel más alto tolerable y reemplazar el cloruro de sodio con difosfato de sodio o citrato de sodio para fortalecer la masa.

La aireación que reproduce durante el amasado proporciona pequeñas burbujas de aire que actúan como puntos de nucleación para la difusión del CO_2 y el crecimiento de dichas celdillas durante la fase de fermentación. Sin estos puntos de nucleación el CO_2 producido no tendría sitios o huecos a donde ir y se saldría de la masa por lo que se produciría un pan con muy pocas celdillas de gas, escaso volumen y una estructura abierta y poco atractiva. En general los panes adicionados con el 5% de fibra soluble presentan una distribución de las celdillas uniforme, lo que indica que hubo una buena aireación durante el amasado y que la masa empleada tenía una extensibilidad aceptable, y por lo tanto el CO_2 producido durante la cocción del pastel se difundió correctamente y no salió de la masa haciendo que el producto final tenga un volumen adecuado. Al respecto

Park *et al.*, (1997); mencionan que la fibra de *Physillium* se hidrata antes del mezclado de la masa, el volumen de la hogaza no cambia al pan controlado. Al respecto Apling *et al.*, (1978) reportan que la goma guar funcionalmente ayuda en el mantenimiento del volumen de la hogaza si se le agrega al menos 7% de harina. De acuerdo con Pomeranz, *et al.*, (1977) el exceder al reemplazar cierto nivel de harina con fibra insoluble causa decremento en el volumen de la hogaza más de lo que puede ser de demostrado por la disolución del gluten solo. Ellos atribuyen el decremento en la hogaza en alta calidad de pan a la poca retención de gas en la masa, la cual contiene la mayoría de fibra insoluble, en una solidificación de peso y esponjamiento, sólo incrementó un poco lo que se atribuye a una solidificación prematura de la estructura de la hogaza por la gelatinización prematura con los niveles altos de agua en la masa.



Figura 8. Calidad de miga de pan adicionado con 5% de fibra soluble.

5.7 Peso de Panes Adicionados con 0 y 5 % de Fibra Soluble.

El peso del pan se muestra en el Cuadro 12, dónde se observa que el pan con 5% de fibra aumenta ligeramente su peso con respecto al testigo, esto podría deberse a la adición de la fibra soluble, que tiene la capacidad de retener agua. En relación a este tema Chen *et al.*, (1988) informan que las 2 formas de usar la fibra podría ser en polvo seco e hidratada. Con estos dos métodos se tienen panes que al incrementarse la absorción del agua, en las masas y el tiempo de mezclado, el peso del pan aumenta, esto concuerda con lo obtenido en esta investigación. En la Figura 9 se presenta el volumen de los panes adicionados con fibra soluble. Al respecto Park *et al.*, (1997) informan acerca de la fibra de trigo la cual aumenta el volumen de la hogaza con el 5 y 15% de adición.

Cuadro 12: Peso con 0 y 5% de fibra soluble.

Muestra	Peso
Testigo	17.26±0.87
Pan con fibra 5%	18.56±0.77

Resultados expresados como media de triplicado



Figura 9. Volumen de pan adicionado con fibra soluble al 5%.

5.8 Composición Químico Proximal de Panes Adicionados con Fibra Soluble.

En el Cuadro 13 se muestra el análisis químico proximal de la formula óptima de fibra soluble en este se observa que el contenido de proteína fue de 7.2%, el de fibra dietética de 1.78%, grasa 19.68% y carbohidratos 40.28%, estos datos no concuerdan con los informados por Neri (2007), ya que el contenido de proteína para pasteles formulados con 15% de celulosa y 15 % de maltodextrina fue de 5.7%, para fibra fue de 2.2 y de grasa de 15.1%. Al respecto Chávez *et al.*, (2005); mencionan que los panques enriquecidos contienen 8.8% de proteína, 0.3% de fibra; 3.8 % de grasa y 53.2 % de carbohidratos, estos resultados comparados con los obtenidos en esta investigación, demuestran que la fibra se aumentó y el contenido de carbohidratos disminuyó, esto podría ser debido a la incorporación de la fibra soluble.

Cuadro13. Composición nutrimental de pan adicionado con fibra soluble

Información nutrimental		100g
Energia	367.21	kcal
Proteína	7.24	g
Grasa	19.68	g
Fibra dietetica	1.78	g
Hidratos de carbono	40.28	g
Sodio	47.64	mg

5.9 Análisis Sensorial de Panes Adicionados con Fibra 5 %

La prueba se realizó de acuerdo con las especificaciones que da Anzaldúa (1994) para la prueba de aceptación del producto con una escala hedónica. Esta se aplicó a 30 jueces tipo consumidor de los cuales 19 personas prefirieron la muestra con el 5% de fibra soluble y 11 de las personas no les gusto prefiriendo

la formula testigo. Es un poco difícil de analizar e interpretar estos datos ya que se trata de apreciaciones totalmente personales, pero para este caso se utilizó una prueba de Chi-Square Test, y según este análisis el 63.33% de las preferencias les agrado y el 36.66 de las preferencias no les disgusto pero tampoco les agrado. Este análisis tuvo una diferencia significativa de $P < 0.05$ esto se muestra en la Figura 10.

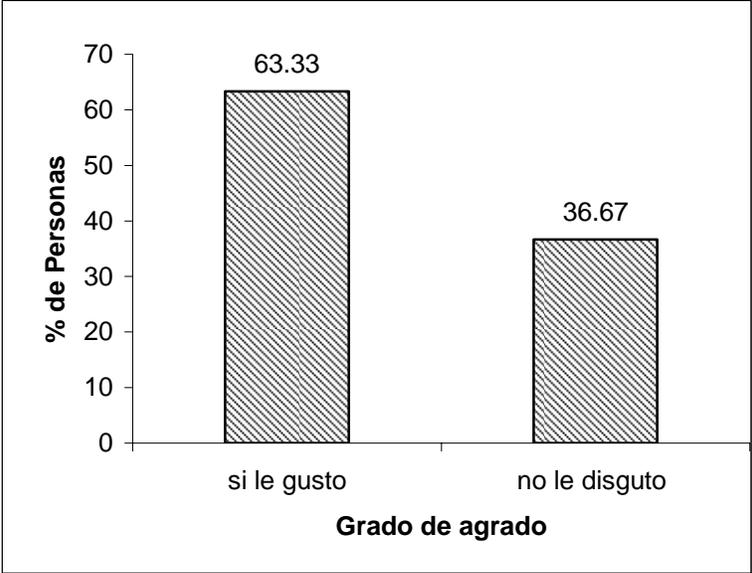


Figura 10. Análisis Sensorial de Panes Adicionados con 5% de Fibra.

6 CONCLUSIONES

- El análisis químico proximal de la Harina de Trigo, coincidió con lo reportado por la bibliografía.
- La resistencia de la masa no presenta cambios con respecto al testigo cuando es adicionada con el 5% de fibra soluble.
- La extensibilidad de la masa adicionada con 5 % de fibra soluble, aumenta con respecto al testigo.
- El ATP de las masas de harina de trigo adicionadas con fibra soluble no presentan cambios en la dureza, elasticidad y cohesividad de la masa.
- La fuerza adhesiva de las masas adicionadas con fibra soluble disminuye conforme se aumenta el contenido de fibra, no es así para la extensibilidad y la adhesividad.
- La dureza y la fracturabilidad de los panes adicionados con 5% de fibra soluble disminuye con referencia al testigo, no es así para la adhesividad, elasticidad y cohesividad.
- La calidad de la miga del pan y el volumen mejoran con la presencia de fibra soluble al 5%.
- El peso del pan con fibra soluble aumenta en comparación con el testigo por la presencia de esta.
- El análisis químico proximal demuestra un aumento en el contenido de fibra y una disminución en el contenido de carbohidratos.
- El análisis sensorial reporta una buena aceptación del producto formulado con 5% de fibra soluble.

7 RECOMENDACIONES

- La fibra soluble utilizada en este trabajo demostró proporcionar buenas propiedades funcionales, por lo que se recomienda sea utilizada en otros alimentos para probar que otras características proporciona.
- Realizar un estudio reológico con el reómetro que permita estudiar mas a fondo la funcionalidad de la fibra.

8 BIBLIOGRAFÍA

A.A.C.C. 2000. American Association of Cereal Chemistry. Approved Methods of American Association of Cereal Chemist. The Association, St.Paul.

Anderson JW, Gilinsky NH, Deakins DA, Smith SF, O'Neal DS, Dillon DW, Oeltgen PR. 1991. Lipid responses of hypercholesterolemic men to oat-bran and wheat-bran intake. Am J Clin Nutr 54:678-683.

Anderson JW, Allgood LD, Lawrence A, Altringer LA, Jerdack GR, Hengehold DA, Morel JG. 2000. Cholesterol-lowering effects of psyllium intake adjunctive to diet therapy in men and women with hypercholesterolemia: meta-analysis of 8 controlled trials. Am J Clin Nutr 71:472-479.

Anzaldúa M.A, 1994. La evaluación sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Ed. Acribia. Zaragoza, España.

A.O.A.C.1995. Official Methods of Analysis. 15 th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C., USA.

Apling, E. C., Khan, P., and Ellis, P.R. 1978. Guar/wheat bread for therapeutic use, Cereal Food World 23:640-644

Arjmandi BH, Sohn E, Juma S, Murthy SR, Daggy BP. 1997. Native and partially hydrolyzed psyllium have comparable effects on cholesterol metabolism in rats. J Nutr 127:463-469.

(Bloksma, A.H. (1990) Rheology and chemistry of dough y Wheat Chemistry and Technology. Ed. Por Y. Pomeranz, Ed.Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul,M.N.

- Bourne, M.C.1982. Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement, Ed. Academic Press, New York.
- Brown L, Rosner B, Willett WW, Sacks FM. 1999. Cholesterol- lowering effects of dietary fiber: a metaanalysis. Am J Clin Nutr 69:30-42.
- Burkitt DP, Walker ARP, Painter NS. 1974. Dietary fiber and disease. J AMA 229:1068-1074.
- Butrum RR, Clifford CK, Lanza E. 1988. Dietary guidelines: Rationale. Am J Clin Nutr 48:888-895.
- Casas A., N.B y Ramírez O., M.E.,(1998) Apuntes del curso para superación de profesores: Medición de textura en alimentos con máquina universal de deformación (texturómetro) , FES-Cuatitlán-UNAM.
- Chen, G.L. Rubenthaler, H.K Leung and J.D. Baranowski. 1988. Chemical, Physical, and Baking Properties of Apple Fiber Compared with Wheat and Oat Bran. Cereal Chemistry. 65(3) :244-247.
- Chen, W.Z. y Hosenev, R.C. (1995). Wheat Flour Compound that Produces Sticky Dough : Isolation and Identification, J. Food Sci., 60(3) :434-437-
- Corre-Gannere, 1995. Rheology and Texture in Food Quality Ed. The AVI Publishing Co. Inc. Westport Corn pp.189-210
- Crosby G.A. y Ang J.F. 2005. Formulating reduced – calorie foods with powdered cellulose. A publication of the Institute of Food Technologists. Food Tech. March, Vol. 59 No. 3, 35-38.
- Czuchajowska, Z., Paszczynska, B., and Pomeranz, Y 1992. Functional properties of psyllium in wheat –based products. Cereal Chem.69:516-520.

- De Man, J., (1976) Rheology and Texture in Food Quality, Ed. AVI. Pub., Wesport Conn.
- Dobraszczyk, B.J. (1997) Development of a new dough Inflation system to evaluate doughs, Cereal Chemistry. 62 (3): 158-162
- Englyst HN and Cummings JH. 1990. Nonstarch polysaccharides (dietary fiber) and resistant starch. Adv Exp Med Biol 270:205-225.
- Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. Eur J Clin Nutr 46(Sup. 2):S33-S50.
- Güemes, N. 2004. Características Reológicas, Sensoriales y Nutricionales de Masas y Productos de Panificación Fortificados con Lupinus. Tesis de Doctorado ENCB-IPN. México, DF.
- Hansen L.M y Setter, C.S. (1990) Texture evaluation of baked products using descriptive sensory analysis. In dough rheology and baked product texture, Editado por H. Faridi y J.M. Faubion. Ed. AVI.USA
- Hipsley E.H. 1953. Dietary "fiber" and pregnancy toxemia. Br Med J 2:420-422.
- Kolattukudy PE. 1981. Structure, biosynthesis and biodegradation of cutin and suberin. Am Rev Plant Physiol 32:539- 567.
- Launay, B., (1990), A simplified nonlinear model for describing the viscoelastic properties of wheat flour doughs at high shear strain, Cereal Chemistry, 67 (1):25-31
- Mani, K. Eliasson, A.C., Lindahl, L. and Tragardh, C., (1992) Rheological Properties and Breadmaking Quality of Wheat Flour Doughs Made With Different Dough Mixer, Cereal Chemistry, 69 (2): 222-225.

- (Masi, P., Cavella, S. y Sepe , M., (1998) Characterization of dynamic viscoelastic behavior of wheat flour doughs at different moisture contents, *Cereal Chemistry*, 75 (4):428-432.
- Navickis L.L. (1989) Rheological changes of fortified wheat and corn flour doughs with mixing time, *Cereal Chemistry*, 66 (4): 321-324.
- Neri, P. 2007. Estudio del Efecto Reológico en la elaboración de Pastel de Chocolate bajo en Grasa y Carbohidratos utilizando Maltodextrina y Celulosa como sustitutos. 54-65.
- Olson BH, Anderson SM, Becker MP, Anderson JW, Hunninghake DB, Jenkins DJA, LaRosa J C, Rippe JM, Roberts DCK, Stoy DB, Summerbell CD, Truswell AS, Wolever TMS, Morris D. H, Fulgoni VL. 1997. Psyllium-enriched cereals lower blood total cholesterol and LDL-cholesterol, but not HDL cholesterol, in hypercholesterolemic adults: results of a meta-analysis. *J Nutr* 127:1973-1980.
- Painter NS. 1975. *Diverticular Disease of the Colon: A Deficiency Disease of Western Civilization*. London, U.K.: Heinemann.
- Palmer, J. K. 1982. Carbohydrate in sweet potato. In sweet potato. Proceedings of the first International symposium, R.I. Villareal and T.D. Griggs (Ed.), p.135. Asian vegetables research and development center, Taiwan.
- Park. P.A. Seib, and O.K. Chung. 1997. Dietary and Composition in Home-Prepared and Commercially Baked Products: Analysis and Prediction. *Cereal Chemistry*. 71(1):99-103.
- Petrofsky, K.E. y Hosney R.C., (1995) Rheological characterization of dough made with starch and gluten from several cereal source, *Cereal Chemistry*, 72(1):53-58

- Pomeranz, Y. (1977) Functional Properties of Food Components, Second edition. Academic Press, Inc. Estados Unidos.
- Ranhotra, S.G 1996. Nutritional Quality of Cereals and Cereal Based Foods. American Institute of Baking, Manhattan, Kansas pág. 845-861
- Rao, M.A., (1995) Rheological properties of fluid foods en Engineering properties of foods, Ed. Marcel Dekker , New York.
- Ripsin CM, Keenan JM, Jacobs DR, Elmer PJ, Welch RR, Van Horn L, Liu K, Turnbull WH, Thye FW, Kestin M, Hegsted M, Davidson DM, Davidson MH, Dugan LD, Demark-Wahnefried W, Beling S. 1992. Oat products and lipid lowering: a meta-analysis. JAMA 267:3317-3325.
- Roach, R.R. y Hosney, R.C., (1995), Effect of certain surfactants on the starch in bread, Cereal Chemistry, 72 (6):578-582
- Rosenthal, A.J. (1999) Food Texture: Measurement and Perception, Ed. Aspen Publishers, USA.
- Satchithanandam S, Vargofcak-Apker M, Calvert RJ, Leeds AR, Cassidy MM. 1990. Alteration of gastrointestinal mucin by fiber feeding in rats. J Nutr 120:1179-1184.
- Schneeman BO. 1999. Fiber, inulin and oligofructose: similarities and differences. J Nutr 129:1424S-1427S.
- Schober, T.J., Clarke, C.I. y Kuh, M. (2002) Characterization of functional properties of gluten proteins in spelt cultivars using rheological and quality factor measurements, Cereal Chemistry, 79(3):408-417

- Serna O.S. 1996 Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. Ed, Editar, México D.F. pp 30-85
- Spies, R. 1990. Application of Rheology in the Bread Industry In Dough Rheology and Baked Product Texture. Editado por H. Faridi and J.M. Faubion, eds. Ed. AVI, New Cork-
- Szczeszniak, A.S.1963. Classification of Textural Characteristics, J. Food Sci.28.
- Texture Technologies, 2002. The texture report. A newsletter for the academic clients of Texture Technology Corp.
- Trowell HC. 1972. Atherosclerosis. Ischemic heart disease and dietary fiber. Am J Clin Nutr 25:926-932.
- Trowell HC. 1974. Definition of dietary fiber. Lancet 503.
- Tungland, B.C. and D. Meyer. 2000. Nodigestible Oligo- and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their Physiology and Role in Human Health and Food. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. Vol 3. pags 73-92.
- USWA, 1985. Los ingredientes del pan su acción y su reacción, 1ª parte, revista del pan , abril . 56-84.
- USWA. 1985b. Los ingredientes del pan su acción y su reacción, 2ª parte, revista del pan , mayo. 72.
- Wang, C.F y Kokini, J.L. 1995. Prediction of the nonlinear viscoelastic properties of gluten doughs, Journal of Food Engineering, Vol. 25, No 3, pp.297-309.

Wang, F.C. and Sun X.S. 2002 Creep-Recovery of Wheat Flour Doughs and Relationship to Other Physical Dough Test and Breadmaking Performance. *Cereal Chemistry*. 79 (4): 567-571

Wehrle K. y Arendt, E.K. (1998) Rheological changes in wheat sourdough during controlled and spontaneous fermentation, *Cereal Chemistry*, 75(6):882-886.

Weipert, D. 1990 The Benefits of Basic Rheometry in Studying Dough Rheology, *Cereal Chemistry*. 64 (4):311-317.