



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA

Dirección Académica de Recursos Naturales

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE HARINAS DE
TRIGO COMERCIALES Y NATIVAS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN
RECURSOS NATURALES**

PRESENTA

MARIA TERESA ANDRADE VARELA

CD. OBREGÓN, SONORA

NOVIEMBRE, 2006

DEDICATORIAS

A Dios: por el regalo de la vida, su fortaleza, sabiduría y diario caminar en su presencia.

A mis padres: Matere y Cachito por su amor, confianza y apoyo incondicional a lo largo de mi vida, gracias.

A mis hermanas: Lili, Abril y Soco por su cariño, comprensión y ayuda.

A mis hijos: Andrea y Memo por ser mi impulso para seguir adelante, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jaime López Cervantes por creer en mi, su apoyo y especialmente por siempre tener una palabra de aliento en todo momento. A la Dra. Dalia Sánchez Machado por su experiencia, apoyo y firmeza. Al M.C. Javier Delgado Rodríguez por su disposición y colaboración, a todos ellos agradezco su tiempo, enseñanzas, paciencia y la oportunidad de trabajar a su lado.

Agradezco al ITSON la oportunidad de desarrollarme intelectualmente, y a cada uno de mis maestros que formaron parte de mi formación.

A la empresa MUNSA molinos especialmente al laboratorio de control de calidad por su apoyo y experiencia brindado.

A Bere por inducirme y acompañarme en el transcurso de esta etapa, gracias por tu amistad (Comadre).

A Paty, Caro y Sayda gracias por su aliento, apoyo y amistad.

A mis compañeros de estudio y de tesis por el tiempo que compartimos juntos gracias a todos.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivo específico.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Hipótesis.....	5
II. FUNDAMENTACIÓN.....	6
2.1 Harina de trigo.....	6
2.1.1 Estructura y composición del trigo.....	7
2.1.2 Variedades de trigo Tarachi y Rayón.....	9
2.1.3 Molienda del trigo.....	11
2.1.4 Parámetros de calidad de harina de trigo.....	14
2.1.4.1 Análisis proximal.....	15
2.1.4.2 Propiedades físicas.....	18
2.1.4.3 Ensayos de panificación.....	20
2.1.4.4 Evaluación de tortilla.....	21
2.1.5 Productos de panificación.....	22
2.1.6 Elaboración de tortilla.....	24
2.1.7 Aditivos en productos de harina de trigo.....	26
2.2 Propiedades reológicas de la harina.....	28
2.2.1 Formación del gluten.....	29
2.2.2 Características alveográficas.....	30

2.2.3 Otros instrumentos.....	34
III. MÉTODO.....	39
3.1 Preparación de muestras.....	39
3.2 Localización del experimento.....	41
3.3 Evaluación.....	42
3.3.1 Análisis proximal.....	42
3.3.2 Propiedades físicas.....	43
3.3.3 Evaluación de la calidad de almidón por método enzimático.....	45
3.3.4 Contenido de gluten.....	45
3.3.5 Análisis alveográfico.....	46
3.3.6 Pruebas de panificación.....	47
3.4 Análisis estadístico.....	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1 Harinas comerciales multifuncionales.....	49
4.1.1 Determinación de humedad.....	50
4.1.2 Determinación de ceniza.....	50
4.1.3 Determinación de proteínas y gluten.....	51
4.1.4 Determinación alveográfica.....	53
4.1.5 Precisión del equipo.....	55
4.2 Harinas nativas obtenidas de trigos regionales.....	56
4.2.1 Determinación de humedad.....	56
4.2.2 Determinación de ceniza.....	57
4.2.3 Determinación granulométrica.....	58
4.2.4 Determinación de almidón dañado.....	59
4.2.5 Determinación de color.....	61
4.2.6 Determinación de proteínas y gluten.....	63
4.2.7 Análisis alveográfico.....	64

4.2.8 Pruebas de panificación.....	67
V. CONCLUSIÓN.....	71
BIBLIOGRAFÍA.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Página
1 Estructura de la cariósida del trigo.....	10
2 Diferencias morfológicas entre los trigos Tarachi y Rayón.....	11
3 Principio del alveógrafo NG.....	31
4 Alveógrafo NG.....	33
5 Curva típica del alveógrafo.....	34
6 Curva típica del farinógrafo.....	35
7 Curva típica del extensógrafo.....	36
8 Curva típica del mixógrafo.....	38
9 Molino experimental Buhler.....	40
10 Diagrama de flujo del experimento.....	41
11 Termobalanza.....	42
12 Mufla.....	43
13 Rapid Kjeldahl.....	44
14 Colorímetro Minolta.....	44
15 Cernidor.....	45
16 Incubadora para determinación de almidón.....	46
17 Alveógrafo NG.....	46
18 Amasadora, fermentador y horno.....	47
19 Promedio de los alveogramas de harinas comerciales.....	54
20 Comparación de color L* contra cenizas.....	63
21 Promedio de los alveogramas de harinas nativas de trigos regionales.....	66

22	Comportamiento entre proteína, fuerza de panificación (W) y volumen de pan.....	67
23	Corte transversal de los panes preparados con harinas nativas de trigos regionales.....	69
24	Volumen de pan y almidón dañado.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA		Página
1	Características de la calidad industrial de Tarachi y Rayón evaluados en el valle del Yaqui. Promedio de los ciclos 1998-99 y 1999-2000.....	12

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		Página
1	Contenido de humedad de harinas comerciales.....	50
2	Contenido de ceniza de harinas comerciales.....	51
3	Contenido de proteínas y gluten de harina comerciales.....	52
4	Análisis alveográfico de harinas comerciales.....	54
5	Precisión del método para S9.....	55
6	Precisión del método para F8.....	56
7	Contenido de humedad de harinas nativas de trigos regionales.....	57
8	Contenido de ceniza de harinas nativas de trigos regionales.....	58
9	Granulometría de harinas nativas de trigos regionales.....	59
10	Contenido de almidón dañado de harinas nativas de trigos regionales.....	60

11	Nivel de color L*, a*, b* de harinas nativas de trigos regionales.....	61
12	Prueba de Tukey de color para Tarachi.....	62
13	Prueba de Tukey de color para Rayón.....	62
14	Contenido de proteínas y gluten de harinas nativas de trigos regionales.....	64
15	Análisis de fuerza (W) de harinas nativas de trigos regionales.....	65
16	Análisis de tenacidad-extensibilidad (P/L) de harinas nativas de trigos regionales.....	66
17	Características de las pruebas de panificación.....	68

RESUMEN

El Valle del Yaqui es una región agrícola predominantemente triguera. El trigo es un cereal capaz de adaptarse a todo tipo de terreno y su calidad depende de varios factores como el suelo, fertilización, temperatura y humedad, lo cual influye en la composición de la harina de trigo. Existen diferentes variedades de trigo de los cuales se obtienen harinas para diversos productos como pan, galletas, pastelería y tortillas. El objetivo de este estudio, fue evaluar harinas de trigo comerciales y nativas mediante análisis proximal, caracterización alveográficas y pruebas de panificación para valorar su calidad y establecer sus posibles aplicaciones. Para ello se analizaron harinas comerciales del mercado local y se obtuvieron harinas de trigo de las variedades Rayón y Tarachi, cosecha abril-mayo 2005, procedentes del Valle del Yaqui y costa de Hermosillo. Los resultados de esta investigación indicaron para harinas comerciales considerando la fuerza de las masas son aptas para la elaboración de tortillas. En las harinas nativas las de la variedad Rayón presentó, valores mayores de proteína, gluten, fuerza de panificación y volumen de pan.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Los cereales son frutos de plantas herbáceas, cultivadas, monocotiledones de la familia gramíneas. Durante miles de años la cosecha de los cereales ha sido de gran importancia en la alimentación humana, como principal fuente de energía. El trigo (*Triticum*) es desde la prehistoria, el más importante de los cereales; debido a su adaptación a todo tipo de terreno y a diferentes climas (Quaglia, 1991; Rosado *et al.*, 1999). El trigo ha evolucionado y desarrollado en parte por la naturaleza y por la manipulación de formas primitivas hasta las nuevas especies cultivadas (Peña, 2002).

El trigo panadero *triticum aestivum* y el trigo duro *triticum durum* con el que se fabrican las pastas, difieren en estructura genética, composición y atributos de calidad en el producto final. El trigo utilizado para la elaboración de pan provee más nutrientes al mundo que cualquier otra fuente de alimentos. El pan es una fuente importante de carbohidratos, proteínas y vitaminas del complejo B y E (Peña, 2002).

La calidad del trigo es definida por varios parámetros, como el proceso de molienda, peso, proteína, humedad, gluten, actividad enzimática y propiedades reológicas (Miralbes, 2003).

La harina es el producto obtenido de la molienda del endospermo del grano de trigo limpio. La composición media de las harinas panificables oscilan entre los siguientes valores: humedad 13-15%, proteínas 9-14%, almidón 68-72%, cenizas 0.5-0.65%, materias grasas 1-2%, azúcares fermentables 1-2%, materias celulósicas 3%, enzimas hidrolíticas: amilasas, proteasas y vitaminas: B, PP y E (Mesas y Alegre, 2002).

La elaboración de productos a base de harina de trigo como galletas, tortillas y pan requieren la preparación de la masa obtenida a través de la formación de la red de gluten de trigo (Cuq *et al.*, 2000).

La glutenina y gliadina son las principales proteínas del trigo que contribuyen significativamente en la reología de la masa y la calidad del horneado (Eagles y Pañoso, 2000). Estas en conjunto reciben el nombre de gluten, debido a su capacidad para aglutinarse, cuando se les mezcla con agua forman una red o malla, propiedad que poseen las proteínas del trigo lo que hace panificable a las harinas y proporciona características plásticas a la masa del pan (Mesas y Alegre, 2002). Los tres ingredientes esenciales de la masa son harina, aire y agua (Gil *et al.*, 1997).

Las características cualitativas del gluten, tales como viscosidad, elasticidad y extensibilidad, son generalmente investigadas con equipos reológicos (Perego *et al.*, 2002). El complejo gluten tiene propiedades elásticas y de esponjamiento de gran valor para la fabricación de pan y otros productos (Kent, 1987). El gluten retiene el gas y el vapor en el horneado, lo cual es importante para la calidad tecnológica del trigo y la harina. Existen diversas metodologías para analizar las propiedades reológicas de las harinas como el alveógrafo, farinógrafo, extensógrafo y mixógrafo (Skrabanja *et al.*, 2000; Atwell, 2003).

El alveógrafo permite diferenciar las masas de los distintos tipos de harinas como, masas de mucha tenacidad (harinas de mucha fuerza) impiden un buen levantado de la masa por lo que se destinan a la elaboración de pastas extrusionadas. Masas equilibradas que desarrollan bien durante la fermentación y cocción destinadas a panificación. Masas de poca fuerza (harinas flojas) que no aguantan bien la presión del CO₂ durante la fermentación

y cocción y se destinan a la elaboración de magdalenas, galletas y productos similares o bien a mezclas con harinas de mucha fuerza (Mesas y Alegre, 2002)

1.2 Planteamiento del problema

El Valle del yaqui es una región agrícola predominantemente triguera y la industria molinera se encarga de su procesamiento. El trigo es un cereal capaz de adaptarse a todo tipo de terreno, su calidad depende de varios factores como el suelo, fertilización, temperatura y humedad, influyendo en la composición de la harina de trigo. Existen diferentes variedades de trigo de los cuales se obtienen harinas para muy diversos productos. La industria molinera recibe trigos de diversas variedades provenientes de diferentes zonas de cultivo, por lo que se desea conocer su composición proximal y características reológicas de harinas de trigo comercial de Cd. Obregón que permitan identificar el comportamiento de cada tipo de harina. Asimismo evaluar las características de harinas de trigos cultivados en el Valle del Yaqui y la costa de Hermosillo. Estos trigos se transforman en harinas las cuales serán evaluadas con ensayos alveográficos, composición proximal y pruebas de panificación que nos proporcione información acerca de la calidad del producto final.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar harinas de trigo comerciales y nativas mediante el análisis proximal, caracterización alveográfica y pruebas de panificación para valorar su calidad y establecer sus posibles aplicaciones.

1.3.2 Objetivos específicos

- Calcular la composición proximal mediante el análisis de humedad, cenizas y proteínas.
- Determinar la caracterización física de la harina mediante la evaluación de color y tamaño de partícula.

- Realizar un análisis alveográfico para obtener los valores de tenacidad (P), elasticidad (L) y fuerza de panificación (W).
- Valorar el daño de almidón a través de un análisis enzimático.
- Examinar la calidad del pan en base a su volumen específico.

1.4 Justificación

La calidad del grano de trigo depende de numerosos factores. Entre los factores más importantes se encuentra el terreno, fertilización, temperatura y estado higrométrico de la zona y cultivos anteriores. Es importante conocer las características del grano y harina para obtener un producto final de buena calidad.

El principal objetivo de la evaluación alveográfica es medir las propiedades reológicas de la masa, es decir, su resistencia al estiramiento durante el proceso de amasado. En el alveógrafo la masa es inflada con aire, simulando la deformación que sufre como consecuencia del proceso de fermentación. Por otra parte, las pruebas de panificación permiten conocer el comportamiento de la masa durante el proceso de fermentación, cocción y en el producto terminado, mientras, el análisis proximal nos proporciona información del contenido de humedad, cenizas y proteínas de la harina.

Las industrias dedicadas a la elaboración de productos de panificación deben tener conocimiento de las características de la harina de trigo, y verificar que cumpla con los requisitos necesarios para obtener pan, tortillas o galletas de óptima calidad. Por lo anterior, es importante realizar pruebas alveográficas, pruebas de panificación y análisis proximal a las harinas de trigo que nos permitan observar su comportamientos.

Se pretende realizar por una parte un estudio donde se compare el comportamiento alveográfico y análisis proximal de diferentes harinas comerciales y un estudio reológico mediante análisis alveográfico de diferentes harinas de trigos del Valle del Yaqui y costa de Hermosillo, análisis proximal y pruebas de panificación. Los datos que se obtengan beneficiaran a la industria molinera brindándole una opción para clasificar sus harinas dando un mejor uso y obtención de productos de calidad.

1.5 Hipótesis

Existen diferencias en el comportamiento reológico y composición proximal de las harinas de trigo comercial y nativas.

II. FUNDAMENTACIÓN

2.1 Harina de trigo

Se ha definido la harina de trigo como el producto preparado a partir de trigo común mediante procesos de trituración o molturación mediante, los cuales se eliminan parcialmente el germen, salvado, y el resto es reducido a un grado de finura adecuado (Kent, 1987).

Las propiedades funcionales de la harina de trigo están influenciadas por su genética y factores ambientales. Las propiedades funcionales del genotipo de trigo son medidas y correlacionadas con los aspectos específicos de la composición de la proteína. Las propiedades también son afectadas por los factores del medio ambiente, disponibilidad de nutrientes del suelo (nitrógeno y sulfuro) y condiciones climáticas durante el crecimiento (MacRitchie y Lafiandra, 1997; Cocchi *et al.*, 2005).

La composición química de la harina depende del grado de extracción y conforme aumenta éste, disminuye la proporción de almidón y aumentan las cantidades de constituyentes procedentes del salvado. La harina obtenida con rendimientos de molienda más elevado, presenta un más alto contenido de proteínas, lípidos, calcio, fósforo, hierro, vitaminas B₁, B₂ y una menor proporción en glúcidos y calorías (Quaglia, 1991; Belitz y Grosch, 1997).

La harina, es materia prima esencial en la elaboración del pan, debe ajustarse a ciertos parámetros de calidad para que sea adecuada en panificación. Entre estos parámetros destaca la fuerza de la masa elaborada con esa harina (fuerza de la harina) la cual depende de la cantidad y calidad del gluten, determinados con el alveógrafo Chopin (Mesas y Alegre, 2002).

Una harina de buena calidad es la adecuada para el panadero que la use. Esto implica que la harina ha de tener una tolerancia amplia para poder ser utilizada por miles de panaderos diferentes con condiciones climáticas distintas y bajo condiciones tecnológicas muy diversas (Garrido *et al.*, 2002).

2.1.1 Estructura y composición del trigo

Los cereales destacan entre las demás gramíneas por la formación de frutos relativamente grandes, llamada cariósipide, donde las cubiertas están soldadas a las semillas. El grano de trigo mide 8 mm de longitud y pesa casi 35 mg, la longitud varía dependiendo del cultivo y localización del grano en la espiga, las cubiertas de los frutos y semillas envuelven el tejido nutritivo, endospermo y germen del grano (Belitz y Grosch, 1997).

El endospermo está formado por un endospermo amiláceo 70-80% del grano y la capa de aleurona, rica en proteínas de almacenamiento (prolaminas) (Shewry y Halford, 2002), contiene grandes cantidades de grasa, enzimas y vitaminas. El embrión o germen se une al endospermo a través del escutelo. El germen es rico en enzimas, vitamina del complejo B y lípidos (Belitz y Grosch, 1997; Hosenev, 1992).

De los tres elementos principales que componen al grano (figura 1), el endospermo es el centro blanco o amarillento, el germen el diminuto embrión y las capas exteriores, generalmente de color pardo o rojizo el salvado o afrecho. El endospermo es el más adecuado para el consumo humano, debido a que es digerido fácilmente, posee un alto valor vigorizante y produce harinas que se conservan por largo tiempo. El salvado solamente es adecuado para alimentar ganado, comprende el pericarpio y cubierta de la semilla. Para la mayoría de sus empleos alimenticios, se eliminan las cascarillas y el salvado

que, en su mayor parte, son indigestibles para el hombre y también el germen, muy rico en aceite y enzimáticamente activo, bajo determinadas condiciones, producen rancidez en el grano si son conservadas demasiado tiempo, también arruinan el color y cualidades de panificación, el embrión a sido excluido hasta ahora de las harinas excepto en ciertas marcas, donde el germen es sometido a procesos especiales. Por lo tanto, el componente que se aprovecha básicamente es el endospermo, constituido por almidón y proteína (Richardson, 1982; Duncan, 1989; Potter y Hotchkiss, 1999).

La composición química del trigo es muy variable, dependiendo del medio ambiente, suelo y variedad. Los cereales en general son importantes proveedores de proteínas. La cantidad de proteína en trigo va de un 7 a 22%, el salvado y germen contienen más proteínas que el endospermo, también es buena fuente de aminoácidos esenciales, lípidos y minerales que varían considerablemente en la mayoría de los cereales, los lípidos en el trigo se encuentran en el germen y los minerales en la cáscara, principalmente en la aleurona. Estas partes son removidas durante los principales procesos del trigo (Santos, 1980).

Estas partes son removidas en los principales procesos del trigo. De la parte comestible de los cereales el 70% esta constituido por carbohidratos. Igualmente el contenido de vitaminas en los cereales es muy variado, durante los procesos estos son reducidos considerablemente (Santos, 1980). El endospermo del trigo debido a su alto contenido de carbohidratos solubles, provee una proporción grande de los requerimientos caloríficos y energéticos de la raza humana en muchos de los países del mundo (Richardson, 1982).

La calidad del trigo deriva principalmente de dos características correlacionadas: dureza del grano y contenido proteínico. La dureza del grano y contenido proteico son rasgos hereditarios que pueden ser afectada fuertemente por condiciones ambientales anormales tales como precipitación excesiva durante el período de la cosecha, humedad y disponibilidad de nitrógeno del suelo durante la estación de crecimiento. Además, cada uso final requiere una calidad específica en la proteína. La calidad es determinada por la estructura molecular de las proteínas principales de la harina que, alternadamente, controla las interacciones de las proteínas durante el proceso de la fabricación del pan (Bushuk, 1998).

El trigo durum tiene la textura más dura del grano y es generalmente alto en contenido proteínico, satisface especialmente la producción de pastas debido a su grano altamente

vítreo (alta producción de sémola). El trigo panadero común cubre una amplia gama de la dureza del grano y del contenido proteínico. El trigo más duro de esta clase, generalmente más alto en proteína, se utiliza para el pan de caja. El trigo común de dureza media y de un contenido proteínico más bajo se utiliza para otros tipos de pan y tallarines. El trigo con la textura más suave y proteína más baja se utiliza para pasteles y galletas. En algunos usos, como tallarines tipo chino, la calidad del almidón es importante junto con la calidad de la proteína (Bushuk, 1998).

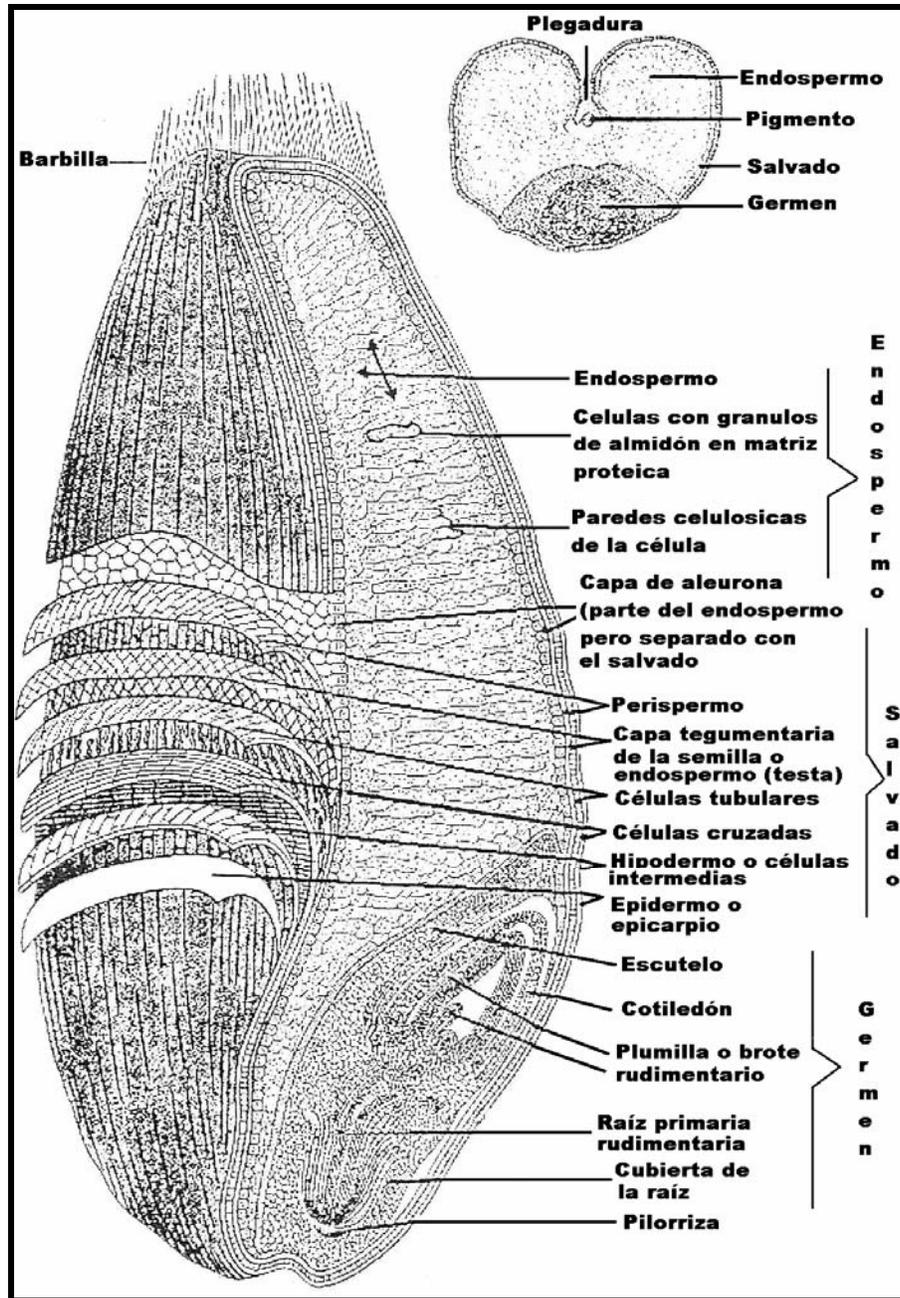
2.1.2 Variedades de trigo Tarachi y Rayón

Tarachi F2000 es una variedad de trigo harinero (*Triticum aestivum L. em. Thell.*) de hábito de crecimiento primaveral, se origina de la cruce de las variedades Seri/Rayón.

Tarachi F 2000 produce un grano que al 12% de humedad contiene un promedio de 12% de proteína que varía entre 11 y 13.2 %. En promedio, produce un gluten fuerte que varía desde el límite superior para un medio-fuerte balanceado hasta fuerte balanceado, apto para la producción mecanizada de pan con un volumen promedio de 936 cm³ que varía desde los 878 a los 963 cm³ (tabla 1) . Comparado con Rayón F89 el menor valor de la relación tenacidad / extensibilidad en Tarachi F2000, muestra que su gluten tiene un menor balance, lo cual puede relacionarse al mayor volumen de pan por gramo de proteína que se produce en esta variedad (Camacho-Casas *et al.*, 2001).

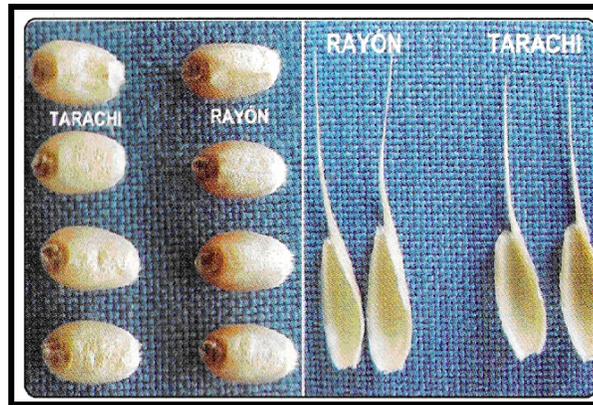
Rayón F89 (*Triticum aestivum L. cultivar*), es un trigo harinero de gluten fuerte, con 10.5 % de proteína, adecuado para panificación y mejorador de trigos suaves (www.sagarpa.gob.mx/pronase/productos/trigo2.html).

Pocas son las diferencias notorias entre Tarachi y Rayón. El color de grano es blanco en Tarachi y rojo en Rayón; la longitud de la barba de las glumas son más cortas en Tarachi (figura 2).



Fuente: Potter y Hotchkiss, 1999.

Figura 1. Estructura de la carióspside del trigo



Fuente: Camacho-Casas *et al.*, 2001

Figura 2. Diferencias morfológicas entre los trigos Tarachi y Rayón

2.1.3 Molienda del trigo

El propósito fundamental en la molienda del trigo es convertir el grano en harinas que harán frente a las variadas necesidades del consumidor, panadero, ama de casa, pastelero, fabricante de galletas y fabricante de pastas. Al mismo tiempo los sub-productos deben satisfacer al consumidor de forrajes tanto en forma física, valores alimenticios, digestibilidad y buen sabor de acuerdo a los animales a alimentar (Richardson, 1982).

En la actualidad la pulverización de la harina es un trabajo totalmente mecanizado que desmenuza el grano según su tamaño y composición.

Todo el proceso de molienda está dedicado a abrir cada grano de trigo, raspar el endospermo y remover del mismo las partículas de salvado en la forma más completa posible y moler el endospermo prácticamente puro, convirtiéndolo en harinas, los productos son cernidos para remover cualquier partícula de endospermo y extraer las partículas de germen y salvado (Richardson, 1982).

Tabla 1. Características de la calidad industrial de Tarachi y Rayón evaluadas en el Valle del Yaqui. Promedio de los ciclos 1998-99 y 1999-2000.

Características	TARACHI	RAYÓN
	F2000	F89
Peso específico (kg/hl)		
Mínimo	78.5	78.9
Promedio	81.0	80.9
Máximo	83.2	83.0
Proteína en grano (%)		
Mínimo	11.0	12.0
Promedio	12.0	13.0
Máximo	13.2	14.0
Fuerza general (W)		
Mínimo	259	291
Promedio	319	332
Máximo	375	384
Elasticidad (tenacidad/extensibilidad)		
Mínimo	3.2	3.5
Promedio	3.6	3.9
Máximo	3.8	4.5
Volumen de pan (cm³)		
Mínimo	878	828
Promedio	936	868
Máximo	963	913

Fuente: Camacho-Casas *et al.*, 2001

Durante la molienda del trigo se obtiene la harina, generalmente con un 72% de extracción y 28% de cascarilla y germen. La mayor parte de las vitaminas y minerales en los cereales se encuentra en esta segunda porción de los granos (Rosado *et al.*, 1999).

La micromolienda o molienda experimental para obtener harina o semolina de trigo. Son pruebas realizadas con el objetivo de obtener harina o semolina refinada similar a la comercial que posteriormente se utilizan para efectuar pruebas de calidad. Existen micromolinos experimentales que pueden procesar desde 80 g hasta 2 kilos de trigo. Estos equipos están diseñados para moler al grano acondicionado con rodillos corrugados y lisos para posteriormente separar a la harina o semolina con cribas de los otros subproductos. Los micromolinos más empleados son el Quadrumat Jr. (Brabender) capaz de procesar muestras de 50-100 g, Quadrumat Sr. (Brabender) para moler muestras de 1 kilo o más y equipos más grandes como el molino semiautomático experimental Buhler (Serna, 1996).

La capacidad de rendimiento de molienda del grano de trigo está afectada por el contenido de humedad, forma, tamaño del grano, espesor de la corteza, adhesión de la corteza o cáscara al endospermo, contenido del germen y porcentaje de impurezas (Richardson, 1982).

El tamaño de partícula y color de la harina se evalúan por análisis sensorial, el color depende de la ceniza del pericarpio, sistema de molienda, y utilización de agentes blanqueadores, éstos cambian el color de la harina, oxidando los pigmentos carotenoides en el endospermo y cambian la materia colorante del salvado. Las harinas con cuerpo proceden de variedades de trigo duro rico en gluten. Se diferencian de las harinas blandas en que absorben lentamente el agua dando lugar a masas secas (Belitz y Grosch, 1997).

Etapas del proceso de molienda:

- **Limpieza:** Las impurezas que se adhieren al grano, piedras, paja, barro, pelos, polvo, semillas distintas al trigo y otras materias extrañas se eliminan con un lavado o mediante la limpieza en seco. Esta fase se basa en el tamaño del grano y gravedad específica (Scade, 1981; Kent, 1987; Belitz y Grosch, 1997).
- **Acondicionamiento:** Mejora el estado físico del grano para su molienda y a veces la calidad panadera de la harina fabricada. El acondicionamiento implica un ajuste del contenido de humedad del trigo, sin este proceso el salvado se rompería en

pequeñas partículas durante la molienda y su separación de la harina blanca sería casi imposible (Richardson, 1982), el grano humedecido se deja reposar por unas horas tiempo en que absorbe el agua, los trigos duros se acondicionan por 12-24 horas para contener 16.5% de humedad (Serna, 1996).

- **Molienda:** El grano se muele gradualmente en un molino de rodillos. La sucesión de pasos de trituración se agrupan en tres sistemas, rotura o trituración, descartes o raspado y reducción (Scade, 1981; Kent, 1987). El propósito de la molienda es primeramente quebrar el grano en pedazos grandes para obtener salvado libre de endospermo. Después el endospermo es reducido hasta obtener una harina (Serna, 1996), la molienda se realiza con dos tipos de rodillos los trituradores o de quiebra y los moledores o de reducción de partícula (Serna, 1996; Scade, 1981).

2.1.4 Parámetros de calidad de harina de trigo

La calidad del trigo está definida por varios parámetros, incluyendo rendimiento de molienda, peso, proteína, humedad, gluten, actividad enzimática, propiedades reológicas y ensayos de horneado para la determinación de la fabricación del pan (Miralbes, 2003). Los cereales desde su cosecha hasta llegar a la boca del consumidor son sujetos a medidas de calidad. El control de calidad en las industrias molineras y procesadoras de harina es importante por que están vinculados con las características y rendimiento de productos intermedios y terminados (Serna, 1996). Los principales minerales que forman las sales minerales son calcio, magnesio, sodio y potasio (Richardson, 1992).

A fin de obtener productos de calidad es necesario utilizar una harina con propiedades de panadería óptimas. El éxito en la elaboración de productos de panificación es la harina y sus características, determinadas por la calidad del trigo, variedad, condiciones de cultivo (clima, localización), y posteriormente por las condiciones de almacenamiento. La calidad de la harina puede ser afectada por el procesamiento del grano, resultando con una pobre calidad nutritiva y de horneado (Belitz y Grosch, 1997; Calucci *et al.*, 2004; Miralbes, 2003).

2.1.4.1 Análisis proximal

La eficiencia de los procesos de molienda generalmente se evalúa mediante la determinación de humedad, cenizas, grasa y color de los productos refinados (Serna, 1996).

- **Humedad**

El porcentaje de humedad de los productos de molienda es importante desde el punto de vista de comercialización y vida útil (Serna, 1996). La humedad influye en la producción y calidad del producto final del trigo (Guttierie *et al.*, 2001). Del agua contenida en un alimento dependen las propiedades reológicas y textura. También es responsable de las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas, que son las tres principales causas de deterioro de un producto (Badui, 1999). El límite máximo de humedad sugerido en la harina es de 15% (NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-147-SSA1-1996).

- **Cenizas**

Es el ensayo más practicado para ver la eficiencia y calidad del proceso de molienda es la determinación de cenizas (Williams, 1997). El grado de refinación esta inversamente relacionado con su contenido. Esto es debido a que el salvado tiene aproximadamente 20 veces más cantidad de cenizas que el endospermo (Serna, 1996), por ello una harina con mucho salvado tiene más cenizas (Duncan, 1989). Cuanto más bajo sea el contenido de cenizas, más alta será la calidad de la harina (Ricardson, 1982; Serna, 1996).

- **Proteínas**

Existen diversos criterios para la clasificación de las proteínas del trigo, estas se basan en su solubilidad (1) en base a su similitud química y genética, (2) a su funcionalidad divididas en dos clases proteínas monoméricas y poliméricas, dependiendo si consisten en cadenas simples o múltiples de polipéptidos(MacRitchie y Lafiandra, 1997).

La clasificación basada en la extracción con diferencial de solubilidad de las proteínas del trigo se encuentra en cuatro grupos diferentes. Albúmina soluble en agua y buffer diluido, globulinas en soluciones diluidas de sal, gliadinas o prolaminas en solución acuosa de alcohol 70-90% y glutelinas en diluciones ácido o álcali (Goesaert *et al.*, 2005; Gianibelli, *et al.*, 2001; Shewry y Halford, 2002; Hosenev, 1992).

Las proteínas monoméricas son cadena simple de polipéptidos, gliadinas son proteínas fuertes, se dividen en α , β , γ , y ω gliadinas su peso molecular en daltons va de 30,000 a 80,000, ω gliadinas (70,000-80,000) y albúminas/ globulinas son metabolitos e incluye varias enzimas, son una mezcla de componentes de bajo peso molecular 20,000-30,000 dalton, tiene alto contenido en el aminoácido esencial lisina (MacRitchie y Lafiandra, 1997).

Las proteínas poliméricas son cadenas múltiples de polipéptidos glutelinas consiste en grandes moléculas heterogéneas construida con diferentes subunidades conectadas por enlaces disulfuro, se subdividen en moléculas de alto (80,000-120,000 dalton) y bajo (30,000-55,000 dalton) peso molecular, albúminas de alto peso molecular, son principalmente β -amilasas y triticins son proteínas tipo globulinas (MacRitchie y Lafiandra, 1997; Shewry y Halford, 2002; Lookhartt *et al.*, 1993).

La clasificación de las proteínas monoméricas y poliméricas son un buen indicador de las propiedades funcionales de la masa (Gianibelli *et al.*, 2001). Otra clasificación de las proteínas del trigo es como proteínas que no forman gluten, extraíbles con solución salina corresponden albúmina y globulina y formadoras de gluten monoméricas gliadinas y poliméricas glutelinas (Goesaert *et al.*, 2005).

La proteína es el compuesto que más afecta la funcionalidad y calidad de los productos de trigo. Esto es debido a que importantes factores como son absorción de agua, tiempo de amasado y estabilidad están en función de la cantidad y calidad de la proteína (Serna, 1996). Las propiedades del gluten hidratado o masa de harina de trigo dependen de 2 principales tipos de proteínas, la gliadina y glutenina. La gliadina hidratada presenta plasticidad y glutenina las propiedades de fuerza y elasticidad (Southan y MacRitchie, 1999).

La calidad en la elaboración del pan de harina de trigo es en gran parte determinada por sus proteínas. Tanto la cantidad como la calidad de las proteínas del gluten sufren varios

cambios durante las diferentes etapas de proceso de elaboración de pan (Goesaert *et al.*, 2005). La relación entre la calidad de proteínas de harina, cantidad y calidad de producto final son diferentes para tortilla y pan. Sin embargo, el tipo, proporción, cantidad de proteínas y almidón dañado en la harina de trigo, influye fuertemente en el manejo de la masa y características del pan y la tortilla. Waniska *et al.*, 2004, en su trabajo muestra para tortillas la importancia de la proteína y almidón dañado en el proceso de molienda, un contenido intermedio de proteína (10-12%) y bajos niveles de almidón dañado es más adecuado para la elaboración de tortillas.

- **Contenido de gluten**

El gluten es la proteína natural del endospermo de trigo, proporciona estructura, elasticidad y esponjamiento a la masa, retiene gas y vapor en el horneado y es crítico para la calidad tecnológica de la harina de trigo (Skrabanja *et al.*, 2000).

La funcionalidad del trigo es impartida principalmente por el gluten (Serna, 1996), la fracción de proteína del gluten forma una red continua en el desarrollo de la masa y es responsable de las propiedades viscoelásticas y calidad en la elaboración del pan, tanto el contenido y calidad de la proteína son importantes. El contenido de la proteína es fuertemente influenciado por el medio ambiente, aplicación de fertilizantes, donde la composición del gluten es determinada principalmente por el genotipo (Lookhhart *et al.*, 1993; MacRitchie y Lafiandra, 1997).

Existen varias técnicas para extraer y cuantificar al gluten. Cuando una harina de trigo forma una masa y es lavada en agua o agua salina se pierde el almidón y proteínas solubles (albúmina y globulinas), quedando un residuo húmedo con propiedades elásticas y cohesivas llamado gluten vital (principalmente, glutelinas y prolaminas) que es secado en un horno para determinar la cantidad de gluten seco. El rendimiento esta relacionado con el contenido de proteínas dado que aproximadamente el 80% del gluten deshidratado es proteína (Serna, 1996).

El gluten húmedo se obtiene después de procedimiento de lavado y la cantidad de este es un indicador de su cantidad y calidad. El gluten de buena calidad liga más agua que el gluten de mala calidad (Atwell, 2003), cuanto mayor sea el gluten más agua podrá absorber y así,

más grande será la diferencia entre los pesos del gluten mojado y gluten seco (Richardson, 1982).

- **Lípidos**

Los lípidos contenidos en el grano de trigo se encuentran principalmente en el germen. Cuanta mayor cantidad de germen hay en la harina mayor cantidad de grasa contiene. Esta grasa tiende a enranciarse durante el almacenamiento (Scade, 1981).

Los lípidos en la harina de trigo provienen de membranas como organelos, esferosomas y comprende diferentes estructuras químicas. Los lípidos se clasifican en lípidos ligados al almidón y lípidos no ligados al almidón (Goesaert *et al.*, 2005).

La harina de trigo contiene 1.5-2.5% de lípidos, dependiendo del índice de extracción de la harina. Las propiedades reológicas de la masa se ven afectadas por los lípidos que no están ligados al almidón (Belitz y Grosch, 1997).

2.1.4.2 Propiedades físicas

- **Color**

La apariencia superficial y color de los alimentos son el primer parámetro de la calidad evaluada por los consumidores, y es un factor crítico para la aceptación del alimento por los consumidores (León *et al.*, 2006).

La evaluación de color de harina y de otros productos de molienda es importante ya que está relacionada con la calidad de los productos terminados, eficiencia del proceso de molienda (Williams, 1997), grado de refinación o extracción y como medida de control de calidad para harinas blanqueadas (Serna, 1996) y la clase de trigo (Scade, 1981).

Los valores triestímulo X, Y, Z son la base de la teoría actual del color. Este concepto proviene de la teoría según la cual se tiene la percepción del color a partir de tres componentes primarios (rojo, verde, azul) y todos los colores pueden obtenerse con una

mezcla distinta de estos tres primarios. También se utilizan otros espacios de color: por ejemplo, el espacio $L^*a^*b^*$ (escala CIELAB), la escala más usada para medir el color en los alimentos debido a la distribución uniforme del color (León *et al.*, 2006). En este espacio, al aumentar a^* , hace pasar del verde (valores negativos) al rojo (valores positivos), mientras que al aumentar b^* , pasa del azul (valores negativos) al amarillo (valores positivos) estos dos componentes cromáticos con rango de -120 a 120. L^* representa entonces la claridad (Roudot, 2004; Ramírez-Jiménez *et al.*, 2000), con un rango de 0 a 100 (León *et al.*, 2006).

La blancura de la harina es determinada por factores independientes: brillantes y amarillees. La brillantez es influenciada grandemente por el proceso de molienda, por el tamaño de partícula y por los efectos de inclusión del salvado. Mientras que la amarillees es debida principalmente a los pigmentos caratenoides del trigo (Olivier *et al.*, 1993).

Según Olliver *et al.*, 1993, las diferencias en los tamaños de partícula influyen en los resultados. Las diferencias en el parámetro del espacio de color CIELAB, fueron relacionados con el contenido de cenizas de la harina y los pigmentos amarillos contenidos en la harina. L^* fue correlacionada con contenido de ceniza en la harina.

- **Dureza del grano**

Existen diversas pruebas para estimar la dureza del grano. Las pruebas más populares consisten en someter un lote de grano a la acción abrasiva de un decortificador por un tiempo predeterminado o someterlo a un abuso mecánico por impacto. Los granos más suaves perderán más material o se quebrarán en partículas más pequeñas durante la acción mecánica del decorticado o impacto. Existen algunas pruebas indirectas (principalmente usadas para trigos), en las cuales el trigo se somete a un proceso fijo de molienda. La granulometría de la harina resultante está inversamente relacionada con la dureza del grano. Entre más fino sea el tamaño de la partícula del producto molido más suave será la textura del grano (Serna, 1996).

La granulación puede determinarse por el análisis tamizador y por sedimentación, proporcionan indicios de los porcentajes de partículas con diferentes tamaños, contenidas en una harina (Richardson, 1982).

- **Pruebas para almidón**

El almidón nativo es el principal componente del grano de trigo (70-75 % peso seco), muestra poca influencia en las propiedades funcionales de la harina de trigo usada en pan, galleta y pastel. Se ha visto que en el proceso de molienda, a medida que se fracciona y tritura el endospermo, se lesiona físicamente algunos granos de almidón y el nivel de daño del almidón varía con la severidad de la molienda y dureza del trigo. Esto tiene un efecto sobre el poder de absorción de agua de la harina al hacer la masa y la degradación enzimática del almidón que genera la maltosa, que incrementa con el daño del almidón (Duncan, 1989; Van Der Borghet *et al.*, 2005; Tester *et al.*, 2006).

El almidón dañado (mecánicamente durante la molienda), expone sus componentes (amilosa y amilopectina), interactuando con otros constituyentes en la formulación del pan, influyendo en la absorción del agua y tiempo requerido en la fermentación de las masas, así como en el envejecimiento y textura de la miga del pan (Peña, 2002).

Para estimar la cantidad de almidón dañado, la técnica consiste en ver la susceptibilidad que tiene el almidón dañado al ataque con alfa amilasa ya que son amorfos solubles e hidrolizados por la enzima (Serna, 1996) y los gránulos de almidón nativo son semicristalinos insolubles e inaccesibles por la enzima (Hoseney, 1992; Tester *et al.*, 2006).

2.1.4.3 Ensayos de panificación

En los ensayos de panificación los factores de calidad que se evalúan son:

- **Volumen del pan**

Cuando se permite que la masa fermente hasta el punto en que se puede producir un pan con el mayor tamaño posible, el volumen del pan, sí se han usado cantidades uniformes de

harina, levadura, sal y azúcar, puede ser considerada como una expresión de fuerza relativa de la harina (Richardson, 1982).

- **Peso del pan**

Luego de haber sido enfriado a la temperatura normal, los panes son pesados y expresados en gramos. El peso significa un valor para calcular el número de unidades que pueden ser producidas desde una cantidad determinada de harina (Richardson, 1982).

- **Color de la miga**

La comprobación del color y textura es generalmente efectuada al día siguiente de haberse completado la panificación duplicada, los panes ya se han enfriado lo bastante para no perjudicar su textura al cortarlos. Los panes son alineados, determinándose sus respectivos valores de color al compararlos con la muestra de pan típica, el color de la cual se determina arbitrariamente. También se nota y registra la apariencia del pan y tinte de la miga, así sea crema, ligeramente cremoso, crema grisáceo o gris (Richardson, 1982).

- **Textura de la miga**

El método usado para determinar la textura es similar al del color. Se proporciona un valor arbitrario a la textura de la muestra típica y los demás panes obtienen marcas comparativas (Richardson, 1982), los términos textura y grano de la miga se utilizan alternativamente para describir la estructura celular de la miga en una superficie del corte cuando el pan se rebana, el término textura se usa para describir la uniformidad y distribución del tamaño de las células (Scanlon y Zghal, 2001).

2.1.4.4 Evaluación de tortilla

Las propiedades de la masa de tortillas evaluadas son suavidad, blandura y firmeza se determinan las propiedades de mezclado, absorción de agua, textura y elasticidad (Pascut *et al.*, 2004, Waniska *et al.*, 2004).

La evaluación de la tortilla después de procesada consiste en pesarse, medir el diámetro, altura, textura, extensibilidad, humedad, pH, opacidad y rollabilidad (Pascut *et al.*, 2004) durante el almacenamiento, la estabilidad es definida por el número de días que la tortilla puede ser enrollada sin quebrarse (Waniska *et al.*, 2004).

La tortilla de harina elaborada en casa es comúnmente consumida el mismo día por lo que su vida de anaquel es corta. Tortillas de harina producidas comercialmente pueden durar en buen estado en refrigeración. La vida de anaquel puede mejorarse por la adición de emulsificantes a la fórmula (Peña, 1998).

2.1.5 Productos de panificación

El pan es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo con agua como ingrediente fundamental (Quaglia, 1991), sal, levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) (Kent, 1987; Goesaert *et al.*, 2005; Mesas y Alegre, 2002; Scade, 1981) y otros ingredientes como grasa, leche, azúcar, huevos (Belitz y Grosch, 1997) y aditivos (Don *et al.*, 2003) y constituye la base de la alimentación desde hace 7000 u 8000 años (Mesas y Alegre, 2002). La harina de trigo es el ingrediente más importante en los productos alimenticios horneados (Calucci *et al.*, 2004).

Durante las etapas de elaboración de pan, ocurren complejas transformaciones químicas, bioquímicas y físicas que afectan varios constituyentes de la harina. Además, muchas sustancias son usadas hoy en día para influir en las características estructurales y fisicoquímicas o en los constituyentes de la harina para optimizar su funcionalidad en la elaboración del pan (Goesaert *et al.*, 2005).

Las mejores harinas panaderas contienen un alto contenido proteico que se traduce en un gluten fuerte, con alta absorción de agua, mayor volumen y mejor textura del pan (Serna, 1996).

Para hacer pan con harina de trigo se necesitan tres requisitos: la formación de la estructura del gluten, el esponjamiento de la mezcla por la incorporación de un gas (Dobraszczyk,

2004) y la coagulación del material calentando en el horno para que se establezca la estructura de la materia. La ventaja es obtener una miga esponjosa, finamente vesiculada en el producto terminado, de fácil masticación (Kent, 1987).

Correspondiendo a estos requisitos, hay tres etapas en la fabricación del pan: mezcla y amasado, esponjamiento de la masa o fermentación, y cocción en el horno (Kent, 1987; Ramírez – Jiménez *et al.*, 2000).

- **Mezcla y amasado**

El objetivo es lograr una mezcla homogénea de los ingredientes y aditivos, para desarrollar la matriz de gluten de la masa (Pedersen *et al.*, 2004), sus propiedades reológicas (Manohar y Rao, 1999), oxigenación y plastificación (Autio y Laurikainen, 1997; Belitz y Grosch, 1997) por medio del trabajo físico del amasado (Mesas y Alegre, 2002). El almidón y las proteínas son distribuidos de manera desigual. Las proteínas son compactadas y estiradas en la masa. Un excesivo amasado puede causar daño en la red de gluten (Autio y Laurikainen, 1997).

Etapas del amasado: hidratación es la dispersión homogénea de los ingredientes. La gran cantidad de agua añadida a la harina es absorbida por los polímeros de la harina. La mayoría del agua es absorbida por los grupos hidrofílicos de las moléculas de las proteínas. Desarrollo de las proteínas del gluten cuando la masa es óptimamente desarrollada por el mezclado, las proteínas (forman un complejo con los lípidos y carbohidratos) de la masa viscoelástica encapsulan el aire, los gránulos de almidón y otros materiales pequeños como el salvado. El gluten desarrollado por el proceso de mezclado es vital para la estructura de la miga del pan. Obstrucción del aire, este aire surge en volumen del aire atrapado por la masa de la harina durante el proceso de mezclado, no se genera ningunas nuevas células del gas en operaciones subsecuentes a pesar de la acción de los agentes de la levadura (Scanlon y Zaghal, 2001).

- **Esponjamiento de la masa o fermentación**

La fermentación es una etapa crítica en el proceso de elaboración del pan, donde la expansión de las burbujas de aire previamente incorporadas durante mezclado provee las características de la estructura del pan (Dobraszczyk, 2006).

La levadura crece y la masa se expanda como resultado del exceso de presión del gas, la masa esponjada biológicamente pasa por varias etapas de fermentación, las levaduras transforman los azúcares en etanol, CO₂ y algunos productos secundarios (Mesas y Alegre, 2002), varía dependiendo de la harina, aditivos, concentración de levadura y temperatura del horno (Belitz y Grosch, 1997). Las propiedades de la retención de gas determinan el volumen y estructura de la corteza del pan (Goesaert *et al.*, 2005).

Cuando la levadura se agrega a la masa, el resultado de la extensión es absolutamente diferente, la levadura influye en las propiedades reológicas de la masa. La adición de la levadura a la masa causa que vaya de un flujo viscoso a uno elástico, como resultado de 3 horas de fermentación. La levadura tiene un efecto oxidante (Hoseney, 1992).

- **Cocción**

Su objetivo es la transformación de la masa fermentada en pan. Mediante la evaporación del etanol, parte del agua, coagulación de las proteínas, transformación del almidón en dextrinas, azúcares menores y pardeamiento de la corteza. La cocción se llevan a cabo en hornos entre 220 y 260 °C, el interior de la masa nunca llega a rebasar los 100 °C (Mesas y Alegre, 2002). El mayor cambio estructural durante el calentamiento de la masa son la expansión del gas en la primera etapa de horneado, gelatinización del almidón, desnaturalización de las proteínas (Ramírez-Jiménez *et al.*, 2000), fundición de los cristales de grasa, cambios que dependen de la temperatura, humedad y duración de la cocción (Autio y Laurikainen, 1997). Las reacciones químicas involucradas en el proceso son reacciones de Maillard y caramelización (Ramírez-Jiménez *et al.*, 2000).

2.1.6 Elaboración de tortilla

Se llama tortilla de harina de trigo, al producto sometido a cocción elaborado con harina de trigo, grasa o aceite comestible, leudante, sal comestible y aditivos para alimentos (Reglamento de control sanitario y servicios, 2006; ver <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/compi/rcspps..html..>)

La tortilla de harina es una capa simple de pan ácimo (sin levadura) comestible enrollada y que se rellena de vegetales y carne. Es consumida diariamente por los habitantes rurales y urbanos del norte de México (Peña, 1998).

La industria tortillera crece más rápidamente que la industria panadera. En los Estados Unidos, las ventas anuales de tortillas exceden las ventas de otras elaboradas artesanalmente y las de pan. El aumento de consumidores es debido a la calidad de la tortilla ligada altamente a su textura (Akdogan *et al.*, 2005).

Las tortillas de harina de buena calidad deben ser suaves, opacas, flexibles, sin crujir cuando se doblan, con color claro, con una vida de anaquel larga y estable (más de 2 semanas), atributos importantes en el mercado, para cumplir con estos son importantes el tipo de harina de trigo, contenido y calidad de proteínas (Waniska *et al.*, 2004; Peña, 1998).

Los parámetros importantes en la calidad de la tortilla son contenido de humedad, opacidad, diámetro y estabilidad de almacenamiento y son afectadas por las propiedades de la harina (Waniska *et al.*, 2004).

- **Proceso de elaboración**

Las tortillas de harina experimentan un proceso riguroso, debido a las variables de la formulación. Existen tres medios para la producción comercial: prensa caliente, extendida a mano y el método de corte. De estos métodos, el de prensa caliente se utiliza con más frecuencia, se producen tortillas automáticamente con calidad constante. El método de extendido a mano se extiende la masa en una lamina delgada y estira con una forma circular irregular, este método es artesanal y lento. En el proceso de cortado, la masa se extiende

para después ser cortada. Los desechos restantes se reintegran de nuevo para ser usados (Juttelstad, 1999).

- **Componentes de la tortilla**

Los ingredientes son básicos para la elaboración de tortillas de calidad adecuada. La formula de las tortillas es simple, consiste de harina de trigo (100%), grasa (12%), sal (1.5-2%) y agua (40%) aproximadamente. Su preparación exige el mezclado de todos los ingredientes

para formar una masa que se divide en piezas de 20 a 30 g cada una, se dejan reposar 10 a 15 minutos (para facilitar su procesamiento), entonces son extendidas o prensadas en discos de 12-15 cm de diámetro, son cocidas en una plancha caliente aproximadamente a 200 °C (Peña, 1998).

La harina debe tener un contenido proteínico de 9.5 a 11.5% base seca. Tortillas de harina producidas con menor contenido proteico se agrietan fácilmente y parten después de una noche de almacenado. Harinas con más de 11.5% requiere más tiempo de mezclado y tiempo de reposo antes de presionar y cocer (Juttelstad, 1999).

La grasa, en la forma de aceite (usado el método de corte), acorta y mejora la elaboración reduciendo la viscosidad de la masa, también ayudan a evitar el agrietarse cuando se dobla o enrolla la tortilla. La manteca de cerdo y grasas vegetales parcialmente hidrogenadas tienden hacer las tortillas duras (Juttelstad, 1999).

Los emulsificantes condicionan la masa haciéndola más fácil de manejar y mejoran la textura de acabado, calidad y ayudan a evitar que las tortillas se peguen entre sí en el paquete (Juttelstad, 1999). Los emulsificantes o agentes surfactantes tensoactivos, son sustancias grasas que poseen características lipofílicas e hidrofílicas. La tensión superficial entre dos fases normalmente inmiscibles es reducida por los emulsificantes; por lo tanto los dos líquidos pueden formar una emulsión (Stampfli y Nersten, 1995).

Agentes leudantes, proporcionan el inflado durante el proceso de cocción, produciendo una tortilla blanda, mejorando la consistencia de la masa, calidad de la tortilla y vida útil (Juttelstad, 1999).

Leche se puede agregar deshidratada, sin materia grasa, mejorando el color y sabor de la masa. Se recomienda un 0.75% de leche sólida (Juttelstad, 1999).

2.1.7 Aditivos en productos de harina de trigo

Los aditivos para alimentos son sustancias que se adicionan directamente a los alimentos y bebidas, durante su elaboración para proporcionar o intensificar aroma, color o sabor; mejorar su estabilidad y conservación, entre otras funciones (NOM-147-SSA1-1996).

Ciertas cualidades en la harina no son obtenidas directamente desde el grano de trigo, por lo que se emplea el uso de enzimas. Antes de plantear la adición de enzimas a la harina, hay que conocer muy bien las características de la harina a usar. También hay que tener amplio conocimiento de la acción que la enzima realizara en el proceso de panificación y por último hay que conocer de antemano o ensayar, cual será el efecto de la enzima en nuestra harina (Garrido *et al.*, 2002).

Las enzimas se utilizan para optimizar las características del horneado y para mejorar la calidad de productos cocidos al horno (Autio y Laurikainen, 1997).

Amilasa: se utiliza extensamente para aumentar el volumen del pan y para reducir el índice de endurecimiento de la miga del pan (Autio y Laurikainen, 1997).

Xilanas: no afecta la actividad fermentativa, mejora la estructura del gluten, se vuelve más lenta la difusión del CO₂ en la masa y, por tanto, aumenta la retención gaseosa debido a la disminución y retraso de la porosidad. La hidrólisis de los pentosanos entrelazados con la red proteica produce un realargamiento de la red del gluten. Durante el amasado se observa un aumento de la extensibilidad de la masa y una disminución de la rigidez de la red proteica (Garrido *et al.*, 2002; Autio y Laurikainen, 1997).

Proteasa: afectan los enlaces covalentes de la red de gluten degradando las proteínas (Goesaeart *et al.*, 2005), estos reductores dividen los puentes disulfuro que existen entre cadenas polipeptidas y dentro de una misma cadena, su actuación depende de la dosis. Su actividad se manifiesta durante el amasado, mediante un aumento de la extensibilidad, reduciendo la consistencia de la harina con un gluten tenaz, durante la fermentación se mejora la capacidad de retención de gas y aumenta la extensibilidad de la masa debido al aumento de extensión del gluten (Garrido *et al.*, 2002).

Glucosa oxidasa: cataliza la reacción de oxidación de la beta-D-glucosa a ácido D-glucónico y producción de peróxido de hidrógeno (H_2O_2). El peróxido de hidrógeno oxida los grupos sulfidrilo (-SH) de la red de gluten, formando enlaces disulfuro (-SS-), de esta manera refuerza la red del gluten (Garrido *et al.*, 2002; Goesaeart *et al.*, 2005).

Lipasa: hidroliza los enlaces ester principalmente de triglicéridos, produciendo mono y diglicéridos y ácidos grasos libres. Incrementan la fuerza de la masa, estabilidad y volumen resultando una mejora en la estructura y suavidad de la miga (Goesaeart *et al.*, 2005).

2.2 Propiedades reológicas de la harina

La reología es el estudio de la deformación (de flujo) de los materiales. La reología alimentaria es en productos alimentarios (Roudot, 2004), para medir el comportamiento reológico, una deformación o la tensión controlada se aplica a un material en un tiempo dado y el resultado de la fuerza se mide dando indicación de los parámetros del material como tensión, moldeo, viscosidad, fuerza y dureza del material (Dobraszcyk y Morgenstern, 2003), la relación del tiempo y tensión de un material (MacRitchie y Lafiandra, 1997).

Las pruebas más importantes para determinar la funcionalidad de las harinas de trigo son los ensayos reológicos, los cuales, tienen como objetivo estudiar las propiedades físicas del gluten hidratado, formado por la acción del amasado (Serna, 1996).

Las propiedades reológicas de la masa son determinadas por las proteínas, calidad de la harina e interacciones de la harina con el agua en la absorción por los gránulos de almidón

(Angioloni *et al.*, 2005), estas propiedades son reconocidas para tener éxito en productos de panadería (Calucci, 2004; MacRitchie y Lafiandra, 1997), es necesaria su determinación para poder proveer el comportamiento de las harinas durante el proceso de panificación (Quaglia, 1991; Salvador *et al.*, 2003; Agyare *et al.*, 2005).

El conocimiento de las propiedades reológicas del gluten de trigo y su evolución durante el proceso es generalmente considerado crítico en la calidad de productos alimenticios de cereal. Las modificaciones de las propiedades reológicas del gluten en la masa durante el

amaso y horneado afecta las características estructurales del producto final (Cuq *et al.*, 2000).

Varios métodos son empleados para determinar las propiedades reológicas de la masa. Para las propiedades físicas de la masa de trigo duro se usa el mixografo. Aparatos como Falling Number, se utilizan para el análisis de las harinas de trigo blando, que da una indicación importante sobre el estado de conservación del trigo, fermentación de la masa y calidad de la miga del pan obtenido. Para el trigo blando los aparatos que fundamentalmente se utilizan son amasadoras con registro e instrumentos de extensión-tracción: farinógrafo, extensógrafo (Pedersen, 2004) amilógrafo, alveógrafo y madurógrafo. (Quaglia, 1991; Belitz y Grosch, 1997; Edwards *et al.*, 2001).

En la fabricación del pan se puede hablar de harinas inadecuadas (falta de fuerza, exceso de fuerza), harinas desequilibradas (tenaces, extensibles), incorrecta actividad enzimática (baja o exceso) y harinas con degradación (Garrido *et al.*, 2002).

Las harinas flojas de bajo contenido en proteínas no son adecuadas para los productos precocidos, presentan un gluten débil y poroso, la masa resultante es débil y poco resistente a la presión del gas (poca tolerancia). Las harinas fuertes también presentan problemas, se requieren tratamientos que modifiquen la fuerza de la masa, añadiendo más agua, aumentando el tiempo de amasado, disminuyendo la temperatura o reduciendo la cantidad de levadura. Harinas demasiado extensibles se amasan rápidamente, volviéndose masas blandas y pegajosas si se sobrepasan los límites de amasado (Garrido *et al.*, 2002).

Otros factores que pueden provocar un aumento de la tenacidad es un tiempo insuficiente de amasado, temperatura superior a 25 °C dosis altas de levadura acompañadas de un mayor tiempo de reposo, masas demasiado grande que tardan mucho tiempo en ser dividida. En el caso de exceso en la extensibilidad de la masa influyen factores como masas blandas, súper amasadas, frías, baja dosificación de levadura, poco tiempo de reposo y formado poco apretado (Garrido *et al.*, 2002).

Las características cualitativas del gluten, como viscosidad, elasticidad y extensibilidad, son usualmente investigadas con equipos reológicos (Perego *et al.*, 2002).

2.2.1 Formación del gluten

A la harina de trigo al añadirle agua y otros ingredientes menores forman una masa viscoelástica cohesiva que se puede trabajar, es decir, amasar (Scade, 1981; Belitz y Grosch, 1997; Duncan, 1989; Hosney, 1992; Salvador *et al.*, 2003; Pedersen, 2004; Shewry y Halford, 2002).

El principal responsable del comportamiento de la masa es el contenido de proteína, la fuerza del gluten y la relación gliadina-glutenina (Pedersen *et al.*, 2004), estas absorben de dos a tres veces su peso para formar una red (Richardson, 1982; Mesas y Alegre, 2002).

La glutenina tiene la propiedad de controlar la elasticidad, fuerza del gluten, estabilidad y absorción de agua en la masa y la gliadina proporciona extensibilidad. La gliadina y glutenina forman al gluten, estas proteínas son esenciales para la producción de pan. La masa de trigo durante el amasado y cocción afecta la estructura característica del producto final (Belitz y Grosch 1997; Miralbes, 2003; Perego *et al.*, 2002; Goesart *et al.*, 2005; Don *et al.*, 2003; Gianibelli, *et al.*, 2001; Veraverbeke *et al.*, 1998).

Las gliadinas consisten de proteínas de bajo peso molecular y glutelinas proteínas de alto peso molecular, ambas son insolubles en agua (Hernández-Muñoz *et al.*, 2004). Las proteínas del gluten tienen alto contenido en ácido glutámico y prolina (MacRitchie y Lafiandra, 1997; Gianibelli *et al.*, 2001).

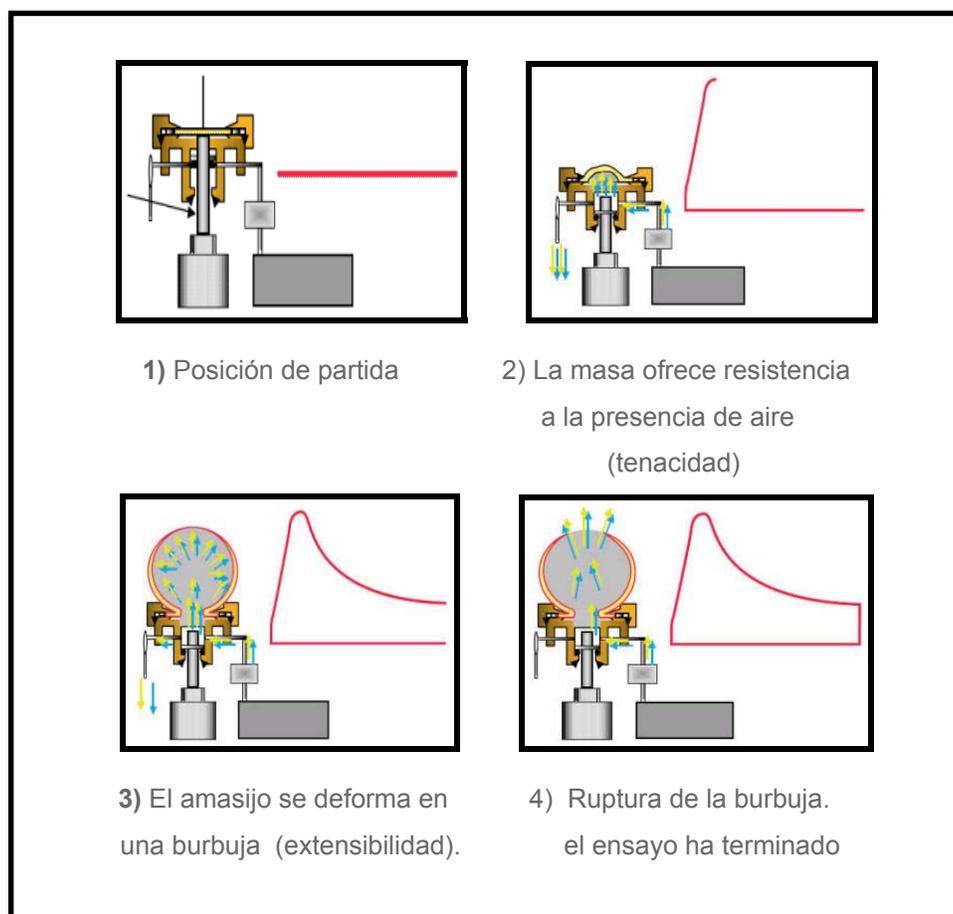
2.2.2 Características alveográficas

Fundamento

Consiste en una extensión biaxial de una probeta de masa (agua + sal + harina) que, por acción de una presión de aire se deforma en una burbuja. Este método de extensión reproduce la deformación de la masa bajo influencia del empuje gaseoso original biológico o químico (figura 3) (Atwell, 2003; Método 54-30A, AACC 1999).

Aplicación

El alveógrafo NG ofrece diferentes posibilidades para el control de la calidad de trigos y harinas, ejemplos de su aplicación para cada caso son los siguientes:



Fuente: <http://www.concereal.com> (2005)

Figura 3. Principio del alveógrafo NG

A) Ensayos con harina

Control de fabricación y definición de los tipos de harina.

Regulación de la harina.

Mezclas de harinas.

Control de ciertos factores que afectan la calidad de la harina.

Control de la acción de aditivos sobre las cualidades plásticas.

B) Ensayos con trigos

Estimación del valor de panificación.

Mezcla de los trigos antes de la molienda.

Control del acondicionamiento y molienda.

Selección de trigos en investigaciones agronómicas.

Reconocimiento

El alveógrafo NG es reconocido y utilizado en el mundo entero y es avalado por las normas francesas e internacionales:

- AFNOR No. V03.710 Agosto 1988
- AACC No. 5430 – A 1194
- ISO No. 5530/4 1992 (revisión 1992)
- ICC Estándar No. 121

Componentes

Las partes que componen al alveógrafo Chopin son:

- La amasadora para la preparación de la masa y probetas
- El alveógrafo para el reposo y deformación de las probetas
- Un registrador de la curva de presión que es necesario para la deformación de la probeta (figura 4).

Para garantizar la repetibilidad y la reproducibilidad de los resultados, la masa se divide en cinco sub-muestras para análisis sucesivos.

El alveógrafo NG

Está diseñado para ser utilizado bajo las siguientes condiciones: Utilización interior, temperatura ambiente del laboratorio comprendida entre 18 y 22°C, humedad relativa mantenida entre 50 y 70 %, variaciones de tensión de alimentación que no excedan +/- 10% de la tensión nominal, grado de contaminación (según la norma EN 61010-1):2, categoría de instalación para tensiones transitorias (según la norma EN 61010-1):II

Alveolink

Es un equipo seguro bajo las siguientes condiciones de funcionamiento:

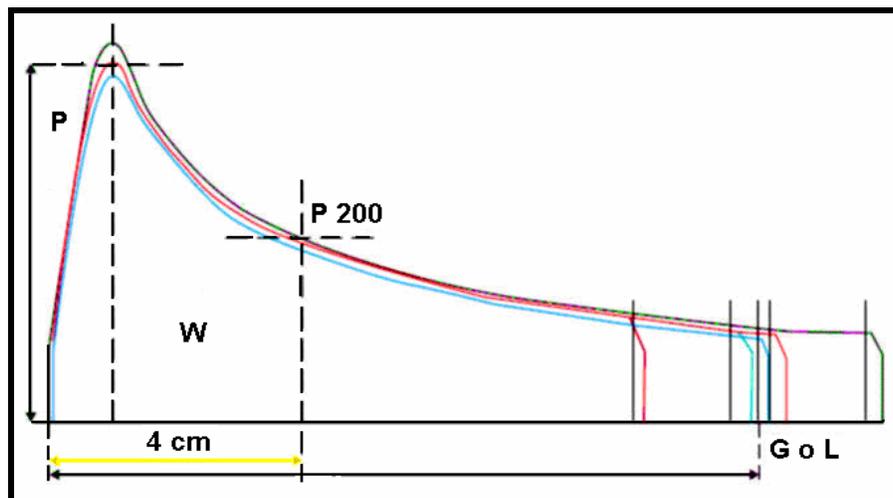
Utilización interior, temperatura de funcionamiento de 0-40°C, humedad relativa 85% máximo 40 °C, variaciones de tensión de alimentación que no excedan +/- 10% de la tensión nominal, grado de contaminación (según la norma EN 61010-1):2, categoría de instalación para tensiones transitoria (según la norma EN 61010):II.



Fuente: LV-712 ITSON

Figura 4. Alveógrafo NG

Los parámetros de las medidas alveográficas se muestra en la figura 5 los resultados se miden o calculan a partir de las curvas obtenidas (Manual del Alveógrafo NG 1997; Skrabanja *et al.*, 2000; Agyare *et al.*, 2005, Miralbes, 2003, Cocchi *et al.*, 2005).



Fuente: <http://www.concereal.com> (2005)

Figura 5. Curva típica del alveógrafo

Donde:

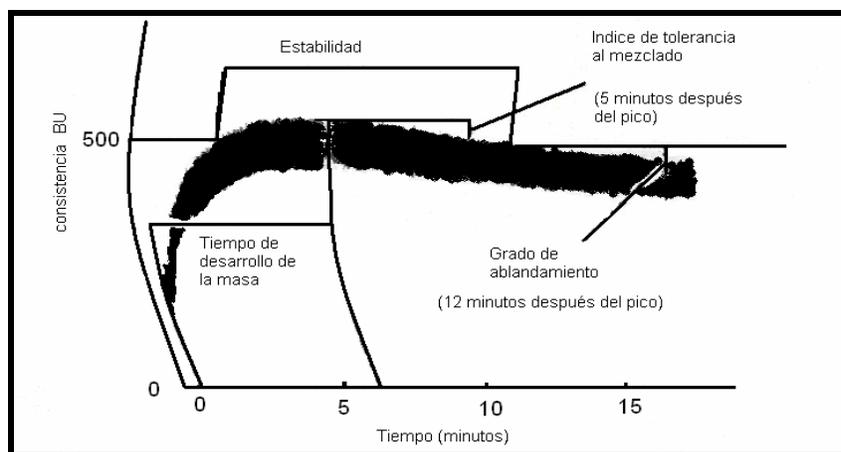
- P Tenacidad (presión máxima necesaria para hinchar la bomba de masa).
- L(G) Extensibilidad (longitud de la curva).
- W Fuerza de panificación (superficie de la curva), fuerza de la harina y calidad de la red de gluten.
- P/L Relación de la configuración de la curva (relación entre tenacidad y la capacidad de separación de la masa) comportamiento del gluten.
- p Presión en el punto de ruptura.
- le Índice de elasticidad (le: presión a 4 cm del comienzo de la curva P).

2.2.3 Otros instrumentos

- **Farinógrafo**

Es la metodología más utilizada a nivel comercial para evaluar propiedades de masas. El aparato mide la resistencia que opone la masa al mezclado (esfuerzo mecánico) (Janssen *et al.*, 1996), en un tiempo determinado a una velocidad y temperatura constante (Atwell, 2003). El principio se basa en determinar por medio de prueba y error la cantidad óptima de agua para lograr la consistencia ideal de la masa (500 unidades farinógrafas o Brabender). La curva típica se muestra en la figura 6 (Serna, 1996). Se evalúa el efecto de absorción de agua de la harina para determinar su estabilidad y características de la masa durante el mezclado (Su *et al.*, 2005). Este indica variación en las propiedades del gluten (Zhang *et al.*, 2005).

El farinógrafo trabaja con una mezcla de harina/agua, y da una indicación de las características de mezcla potenciales de una harina. Los cuatro parámetros registrados normalmente son absorción de agua, desarrollo, tiempo máximo, tiempo de estabilidad e índice de tolerancia de la mezcla. El tiempo de la estabilidad es calculado restando el tiempo de llegada a partir del tiempo de salida. El instrumento consiste en un tazón de diseño especial donde se mezcla, conectado con un dinamómetro. El esfuerzo de torsión desarrollado durante el mezclado se transfiere al dinamómetro y es transportado a un gráfico, llamado farinograma que se dibuja en una carta móvil. La carta se imprime para representar tiempo en minutos lateralmente, y a partir de las unidades 0 a 1000 de Brabender (BU) verticalmente. El centro de la carta (500 BU) es indicado por una línea roja, que pasa a través de la carta entera (Williams, 1997).



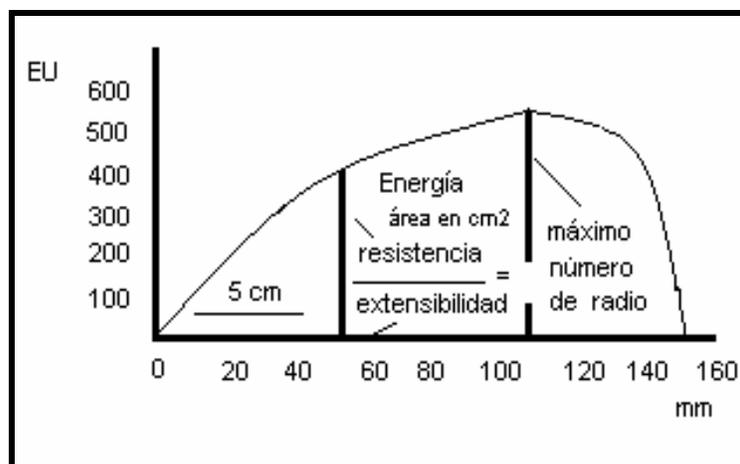
Fuente: Atwell, 2003

Figura 6. Curva típica del farinógrafo

- **Extensógrafo**

El extensógrafo de Brabender es otro instrumento para la determinación de las características fisicoquímicas de la harina y se relaciona con el farinógrafo en que la masa está mezclada a la absorción del agua determinada previamente por el farinógrafo (Williams, 1997), comprende una compresión uniaxial (Janssen *et al.*, 1996).

La masa (150 g) es formado en un cilindro, el cual es posteriormente almacenado bajo condiciones de alta humedad y temperatura de 30 °C hasta que sea probada. El cilindro de masa es posteriormente grapeado a los brazos del extensógrafo y sujeta a una fuerza de extensión con un desplazamiento constante hasta lograr su eventual rompimiento. La curva típica se muestra en la figura 7 (Serna, 1996).



Fuente: www.brabender.com

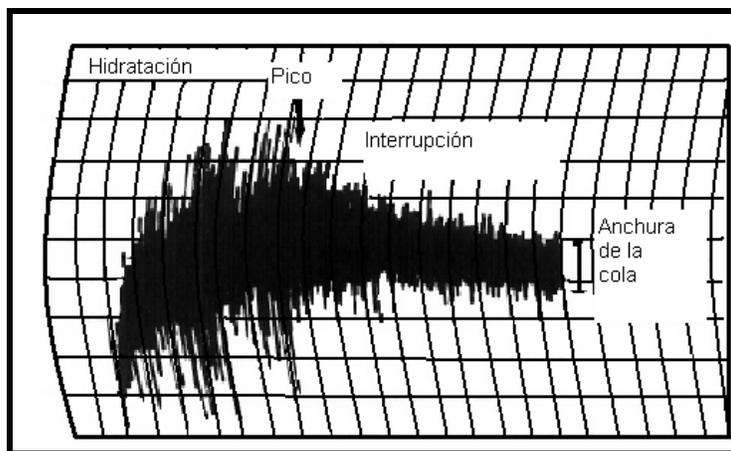
Figura 7. Curva típica del extensógrafo

Mide la resistencia a estirar y elasticidad de las masas de harina/agua. La altura máxima (resistencia) y área bajo la curva se toman como indicación de la fuerza de la masa. El cociente de la altura máxima (resistencia), a la extensibilidad es una indicación de la elasticidad de la masa. El extensógrafo se ha utilizado en la predicción de los requisitos de la oxidación de una harina, pero no es tan frecuente entre laboratorios del molino harinero como el farinógrafo (Williams, 1997).

- **Mixógrafo**

El mixógrafo es un aparato que tiene principios similares al farinógrafo. Sin embargo, es el método preferido por fitomejoradores ya que solo precisa 10 o 35 g de muestra y el ensayo tiene una duración solamente de 7 u 8 minutos. La absorción de agua y peso de la muestra están en función del contenido proteico y humedad de la harina, respectivamente. El aparato gráfica una curva típica (figura 8), al igual que la del farinógrafo, muestra un punto mayor de consistencia. Este es el punto, denominado tiempo de desarrollo (Atwell, 2003), en el cual la masa posee la mayor fuerza o mejores propiedades reológicas (Serna, 1996). Registra por un periodo de tiempo, altura máxima, y la cuesta de las porciones ascendentes y descendentes de la curva en el pico (Su *et al.*, 2005), mide la energía durante el mezclado de la masa (Shewry y Halford, 2002).

El mixógrafo se utiliza, particularmente en los Estados Unidos de América, para la identificación de diferencias en la fuerza del gluten de trigo. La prueba se realiza generalmente sin la determinación preliminar de la absorción del agua. Es importante utilizar la absorción correcta de agua, que se puede estimar de la dureza del trigo. El mixógrafo dibuja un gráfico como resultado de cambios en el esfuerzo de torsión desarrollado durante el mezclado de harina/agua. El mixograma alcanza una altura máxima en el esfuerzo de torsión máximo, entonces cae, pues baja la resistencia de la masa al mezclarse. El papel de carta se gradúa horizontalmente en el tiempo (minutos) y verticalmente en 10 incrementos, que se pueden subdividir visualmente en unidades de por ciento. Las medidas útiles a registrar incluyen altura máxima, tiempo que alcanza la altura máxima, y grado de interrupción después de mezclarse por 10 minutos. La tolerancia de mezcla es la distancia en unidades del porcentaje entre el centro del gráfico después de 10 minutos de mezcla y el centro del gráfico en el tiempo máximo. Una harina débil alcanzará altura máxima después, cerca de un minuto, mientras que una harina fuerte requerirá 5-6 minutos. El tiempo óptimo es cerca de 2.5 - 3 minutos (Williams, 1997).



Fuente: Atwell, 2003

Figura 8. Curva típica del Mixógrafo

III. MÉTODO

3.1 Preparación de muestras

Primera etapa

Como materia prima se utilizó en esta primera etapa harinas comerciales del mercado local. Se obtuvieron 3 kilos de harina de trigo de diferentes marcas comerciales destinadas a la producción artesanal o semindustrial de pan y tortillas en presentación de sacos de 45 kilos, a los que se les realizaron análisis proximal y alveográficos. Las harinas analizadas se identificaron de la siguiente manera: R4, C5, F8, S6, S9, M5, L8.

Segunda etapa

La empresa MUNSA molinos proporcionó los granos de trigo de las variedades Rayón y Tarachi obtenidas durante el muestreo de recepción en la planta de proceso en abril-mayo 2005, procedentes del Valle del Yaqui y costa de Hermosillo.

Los trigos se limpiaron con una zaranda (equipment Co.No.B # 8/64" triangle comercial), se acondicionaron para su molienda a una humedad de 15% (según técnica interna de MUNSA molinos), se pesaron los granos de trigo, se determino la humedad a la que se encontraban la cual se resto a la humedad deseada y dividió entre cien menos humedad final. agrego el agua al trigo, homogenizo y reposo por un periodo entre 16-24 horas, transcurrido esté las muestras se pasaron al molino experimental Buhler (figura 9) para la obtención de la harinas, posteriormente a las harinas se les realizo un análisis proximal, alveográfico y pruebas de panificación (figura 10). Las harinas fueron identificadas con el nombre de la variedad y una letra.



Fuente: MUNSA molinos

Figura 9. Molino experimental Buhler

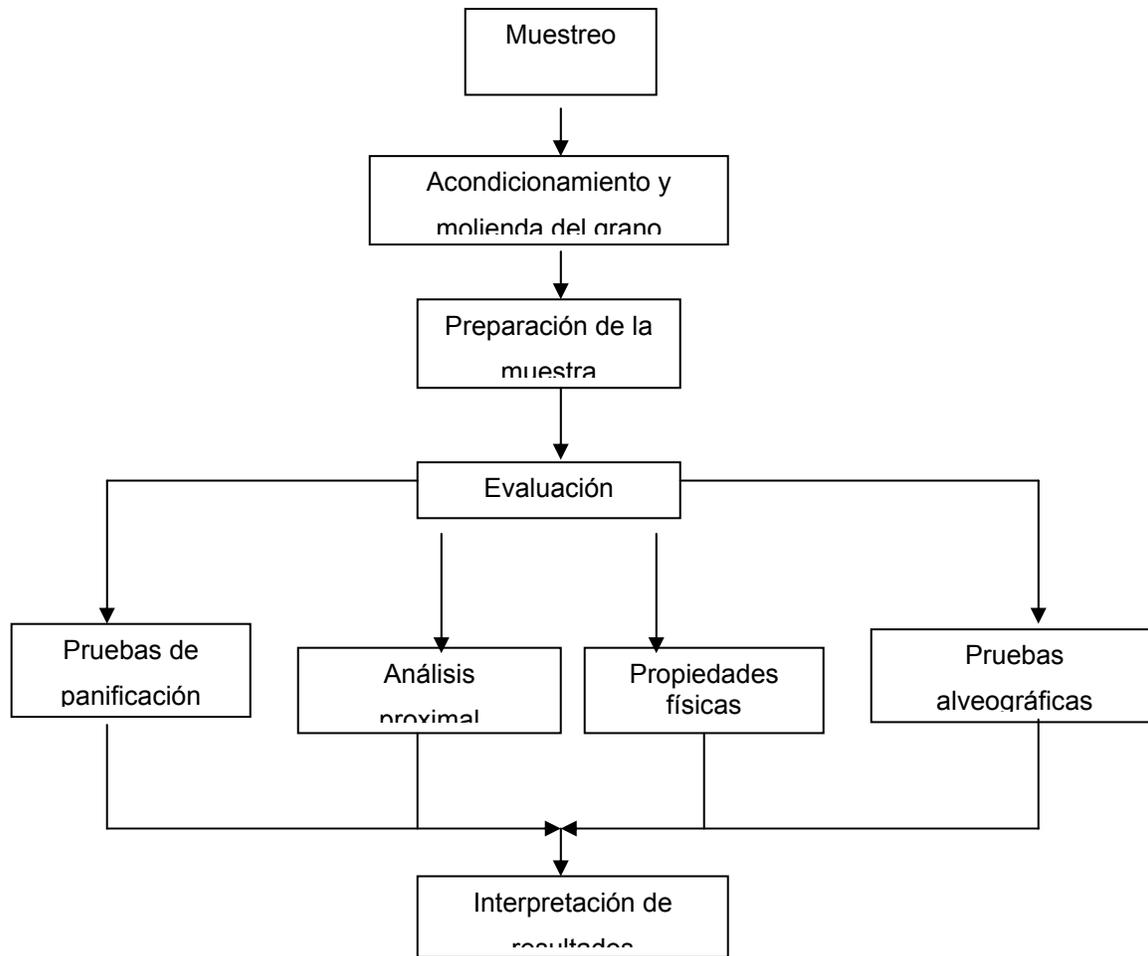


Figura 10. Diagrama de flujo del experimento

3.2 Localización del experimento

La presente investigación se llevó a cabo en el laboratorio LV-712 del Instituto Tecnológico de Sonora, unidad Nainari, Ubicado en Antonio Caso S/N, y en el laboratorio de control de calidad de la empresa MUNSA molinos S. A. de C.V. en Ciudad Obregón Sonora.

3.3 Evaluación

Los análisis se realizaron siguiendo las metodologías oficiales establecidas por la American Association of Cereal Chemists (AACC, 1999), a cada muestra se le realizaron tres repeticiones en cada uno de los análisis obteniendo los valores medios.

3.3.1 Análisis proximal

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado para cada uno de los análisis y muestras.

•Humedad

Se determino a través del método 44-16 (AACC, 1999) para harina de trigo. Usando el siguiente equipo. Infrared Moisture Determination Balance. AD-4714A Tokyo, Japón (figura 11).



Fuente: LV 712 ITSON

Figura 11. Termobalanza

- **Cenizas**

Las muestras se analizaron por el método 08-01 (AACC, 1999) para harina de trigo. Utilizando una mufla Furnace 6000 (figura 12) y balanza Analítica Denver Instrument Company A-250 U.S.A.



Fuente: LV 713 ITSON

Figura 12. Mufla

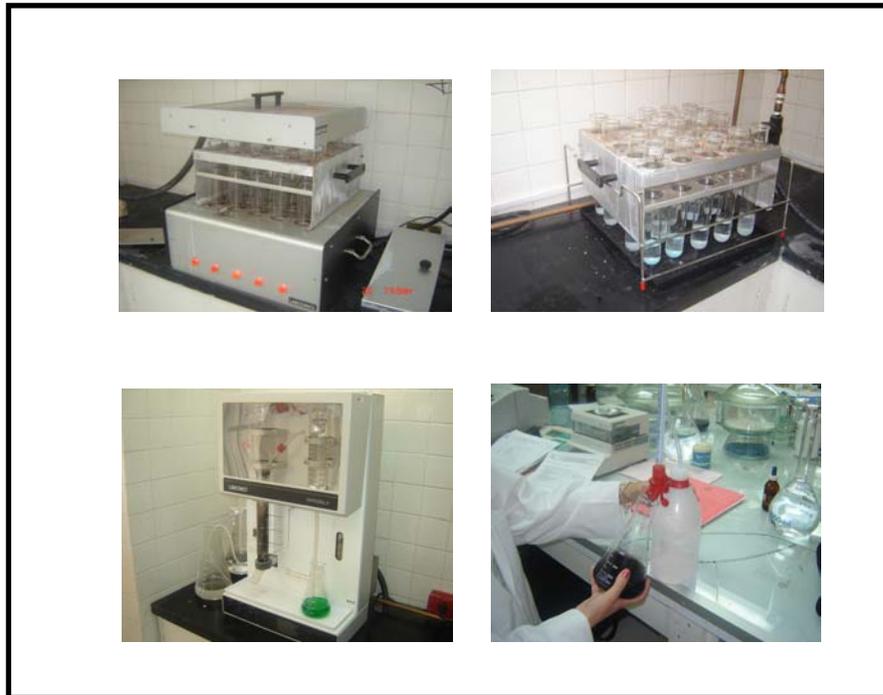
- **Proteínas**

El contenido total de proteínas fue calculado por el nitrógeno obtenido por Rapid Kjeldahl con Rapid Digestor-25 y Rapidstill II Labconco, factor de conversión 5.7, (figura 13) (Sliwinski *et al.*, 2004; Pérez *et al.*, 2004; Azizi y Rao, 2004), Método 46-12 AACC (1999).

3.3.2 Propiedades físicas

- **Color**

Para la medición de color se utilizó un colorímetro Minolta modelo Chroma Meter 410, Japón (figura 14), empleando la escala L*, a* y b* (CIELAB) Commission Internationale d'Eclairage. El colorímetro envía una radiación incidente conocida (el iluminante) sobre el producto a medir, y se mide la radiación según sus coordenadas.



Fuente: LV 216 ITSON

Figura 13. Rapid Kjeldahl



Fuente: MUNSA molinos

Figura 14. Colorímetro Minolta

- **Dureza del grano**

La granulometría se determinó a la harina por el método 66-20 (AACC, 1999), con Buhler Buhler-Miag Modelo MLI500.B, (figura 15) utilizando las mallas correspondientes a 212, 180 y 132 micrones.



Fuente: MUNSA molinos

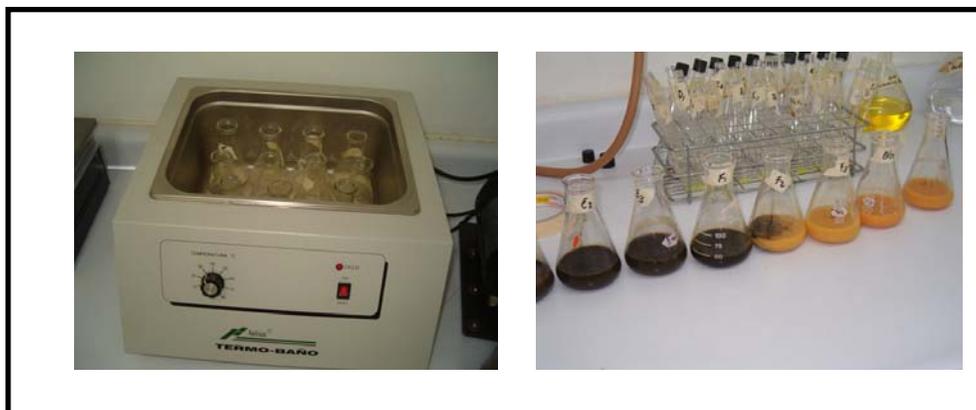
Figura 15. Cernidor

3.3.3 Evaluación de la calidad de almidón por método enzimático

La determinación de almidón dañado se llevó a cabo por el método 76-30A (AACC, 1999) (figura 16), usando 0.05 g de enzima α -amilasa (EC 3.2.1.1) SIGMA *Aspergillus Oryzae* (Alemania) y Termo-baño Felisa para incubar.

3.3.4 Contenido de gluten

Contenido del gluten se realizó por el método 38-10 (AACC, 1999). Las proteínas solubles son eliminadas lavando con agua la masa, obteniendo el gluten húmedo.



Fuente: MUNSA molinos

Figura 16. Incubadora para determinación de almidón

3.3.5 Análisis alveográfico

El alveógrafo NG Chopin, por el método 54-30A (AACC, 1999), mide las propiedades reológicas de las masas (extensión y tenacidad) mediante la inyección de aire (simulando efectos de fermentación) en discos de masas de dimensiones estandarizadas. Los equipos utilizados fueron: alveógrafo NG Chopin, amasadora y alveograph NG 5170 99 (figura 17), Alveolink NG 299 98.



Fuente: LV 712 Itson

Figura 17. Alveógrafo NG

3.3.6 Pruebas de panificación

Las pruebas de panificación se realizaron, utilizando una amasadora Kitchen Aid, Modelo KSMC505 (U.S.A), fermentador Chopin S.A. No. 2665 y horno P. Firchow A .G (Alemania) (figura 18).

Para la elaboración de los panes se pesaron 200gr de harina, 6gr de leche deshidratada, manteca vegetal y levadura, se mezclaron en la amasadora con 60 ml agua, y 70 ml de agua miel (sal 50 g y azúcar 250g/litro de agua) por 5 minutos. Se peso la masa y dividió en dos partes iguales, las que se colocaron en el fermentador por espacio de 90 minutos, se formaron los panes y colocaron nuevamente en el fermentador, posteriormente se introducían al horno por 10-15 minutos a 250 °C, al enfriarse los panes se determinaba su peso y volumen, cada muestra se realizo por duplicado obteniendo cuatro panes por muestra.



Fuente: MUNSA molinos

Figura 18. Amasadora, fermentador y horno

3.4 Análisis estadístico

Todos los datos se analizaron con el paquete estadístico. Producto: JMP. Lanzamiento: 5.1. Una unidad de negocios SAS. Copyright © 1989 - 2003 instituto SAS. Todos los derechos reservados. Funcionamiento debajo: Windows NT v5.1. Idioma: ingles. Con un nivel de significancia P (<0.05).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se presentan a continuación corresponden a dos trabajos de investigación, el primer estudio incluyen ensayos para harinas comerciales destinadas a la elaboración artesanal de tortillas y pan, y el segundo para harinas extraídas de trigo cosechados en abril-mayo 2005. Los parámetros evaluados incluyen su composición proximal, comportamiento alveográfico y pruebas de panificación.

4.1 Harinas comerciales multifuncionales

Para harinas comerciales se realizó una caracterización proximal donde se realizaron ensayos de humedad, cenizas y proteínas, además de ensayos alveográficos, para evaluar parámetros como P, L y W. Para complementar esta investigación, se evaluó la precisión del aparato mediante, la desviación estandar relativa (% RSD).

4.1.1 Determinación de humedad

El contenido de humedad de las harinas comerciales se muestra en la cuadro La humedad de las harinas se encuentra en un rango entre 11.6 y 14.2 %, según la comparación de medias de Tukey significancia $P(< 0.05)$, si existen diferencias entre las muestras ya que los niveles que no están conectados por la misma letra son diferentes (cuadro 1). El contenido de humedad de las harinas reportado por diferentes autores es muy variable Mesas y Alegre (2002) (13-15 %), Miralbes (2003), reporta harinas con un rango de humedad (9.32-17.58%), Angioloni *et al.*, (2005) en dos harinas reportan (13.8 y 14.23 %), Veraverbeke *et al.*, (1998), (13.98%), Garrido *et al.*, (2002) reportan para harinas con diferentes aditivos valores entre (14.2-14.4%). Se observa que los valores presentados, están dentro de los rangos reportados, además, todas se encuentran dentro del límite sugerido por la NOM-147-SSA1-1996. La importancia de conocer el contenido de humedad nos permite predecir la vida de anaquel de la harina, valores altos de humedad en la harina las hace más susceptible al deterioro, y más propensas al ataque por hongos y plagas que pueden dañar la harina.

Cuadro 1. Contenido de humedad de harinas comerciales

Muestra	% Humedad *
Multifuncional (R4)	14.2 ± 0.15 ^a
Multifuncional (L8)	14.0 ± 0.06 ^a
Panadera (F8)	13.3 ± 0.10 ^b
Tortillera (C5)	12.9 ± 0.06 ^{bc}
Tortillera (S6)	12.7 ± 0.25 ^c
Multiuncional (S9)	12.1 ± 0.06 ^d
Multifuncional (M5)	11.6 ± 0.15 ^e

* Media ± desviación estándar, n = 3

^{a, b, c, d, e} Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

4.1.2 Determinación de cenizas

El contenido de cenizas obtenido en la investigación se encuentran en un rango de 0.72 a 1.07 % en base a materia seca, y se muestran en la cuadro 2, comparación de medias de

Tukey significancia P (< 0.05), presenta diferencias entre las muestras (cuadro 2). Se observa que estos valores son superiores a los reportados por Angioloni *et al.*, (2005), que reportan un contenido de cenizas en harina de (0.57 y 0.54%), Khatkar *et al.*, (1995), (0.51 y 0.46%), comparado con estos autores los valores obtenidos son mayores a los que ellos reportan esto podrá ser explicado al considerar la composición de la harina, suelo donde fueron cultivados o el proceso de molienda lo cual es también reportado por Berton *et al.*, (2002) quien investigo el efecto de diferentes grados de molienda variando entre partículas gruesas que contenían salvado y a otras más refinadas de endospermo puro. Según Richardson (1982) cuanto más bajo sea el contenido de cenizas más alta será la calidad de la harina y la eficiencia de separación entre salvado y endospermo.

Cuadro 2. Contenido de cenizas de harinas comerciales

Muestra	% Cenizas *
Multifuncional (R4)	1.070 ± 0.03 ^{a**}
Tortillera (C5)	0.950 ± 0.01 ^{ab}
Tortillera (S6)	0.820 ± 0.05 ^{bc}
Panadera (F8)	0.770 ± 0.04 ^c
Multiuncional (S9)	0.726 ± 0.06 ^c
Multifuncional (M5)	0.760 ± 0.05 ^c
Multifuncional (L8)	0.803 ± 0.07 ^c

* Media ± desviación estándar, n = 3

** Expresado en base materia seca

a, b, c Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

La presencia de salvado en la harina es determinada con el análisis de cenizas, como consecuencia de valores altos su color es menos blanco y el volumen del pan se puede ver disminuido. La muestra R4 con el más alto contenido de cenizas, puede ser una harina enriquecida para recuperar el porcentaje de minerales perdidos en el proceso de molienda.

4.1.3 Determinación de proteínas y gluten

El contenido proteico es uno de los factores que determinan el uso de la harina, valores más altos son apropiados para el pan de caja que para la elaboración de pasteles y galletas.

Parece ser imposible hacer un pan de buena calidad de harina que contiene una cantidad baja (8%) de proteína, el contenido de proteína no asegura una buena calidad, por lo que, la cantidad y calidad de la proteína es necesaria en la harina de trigo para producir un pan de calidad (Hoseney, 1992).

Los valores obtenidos de proteína total en las harinas analizadas se encuentran en el rango de 11.46 a 13.36% presentando diferencias significativas según comparación de medias de Tukey significancia $P < 0.05$ (cuadro 3), coincidiendo con los valores reportados por Popineau *et al.*, (2000) 12.6- 13.7% de proteínas, Miralbes (2003) (10.38-18.03%), Angioloni *et al.*, (2005) (14.9 y 12.22%), Veraverbeke *et al.*, (1998) (11.89%), Berton (2002) con diferentes grados de molienda reporta valores que van de 9.9 a 16.9%, Garrido *et al.*, (2005) 12.5-12,6% con diferentes aditivos, Mesas y Alegre (2002) reporta para una harina panificable 9-14% (85% gluten).

Cuadro 3. Contenido de proteínas y gluten de harinas comerciales

Muestra	% Proteínas *	% Gluten *
Tortillera (S6)	13.36 ± 0.54 ^{a+}	34.94 ± 0.96 ^{**}
Tortillera (C5)	13.07 ± 0.05 ^{ab}	34.47 ± 0.07
Multifuncional (R4)	12.49 ± 0.03 ^{bc}	32.76 ± 1.00
Multiuncional (S9)	12.16 ± 0.30 ^{cd}	32.89 ± 0.71
Panadera (F8)	11.46 ± 0.05 ^d	30.13 ± 0.72
Multifuncional (L8)	11.48 ± 0.05 ^d	33.44 ± 0.66
Multifuncional (M5)	11.66 ± 0.31 ^d	30.11 ± 0.08

* Media ± desviación estándar, n = 3

** Expresado base 14% humedad

* Expresado en materia base seca

a, b, c, d Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

El contenido de proteína se ve influenciado por los niveles de fertilizantes (nitrógeno y sulfuro), a su vez la alta disponibilidad de nitrógeno es traducido en un alto contenido de proteína en el grano y harina, incrementando la extensibilidad de la masa para elaboración de pan. Con niveles limitados de sulfuro se pueden conducir a cambios en las cantidades relativas de diferentes grupos de proteínas manifestándose estos efectos en las

propiedades funcionales y bajo estas condiciones las proteínas pobres en sulfuro aumentan la cantidad de deterioro de proteínas ricas en sulfuro (Southan y MacRitichie, 1992).

El rangos obtenido en esta investigación de proteínas formadoras de gluten húmedo fue de 30.11 a 34.94 % (cuadro 3), coincidiendo con lo reportados por Miralbes (2003) quien obtuvo 15.6-38.86% de gluten húmedo, Garrido *et al.*, (2002) reportan gluten húmedo en harinas con aditivos (29.1 a 31.8%), Angioloni y Dalla (2005) 31.10% y Skrabanjan y col., (2000) 20 y 39.7% en gluten húmedo. Debido a que el gluten es un indicador de la calidad de la harina y depende del contenido de proteína el cual se ve afectado por el lugar de cosecha, fertilización y condiciones ambientales (Lookhart *et al.*, 1993), se puede observar que la muestra S6 contiene un alto valor de gluten coincidiendo con un alto contenido de proteína, lo contrario sucede con la muestra F8 que tienen un menor contenido de proteína y por lo tanto la cantidad de proteínas de gluten es menor.

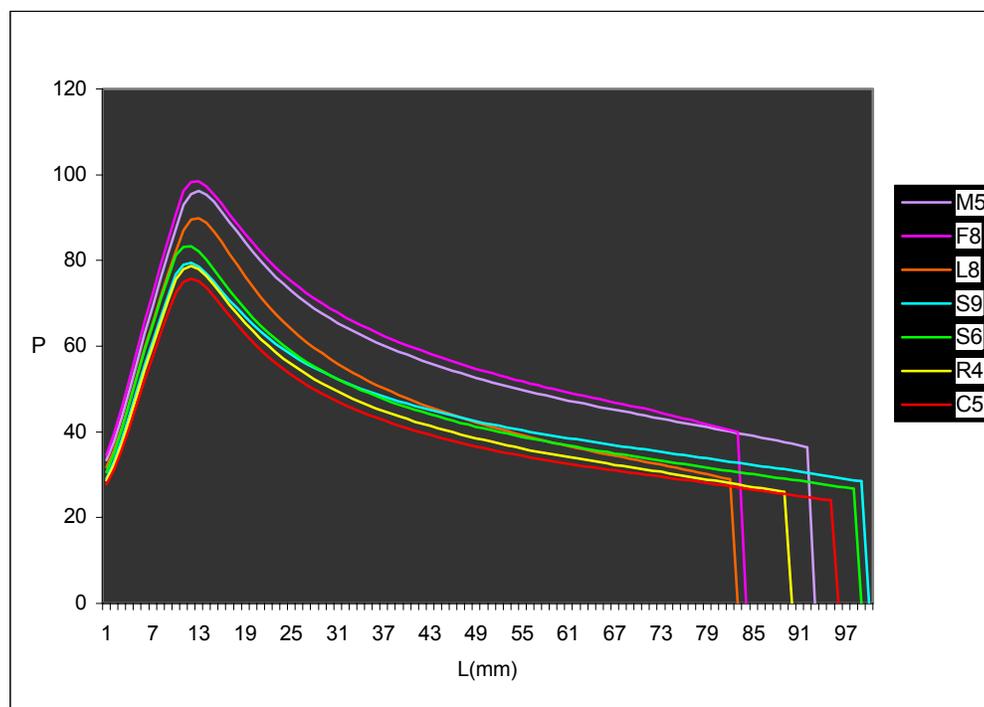
4.1.4 Determinación alveográfica

En los ensayos alveográfica se determino la tenacidad (P) de la masa, extensibilidad (L), fuerza de panificación (W), configuración de la curva (P/L) y el índice de elasticidad (Ie), la cuadro 4 muestra los resultados promedios de las tres repeticiones de los alveogramas para cada marca y la figura 19 esquematiza los valores medios obtenidos de las marcas analizadas, los valores de la cuadro y figura muestran que las harinas son diferentes en sus propiedades reológicas. En la industria local, es factible utilizar harinas con W de 270 ± 30 para la elaboración de tortillas y W de 320 a 350 para panificación. En nuestros resultados la harina con mayor fuerza (w) es F8 ($327 \cdot 10e^{-4}J$) y la menor C5 ($245 \cdot 10e^{-4}J$), la primera esta indicada para productos de panificación y la segunda para la elaboración de tortillas, lo cual coincide en que para la muestra F8 se requiere un menor valor de (L) (74 mm) y uno mayor para C5 (97 mm). Algunas de las harinas son apropiadas tanto para la elaboración de pan y tortillas. Las harinas de doble propósito son en las que se encuentra un contenido proteico intermedio entre el recomendado para harinas suaves y panaderas útiles para la producción de pan, galletas, pasteles o tortillas de harina (Serna, 1996).

Cuadro 4. Análisis alveográfico de harinas comerciales

Muestra	Propiedades alveográficas *				
	P (mm H ₂ O)	L (mm)	W (10e ⁻⁴ J)	P/L	le (%)
Multifuncional (R4)	81	89	230	0.9	52.5
Tortillera (C5)	80	97	245	0.83	53.4
Panadera (F8)	106	85	327	1.26	60.6
Tortillera (S6)	89	99	283	0.91	54.9
Multiuncional (S9)	87	95	282	0.93	57.6
Multifuncional (M5)	105	88	328	1.19	59.4
Multifuncional (L8)	99	74	251	1.35	52.6

* todos los resultados son la media de tres determinaciones

**Figura 19.** Promedio de los alveogramas de harinas comerciales

La adición de ciertas enzimas a la masa causa un aumento en el volumen del pan (Wang *et al.*, 2003, Garrido *et al.*, 2002), mejora de la estructura de la miga y vida útil creciente (Poutanen, 1997). Esto explica por que probablemente las harinas comerciales F8 y M5

presentan bajo contenido de proteína y en el análisis alveográfico una mayor fuerza adecuadas para productos de panificación.

4.1.5 Precisión del equipo

La precisión es la capacidad de un método para proporcionar resultados próximos entre sí. La precisión puede ser evaluada en el operador, equipo y método, la frecuencia de la medición puede ser intradías como interdías. Para evaluar la precisión del equipo o instrumental fueron seleccionadas dos muestras de harina comercial (S9 y F8) (cuadros 5 y 6), se realizaron 8 ensayos con cada uno de ellos. Los valores de precisión (expresados en % RSD) indican que la precisión del equipo es buena. Observando que para P, le corresponden valores menores de 2.2%, para L menores 7.9 y para W menos de 5.4%.

Cuadro 5. Precisión del método para S9

Ensayo	P	L	W
1	88	98	294
2	86	104	297
3	87	98	289
4	86	90	270
5	86	101	289
6	89	103	306
7	90	85	269
8	89	86	268
Promedio	87.6	95.6	285.3
Desvest	1.6	7.6	14.5
% RSD	1.8	7.9	5.1

Cuadro 6. Precisión del método para F8

Ensayo	P	L	W
1	110	78	319
2	106	77	303
3	106	79	310
4	104	84	317
5	109	71	299
6	109	86	344
7	109	70	292
8	111	81	330
Promedio	108.0	78.3	314.3
Desvest	2.4	5.7	17.1
%RSD	2.2	7.2	5.4

4.2 Harinas nativas obtenidas de trigos regionales

Para harinas nativas de trigos regionales provenientes del Valle del Yaqui y costa de Hermosillo, se realizó una caracterización proximal donde se realizaron ensayos de humedad, cenizas, proteínas, color, almidón dañado además de los ensayos alveográficos, para evaluar parámetros como P, L, W y pruebas de panificación.

4.2.1 Determinación de humedad

El contenido de humedad de harina nativa se muestra en la cuadro 7. La humedad de las harinas se encuentra en un rango entre 13.6-14.5 %.

Diversos autores como Angioloni y Dalla (2005) reporta 10.84 % de humedad en harinas comerciales, Khatkar (1995) de 2 harinas nativas reporta 10.5 y 12 %, Veraverbeke *et. al.* (1998) 13.98% de harina nativa, Janssen *et. al.* (1996) de harina nativa 15.5% y Sliwinski *et. al.* (2004) reporta para 6 harinas nativas 13-15.3% de humedad.

Los resultados obtenidos se encuentran entre los valores reportados por estos autores y no sobrepasan el valor recomendado, NOM-147-SSA1-1996, de 15% de humedad, valores superiores a este representa un mayor riesgo para el almacenamiento de la harina por ser más susceptible a ser atacada por microorganismos.

Cuadro 7. Contenido de humedad de harinas nativas de trigos regionales

Muestras	% Humedad *
Rayón (A)	13.67 ± 0.06
Rayón (B)	14.20 ± 0.10
Rayón (C)	14.27 ± 0.06
Rayón (D)	14.57 ± 0.06
Rayón (E)	14.37 ± 0.06
Tarachi (F)	14.17 ± 0.06
Tarachi (G)	14.03 ± 0.06
Rayón (H)	14.43 ± 0.06
Rayón (I)	14.37 ± 0.06
Tarachi (J)	14.13 ± 0.06

*Media ± desviación estándar, n = 3

4.2.2 Determinación de cenizas

El contenido de cenizas de harina nativa se encuentra en el rango 0.482 – 0.562 %. Según la comparación de medias de Tukey significancia P (<0.05), se encuentran diferencias significativas en las muestras ya que los niveles que no están conectados por la misma letra son diferentes (cuadro 8). Encontrándose dentro de los valores reportados por Azizi y Rao (2004) reporta 0.57% de cenizas para harinas con diferentes aditivos, Angioloni y Dalla (2005) 0.40% en harinas comerciales, Khatkar (1995) de 2 harinas nativas 0.51 y 0.46% de cenizas, Bretón *et al.*, (2002) obtuvo un rango de 0.45-2.27% con diferentes grados de molienda, Farvili *et al.*, (1995) de 3 harinas 0.45, 0.51 y 0.57 % de cenizas.

Cuadro 8. Contenido de cenizas de harinas nativas de trigos regionales

Muestras	% Cenizas b/s *
Tarachi (F)	0.562 ± 0.004 ^{a**}
Rayón (H)	0.561 ± 0.006 ^a
Rayón (E)	0.546 ± 0.003 ^b
Tarachi (G)	0.535 ± 0.006 ^{bc}
Rayón (A)	0.527 ± 0.003 ^c
Tarachi (J)	0.530 ± 0.005 ^c
Rayón (I)	0.509 ± 0.005 ^d
Rayón (B)	0.485 ± 0.003 ^e
Rayón (C)	0.491 ± 0.001 ^e
Rayón (D)	0.482 ± 0.001 ^e

*Media ± desviación estándar, n = 3

** Expresado en base materia seca

a, b, c, d, e Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

4.2.3 Determinación granulométrica

Un tamaño de partícula fino es decir un valor alto en la harina nos indica que el grano de trigo es suave (Serna, 1996), como en el caso de las muestras C y J.

Los valores de granulometría se expresan en la cuadro 9, y el rango encontrado fue entre 93.37-95.33 % de finos y se observa que según comparación de medias de Tukey existen diferencias significativas entre las muestras.

Berton *et al.*, (2002) reporta d10 (micrones) un rango 14-27, d50 rango 57-117 y d90 103-203 (µm) con diferentes grados de molienda a una harina de trigo.

El contenido de humedad del trigo repercute en el tamaño de partícula de la harina, en el proceso de molienda, influyendo la variedad de trigo (dureza), tipo de molienda y condiciones como lo muestra Muhamad y Campbell (2004) en su investigación con trigos con diferentes grados de dureza y humedad.

Cuadro 9. Granulometría de harinas nativas de trigos regionales

Muestras	% Granulometría* ⁺
Rayón (C)	95.33 ± 0.15 ^a
Tarachi (J)	95.20 ± 0.56 ^a
Rayón (I)	94.93 ± 0.40 ^{ab}
Rayón (A)	94.57 ± 0.21 ^{abc}
Rayón (B)	94.47 ± 0.45 ^{abc}
Tarachi (F)	94.57 ± 0.21 ^{abc}
Rayón (H)	94.57 ± 0.49 ^{abc}
Rayón (D)	94.13 ± 0.06 ^{bcd}
Tarachi (G)	93.53 ± 0.38 ^{cd}
Rayón (E)	93.37 ± 0.40 ^d

* Media ± desviación estándar, n = 3

+ % finos de malla de 132 micrones

a, b, c, d Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

4.2.4 Determinación de almidón dañado

El contenido de almidón dañado se encuentra en un rango de 5.56-8.61% y se muestran en la cuadro 10, según el análisis de comparación de medias de Tukey P (<0.05), muestran diferencias las muestras.

Azizi y Rao (2004) reporta 10.5% de almidón dañado en harinas con diferentes aditivos, Bretón *et al.*, (2002) 6.3-26.9% con diferentes grados de molienda y Sliwinski *et al.*, (2004) para 6 harinas nativas 5-12%, Kihlberg *et al.*, (2004) 2.70-7.82% de trigos molidos a alto y bajo grado, Farvili *et al.*, (1995) 2.6, 5.6 y 5.1 %.

El almidón dañado es consecuencia del proceso de molienda y un alto grado del daño representa mayor absorción de agua (Kihlberg *et al.*, 2004), la harina H tiene mayor daño, por lo tanto su absorción de agua es mayor y lo contrario sucede con la harina C y D.

Las partículas de harina con mayor daño del almidón conducen a la absorción del agua. Por otra parte, es bien sabido que la absorción del agua aumenta con el contenido proteínico (Miralbes, 2004).

Cuadro 10. Contenido de almidón dañado de harinas nativas de trigos regionales

Muestras	% almidón dañado *
Rayón (A)	8.53 ± 0.28 ^a
Rayón (H)	8.61 ± 0.25 ^a
Rayón (B)	8.36 ± 0.00 ^{ab}
Tarachi (J)	7.60 ± 0.47 ^{bc}
Tarachi (G)	6.86 ± 0.52 ^{cd}
Tarachi (F)	6.56 ± 0.00 ^{de}
Rayón (I)	6.56 ± 0.00 ^{de}
Rayón (C)	5.66 ± 0.41 ^e
Rayón (D)	5.66 ± 0.41 ^e
Rayón (E)	5.79 ± 0.24 ^e

* Media ± desviación estándar, n = 3
^{a, b, c, d, e} Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

El daño de almidón se puede ver afectado por factores genéticos de la variedad de trigo, método y condiciones de molienda. Harina con partículas pequeñas usualmente tiene alto daño de almidón (Kihlberg *et al.*, 2004; Lijuan *et al.*, 2006).

Cierto nivel de daño de almidón es beneficioso para la absorción y fermentación de la masa, sin embargo, un excesivo daño puede sobre hidratar la masa, acelerar la acción enzimática y volumen de pan menor. Varios estudios muestran que la harina con un daño de almidón entre 4.5% y 8.0% tiene mejor efecto en elaboración de pan (Lijuan *et al.*, 2006).

La alfa amilasa ataca al almidón actuando en las uniones alfa 1:4 (glucosídicas) de la amilasa y amilopectina en casi cualquier punto de la molécula, produciendo trozos de 2 o 3 unidades de glucosa (maltosa y maltotriosa), no actúa en unidades terminales y uniones 1:6 de amilopectina. El residuo del ataque de la alfa amilasa sobre el almidón son dextrinas de bajo peso molecular (Kent, 1987)

4.2.5 Determinación de color

El color de la harina depende del índice de extracción, del contenido de cenizas. La harina integral tiene 100% de índice de extracción y cuando el índice de extracción decrece, el contenido de cenizas decrece y el color de la harina por lo tanto es blanca (Kihlberg *et al.*, 2004). El contenido de color de las harinas nativas de trigos regionales se muestra en la cuadro 11. Farvili *et al.*, (1995) reportan para valores L^* 91.3, 89.2 y 90.5.

El color de la harina depende del proceso de molienda y a su vez del contenido de cenizas si este es alto el color es de peor grado (Serna, 1996).

Cuadro 11. Nivel de L^* , a^* , b^* de harinas nativas de trigos regionales

Muestra ^a	L^*	a^*	b^*
Rayón (A)	90.97 ± 0.127	0.66 ± 0.024*	9.70 ± 0.093*
Rayón (B)	91.68 ± 0.143	0.78 ± 0.024	9.94 ± 0.110
Rayón (C)	91.70 ± 0.078	0.77 ± 0.021	9.89 ± 0.090
Rayón (D)	91.49 ± 0.067	0.75 ± 0.026	10.16 ± 0.073
Rayón (E)	91.35 ± 0.076	0.74 ± 0.026	10.15 ± 0.071
Tarachi (F)	91.61 ± 0.078	0.98 ± 0.021	10.67 ± 0.028
Tarachi (G)	91.44 ± 0.080	0.98 ± 0.026	10.69 ± 0.087
Rayón (H)	90.48 ± 0.075	0.57 ± 0.250	9.79 ± 0.059
Rayón (I)	90.99 ± 0.082	0.59 ± 0.030	9.80 ± 0.049
Tarachi (J)	91.61 ± 0.079	0.95 ± 0.024	10.60 ± 0.620

* Media ± desviación estándar, n = 3

No se encontraron diferencias significativas entre las muestras para L^* según la comparación de medias de Tukey P (<0.05), para el análisis por variedad de Tarachi (cuadro 12), pero si existen diferencias en Rayón (cuadro 13). Los altos valores de L^* muestran que son harinas blancas y se relacionan con el bajo contenido de cenizas.

Cuadro 12. Prueba de Tukey de color para Tarachi

Muestra	L*
F	91.61 ± 0.078 ^{a*}
G	91.44 ± 0.080 ^a
J	91.61 ± 0.079 ^a

* Media ± desviación estándar, n = 3

^a Niveles conectados por la misma letra son iguales**Cuadro 13.** Prueba de Tukey de color para Rayón

Muestra	L*
B	91.68 ± 0.143 ^{a*}
C	91.70 ± 0.078 ^a
D	91.49 ± 0.067 ^a
E	91.35 ± 0.076 ^a
A	90.97 ± 0.127 ^b
I	90.99 ± 0.082 ^b
H	90.48 ± 0.075 ^c

* Media ± desviación estándar, n = 3

^{a, b, c} Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

La figura 20 muestra como el contenido de cenizas entre las muestras es muy similar encentrándose entre 0.4 – 0.6%, de color, en brillantes de la harina 90.4 – 91.8 L* valores muy próximos.

Oliver *et al.*, 1993, en su trabajo muestran para 2 trigos suaves y 2 duros, la relación de cenizas y color, a menor contenido de cenizas mayor es la brillantez, que es atribuida al color de la harina principalmente influenciada por el contenido de salvado en la harina y tamaño de partícula.

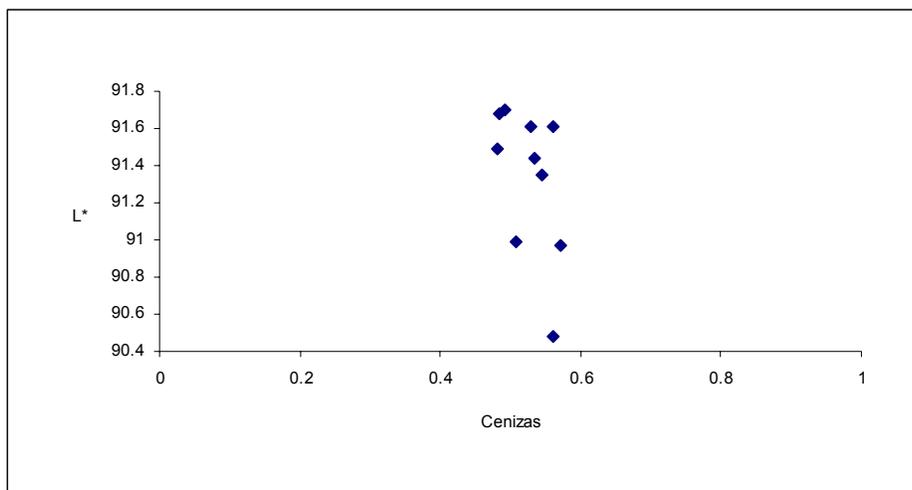


Figura 20. Comparación de color L* contra cenizas

4.2.6 Determinación de proteínas y gluten

El contenido de proteínas total de las harinas nativas se muestran en la cuadro 14, con un rango de 10.65 – 13.18 % de proteína total. Según el análisis de comparación de medias de Tukey P (<0.05) existen diferencias entre las muestras.

Azizi y Rao (2004) reporta 11.3% de proteína de harinas con diferentes aditivos, Angioloni y Dalla (2005) 11.83% en harinas comerciales, Khatkar (1995) de 2 harinas nativas 11.6 y 9.1%, Veraverbeke *et al.* (1998) 11.89% de proteínas de harina nativa, Janssen *et al.* (1996) de 2 harina nativa 10.5 y 12.4%, Sliwinski *et al.* (2004) reporta para 6 harinas nativas 10.3-13.5% de proteína.

De las proteínas formadoras de gluten se encontró para gluten húmedo 28.81 – 37.16 % (cuadro 14). Azizi y Rao (2004) reportan 35% de gluten húmedo para harinas con diferentes aditivos, Angioloni y Dalla (2005) reporta 31.10% de gluten húmedo en harinas comerciales.

La proteína alta de harina (14%) da una masa con alta absorción de agua y volumen de pan con corteza de pan obscura. Por otro lado, la proteína de harina baja (10%) tiene baja absorción de agua (Farvili *et al.*, 1995).

Cuadro 14. Contenido de proteínas y gluten de harinas nativas de trigos regionales

Muestras	% Proteína*	% gluten**
Rayón (A)	13.14 ± 0.05 ^{a+}	37.16 ± 2.30**
Rayón (H)	13.13 ± 0.07 ^a	36.26 ± 0.53
Rayón (I)	13.18 ± 0.01 ^a	36.05 ± 0.39
Rayón (C)	11.51 ± 0.01 ^b	30.53 ± 0.84
Rayón (D)	11.52 ± 0.06 ^b	30.64 ± 0.20
Rayón (B)	11.25 ± 0.06 ^c	31.30 ± 0.25
Rayón (E)	11.30 ± 0.11 ^c	30.60 ± 0.62
Tarachi (F)	10.59 ± 0.05 ^d	29.39 ± 0.50
Tarachi (G)	10.67 ± 0.06 ^d	28.81 ± 0.61
Tarachi (J)	10.65 ± 0.12 ^d	29.06 ± 0.37

*Media ± desviación estándar, n = 3

**Expresado base 14% humedad

+ Expresado en materia base seca

a, b, c, d Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

Se observa en la cuadro 14 con respecto a la variedad el contenido de proteína es mayor en Rayón que en Tarachi.

4.2.7 Análisis alveográfico

El análisis alveográfico de las harinas se presenta en la cuadros 15 y 16, según la prueba de Tukey existen diferencias entre las muestras. Los promedios de los alveogramas se muestran en la figura 4.3.

Los valores obtenidos del alveograma fueron para (P) es 130 a 146 mm H₂O, (L) 57-77 mm y (W) 277-396 10e⁻⁴J., se observaron valores altos para (P) y (W) y bajos para (L) comparados con los de Azizi y Rao (2004) reporta para (P) un rango de 70 – 83 mm, (L) 33-51mm y (W) 104-119 (10e⁻⁴J) en harinas con diferentes aditivos. Angioloni y Dalla (2005) (P) 29.63mm, (L) 118mm y (W) 104 (10e⁻⁴ J) en harinas comerciales. Janssen *et al.*, (1996) de 2 harina nativa (P) mm 55 y 125, (L) mm 86 y 79 y (W) (10e⁻⁴ J) 148 y 364.

La cuadro 15 muestra la fuerza de panificación (W), según los valores usados en la industria local, es factible utilizar harinas con W de 270± 30 para la elaboración de tortillas y W de 320 a 350 para panificación. Por lo que las harinas analizadas se clasificarían todas como

harinas aptas para la elaboración de pan por su fuerza. Las harinas de la variedad Rayón son de mayor fuerza que las de la variedad Tarachi, lo cual se relaciona con su contenido de proteína que es mayor en Rayón que en Tarachi.

La cuadro 16 muestra la relación que existe entre la tenacidad (P) y extensibilidad (L) de la masa, es decir el equilibrio que existe en la masa, el comportamiento del gluten, su relación con la cantidad de agua que absorbe la harina y capacidad de estiramiento.

La harina con una baja configuración de (P/L) indica extensibilidad y poca fuerza en la masa, Agyare *et al.*, (2005) reportan valores de 0.36 P/L en su trabajo. Angioloni y Dalla (2005) reportan 0.25 de P/L en su investigación. Se observa que los valores obtenidos en nuestra investigación son superiores y en la figura 21 se muestra que son harinas de fuerza por la altura sobre el eje de las y que es la tenacidad (P) y que son cortas sobre el eje de las x para extensibilidad (L).

Cuadro 15. Análisis de fuerza (W) de harinas nativas de trigos regionales

Muestra	W (10e ⁻⁴ J)*
Rayón (H)	370 ^a
Rayón (A)	390 ^a
Rayón (I)	396 ^a
Rayón (B)	289 ^b
Rayón (C)	287 ^b
Rayón (D)	305 ^b
Rayón (E)	297 ^b
Tarachi (F)	277 ^b
Tarachi (G)	277 ^b
Tarachi (J)	286 ^b

* Media \pm desviación estándar, n = 3

^{a, b} Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

Cuadro 16. Análisis de tenacidad-extensibilidad (P/L) de harinas nativas de trigos regionales

Muestra	P/L*
Tarachi (J)	2.66 ^a
Rayón (C)	2.39 ^{ab}
Tarachi (F)	2.3 ^{abc}
Tarachi (G)	2.3 ^{abc}
Rayón (B)	2.08 ^{bcd}
Rayón (D)	2.12 ^{bcd}
Rayón (E)	2.28 ^{bcd}
Rayón (I)	1.93 ^{cd}
Rayón (H)	1.82 ^d
Rayón (A)	1.86 ^d

* Media \pm desviación estándar, n = 3
 a, b, c, d Niveles no conectados por la misma letra son diferentes

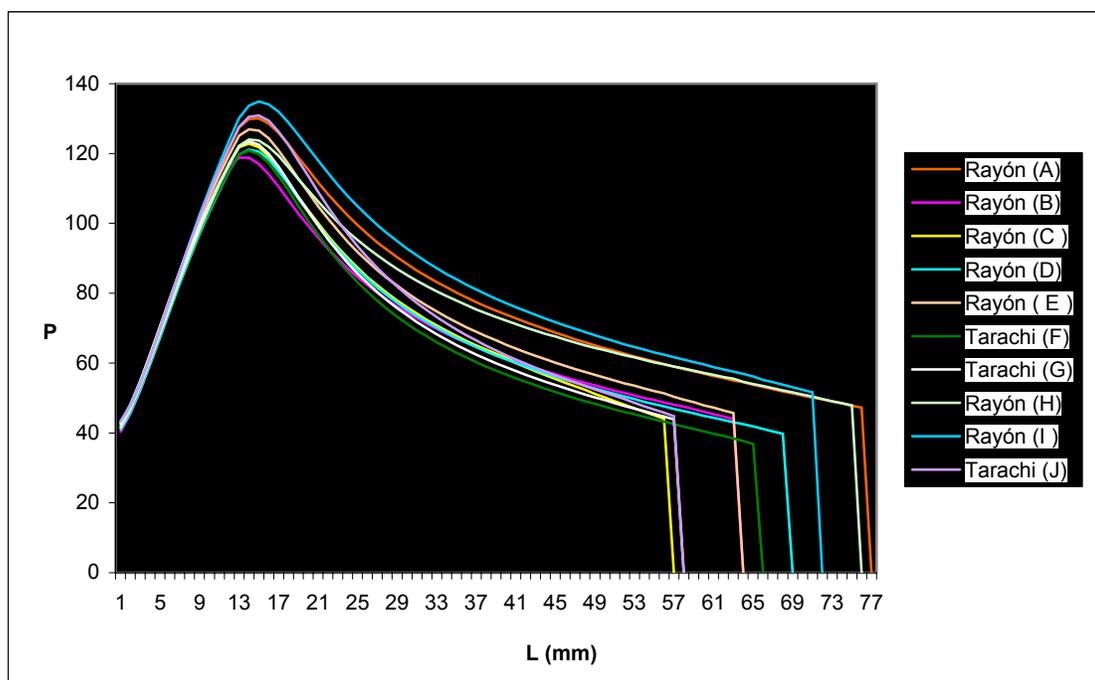


Figura 21. Promedio de los alveogramas de harinas nativas de trigos regionales

En la figura 22 representa el comportamiento que existe entre proteína, fuerza de panificación (W) y volumen de pan, se observa que a un contenido bajo de proteína se tiene una fuerza de panificación baja y a alto contenido de proteína la fuerza de panificación es alta por lo que la fuerza de panificación depende del contenido de la proteína. En el contenido de proteína se pueden observar 3 niveles y el más bajo le corresponde a la variedad Tarachi, los valores medios y altos de proteína son de Rayón. El volumen de pan se observa tiene una tendencia similar a la fuerza de panificación y el contenido de proteína, dependiendo únicamente el volumen del pan de la proteína por ser harinas nativas.

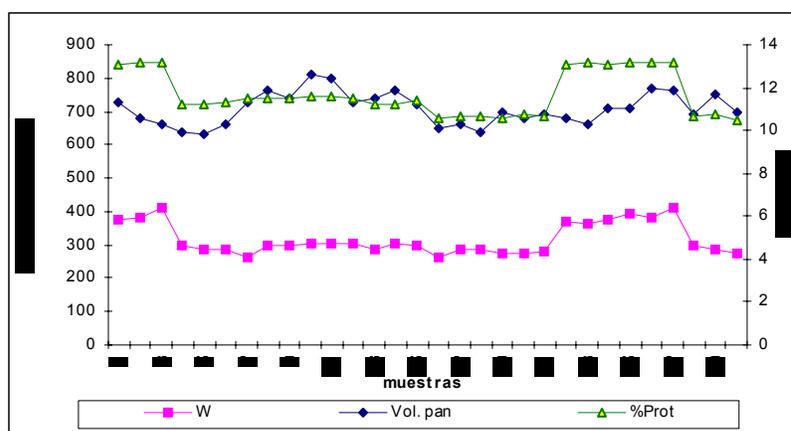


Figura 22. Comportamiento entre proteína, fuerza de panificación (W) y volumen de pan

4.2.8 Pruebas de panificación

Las mediciones del pan se llevaron a cabo después de enfriado, se determinó su volumen, peso y se calculó el volumen específico.

Los parámetros medidos a los panes se muestran en el cuadro 17. El rango de volumen del pan se encuentra entre 637- 732 cm³, se observa que para la variedad Rayón son los volúmenes más altos, para el volumen específico se tiene 3.96 – 4.57 cm³/g.

Los panes se muestran en la figura 23 se presentan en un corte longitudinal donde se observa la miga, corteza del pan, valores de proteínas, fuerza (W) y volumen. Se observa

que los valores más altos de proteína, W y volumen de pan corresponden a la variedad Rayón.

Cuadro 17. Características de las pruebas de panificación

Muestra	Volumen pan* (cm ³)	Peso pan* (gramos)	Volumen especifico (cm ³ /grs)
Rayón (A)	687.5 ± 29.86	169.93 ± 0.56	4.05 ± 0.18
Rayón (B)	640.0 ± 14.14	161.80 ± 1.16	3.96 ± 0.11
Rayón (C)	732.5 ± 25.00	165.45 ± 1.90	4.43 ± 0.17
Rayón (D)	762.5 ± 49.92	166.73 ± 2.05	4.57 ± 0.25
Rayón (E)	740.0 ± 16.33	166.25 ± 0.92	4.45 ± 0.12
Tarachi (F)	637.5 ± 26.29	168.28 ± 0.46	3.97 ± 0.15
Tarachi (G)	672.5 ± 35.94	163.78 ± 1.40	4.11 ± 0.23
Rayón (H)	682.5 ± 20.61	166.90 ± 0.83	4.09 ± 0.13
Rayón (I)	735.0 ± 35.12	163.95 ± 1.63	4.48 ± 0.18
Tarachi (J)	702.5 ± 34.03	165.78 ± 1.31	4.24 ± 0.22

*Media ± desviación estándar, n = 4

Las migas de los panes se evaluaron subjetivamente. Se observaron migas homogéneas, de estructura fuerte, consistente y miga porosa. También se observó alguna cavidad formada por burbujas de aire que quedó atrapada al momento de formar el pan entre la corteza de las muestras A, G y J.

La calidad del pan es un concepto complejo influenciado por varios factores: la calidad del trigo, las propiedades de la harina y el procedimiento de horneado empleado (Kihlberg *et al.*, 2004).

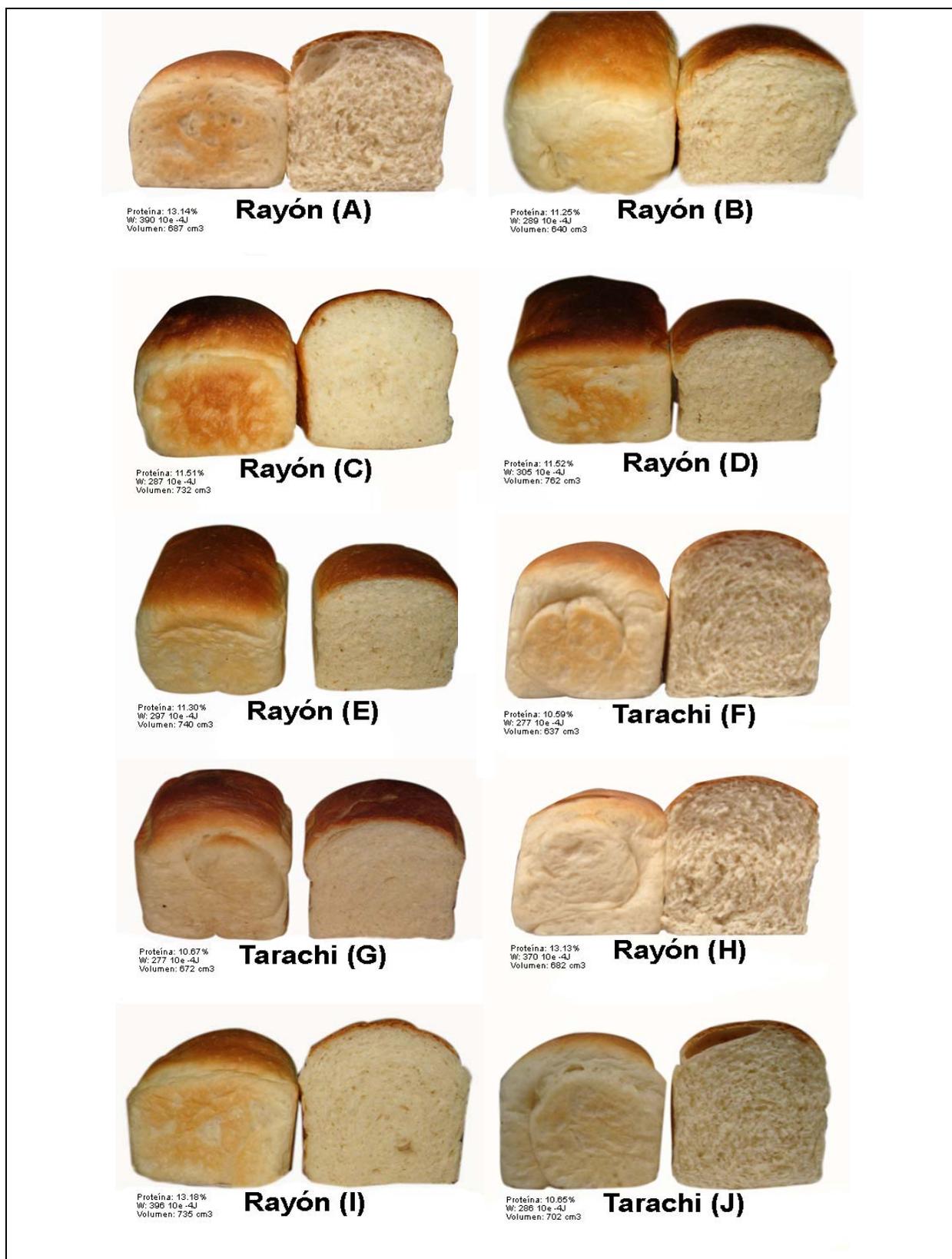


Figura 23. Corte transversal de panes preparados con harinas nativas de trigos regional

Una harina de calidad panadera contiene un alto contenido proteico, que al hidratarse produce un gluten satisfactorio en elasticidad, resistencia, estabilidad, un buen volumen y textura del pan (Kent, 1987).

La figura 24 muestra la relación entre el volumen de pan y el almidón dañado, se observa que a menor daño de almidón se presenta mayor volumen de pan y que el daño de almidón se encuentra entre el reportado por Lijuan *et al.*, 2006, con un buen efecto para la elaboración de pan (4.5% y 8.0%).

El daño de almidón influye en la masa y proceso de panificación, mejorando el potencial de hidratación de la harina, causando una coloración más intensa en el pan, una textura de la masa y miga pegajosa debida a una excesiva hidratación y el volumen de pan puede mejorar la retención de gas en la fermentación si no la masa se hace porosa y pierde volumen en el horno (Dubat, 2004).

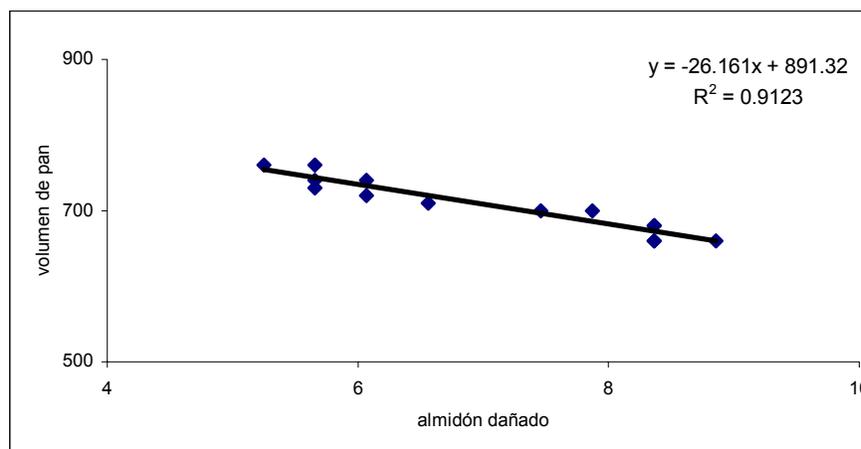


Figura 24. Volumen de pan y almidón dañado

V. CONCLUSIÓN

Las características alveográficas, considerando la fuerza de la masa, muestran que la mayoría de las harinas de trigo adquiridas en el comercio local son apropiadas para la elaboración de tortillas, lo cual puede estar determinado por las características del trigo utilizado o por la presencia de aditivos.

Las harinas nativas obtenidas de la molienda de trigo, Rayón y Tarachi de la cosecha abril-mayo 2005, son adecuadas por sus cualidades alveográficas para la panificación, sin embargo, la variedad Rayón muestra un mayor contenido de proteína, gluten y volumen de pan.

BIBLIOGRAFÍA

AACC (1999). American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN. EUA.

Agyare K.K., Addo K., Xiong Y.L. y Akoh C.C. (2005) Effect of Structured Lipid on Alveograph Characteristics, Baking and textural Qualities of Soft Wheat Flour. *Journal of Cereal Science*, 42, 309 – 316.

Akdogan H., Chung O.K., Singh H. y Lookhart G. (2005) Textural properties of commercial wheat flour tortillas during storage. *IFT Annual Meeting*. New Orleans, Louisiana.

Angioloni A y Dalla R. M. (2005). Dough Thermo-Mechanical Properties: Influence of Sodium Chloride, Mixing Time and Equipment. *Journal Cereal Science* 41: 327-331.

_____ Romani S., Gaetano G. y Dalla M. (2005). Characteristics of Bread Making Doughs: Influence of Sourdough Fermentation on the Fundamental Rheological Properties. *Eur Food Res Technol*.

Atwell W.A. (2003) Overview of Flour Testing. *Cereal Foods World*. 48 (5), 252- 256.

Autio K. y Laurikainen T. (1997) Relationships between flour/dough microstructure and dough handling and baking properties. *Trends in Food Science & Technology*, 8, 181 – 185.

Azizi M.H., Rao G.V. (2004) Effect of Surfactant Gels on Dough Rheological Characteristics and Quality of Bread. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44: 545-552.

Badui S. (1999) Química de los Alimentos. *Longman de México Editores*, S.A. de C.V. Mexico. 28.

Belitz. H., W. Grosch. (1997). Química de los alimentos. Segunda Edición. Zaragoza España. *Editorial Acribia*, S.A. pp. 728-730, 731, 759, 762, 763, 765-767.

Berton B., Scher J., Villieras F. y Hardy J. (2002). Measurement of Hydration Capacity of Wheat Flour: Influence of Composition and Physical Characteristics. *Powder Technology*. 128: 326-331.

Bushuk W. (1998). Wheat breeding for end-product use. *Euphytica* 100: 137-145.

Calucci L., Galleschi, L. Geppi M. y Mollica G. (2004). Structure and Dynamics of Flour by Solid State NMR: Effects of Hydration and Wheat Aging. *Biomacromolecules*: 5 (4) 1536-1544.

Camacho Casas, M., Figueroa López, P., Huerta Espino, J., Martínez Santana, J., y Félix-Valencia, P. (2001). Tarachi F2000 y Atil C2000, nuevas variedades de trigo para el noroeste de México. *SAGARPA-INIFAP-Centro de Investigación Regional del Noroeste*, Campo Experimental Valle del Yaqui. Ciudad Obregón, Sonora, México, Folleto Técnico Número 43.

Cocchi M., Corbellini M., Foca G., Lucisano M., Ambrogina Pagani M., Tassi L., Ulrico A. (2005) Classification of Bread Wheat Flour in Different Quality Categories by a Wavelet-Based Feature Selection/Classification Algorithm on NIR Spectra. *Analytica Chimica Acta* 544:100-104.

Cuq B. Boutrot F., Redi A. Lullien V. (2000) Study of the Temperature Effect on the Formation of Wheat Gluten Network: Influence on Mechanical Properties and Protein Solubility. *Journal Agric. Food Chemistry*, 48 (7) 2954 – 2959.

Dobraszczyk B. J., Ainsworth P., Ibanoglu S. y Bouchan P. (2006). Baking, Extrusion and Frying. *Food Processing Handbook*. Edited by James G. Brennan. Capitulo 8: 237-251.

_____ (2004). The Physics of Baking: Rheological and Polymer Molecular Structure-Function Relationships in Breadmaking. *J.Non-Newtonian Fluid Mech.* 124: 61-69.

_____ Morgenstern M. P. (2003) Review: Rheology and Breadmaking Process. *Journal of Cereal Science*. 38 (3) 229-245.

Don C., Lichtendonk W. J. Plijter J.J., Hamer R.J. (2003). Understanding the Link between GMP and dough: from glutenin particles in flour towards developed dough. *Journal of Cereal Science*, 38, 157 – 165.

Dubat A. (2004). The Importance and Impact of Starch Damage and Evolution of Measuring Methods. Article SDmatic Chopin SAS. <http://www.inventech.nl/producten/pdf-files/StarchDamage.pdf#search=%22effect%20starche%20damage%20bread%20%20pdf%22>.

Duncan J.R. (1989). Tecnología de la Industria Galletera. *Editorial Acribia*, S.A. Zaragoza España.

Eagle H. A., J.F. Panozzo J.F. (2000). Cultivar and Environmental Effects on Quality Characters in Wheat. II. Protein. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51: 629-636.

Edwards N.M., J.E. Dexter y M.G. Scanlon (2001). The Use Rheological Techniques to Elucidate Durum Wheat Dough Strength Properties. *The 5th Italian Conference on Chemical and Process Engineering*, Florence, Italy, vol. 2, 825-830.

Evers T. y Millar S. (2002). Cereal Grain Structure and Development: Some Implications for Quality. *Journal of Cereal Science*. 36: 261-281.

Farvili N., Walter C. E. y Qarooni J. (1995) Effects of Emulsifiers on Pita Bread Quality. *Journal of Cereal Science*. 21: 301-308.

Garrido J., Gutierrez N., Núñez G., Tubio J. y Valderrama G. (2002) Optimización de las Propiedades Reológicas y Fermentativas de la Harina Mediante la Aplicación Combinada de Enzimas de Última Generación. Departamento de Control de Calidad de harinera Vilafrankina, S.A. Cádiz. *Primer certamen convocado por la Asociación Cultural y Técnica de Molineros de España (ACTME) y patrocinado por Apliena*.

Gianibelli M.C., Larroque O.R., MacRitchie F. y Wrigley C.W. (2001) Biochemical, Genetic and Molecular Characterization of Wheat Endosperm Proteins. *American Association of Cereal Chemists, Inc*.

Gil M. J., Callejo M. J. y Rodríguez G. (1997) Effect of Water Content and Storage time on White Pan Bread Quality: Instrumental Evaluation. *Z. Lebensm Unters Forsch A*. 205, 268-273.

Goesaert H., Brijs K., Veraverbeke W.S., Courtin C. M., Gebruers K. y Delcour J.A. (2005). Wheat Flour Constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 16: 13- 30.

Guttieri M.J., Stark J.C. O'Brien K. y Souza E. (2001). Relative Sensitivity of Spring Wheat Grain Yield and Quality Parameters to Moisture Deficit. *Crop Science* 41: 327-335.

Hernández Muñoz P., Villalobos R., Chiralt A. (2004). Effect of Thermal Treatments on Functional Properties of Edible Films Made From Wheat Gluten Fractions. *Food Hydrocolloids*, 18, 647 – 654.

Hoseney R.C. (1992). Principales of Cereal Science and Technology. ED. *The American Association of Cereal Chemists*, inc. Third Printing. Third printing. USA Minnesota.

Janssen A.M., Vliet T. y Vereijken J.M. (1996) Fundamental and Empirical Rheological Behaviour of Wheat Flour Dough and Comparison with Bread Making Performance. *Journal of Cereal Science*. 23:43-54.

Juttelsta A. (1999) Viva Tortilla. Food Product Design.

http://www.foodproductdesign.com/articles/4655//465_0299ap.html#top.

Kent, N. L. (1987). Tecnología de los Cereales. *Editorial Acribia*, S.A. Zaragoza, España: pp. 1, 2, 27, 32, 49, 86, 87,133.

Khatkar B. S., Bell A. E. y Schofield J. D. (1995). The Dynamic Rheological Properties of Glutens and Gluten Sub-Fractions from Wheats of Good and Poor bread Making Quality. *Journal of Cereal Science* 22: 29-44.

Kihlberg I. Johansson L., Kohler A., Risvik E. (2004) Sensory Qualities of Whole Wheat Pan Bread-Influence of Farming System, Milling and Baking Technique. *Journal of Cereal Science*. 39: 67-84.

León K., Mery D., Pedreschi F., León J. (2006) Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research Internacional*. Artículo en prensa.

Lijuan S., Guiying Z., Guoan Z., Zaigui Li. (2006) Effect of Different Milling Methods on Flour Quality and Performance in Steamed Breadmaking. *Journal of Cereal Science*. Artículo en prensa.

Lookhart G. L., Martin M. L., Mosleth E., Uhlen A. K. y Hosney R. C. (1993) Comparison of High-Molecular-Weight Subunits of Glutenin and Baking Performance of Flours Varying in Breda-Making Quality. *Lebensm.-Wiss. Technol.* (26): 301-306.

MacRitchie F., Lafiandra D. (1997). Structure-Function Relationships of Wheat Proteins. *Food Proteins and their Applications. Edited by Srinivasan Damodaran & Alain Paraf.* Marcel Dekker, INC. New York. pp. 293 – 324.

Manohar R. S. y Rao P.H. (1999). Effect of Mixing Method on the Rheological Characteristics of Biscuit Dough and the Quality of Biscuits. *Eur Food Technol*, 210: 43-48.

Manual de Alvéographe NG. (1997). Chopin S.A. Villeneuve la Garenne Francia. Características 1-3, Funcionamiento e interpretación de resultados.

McGrath S.P., Zhao F. J., Blake Kalf M.M.A. (2002) Crop Quality Effects of Sulphur and Nitrogen. *HGCA Conference: Agronomic Intelligence: The Basic for Profitable Production*.

Mesas J. M., Alegre M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 3: 307-313.

Miralbes C. (2003). Prediction Chemical Composition and Alveograph parameters on wheat by Near-infrared Transmittance Spectroscopy. *Journal Agric. Food Chemistry*, 51(21), 6335-6339.

Muhamad I. I. Y Campbell G. M. (2004). Effects of Kernel Hardness and Moisture Content on Wheat Breakage in the Single Kernel Characterisation System. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5:119–125.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-147-SSA1-1996, Bienes y Servicios. Cereales y sus productos. Harinas de Cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de

semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.

Oliver J. R., Blakenney A. B. y Allen H.M. (1993). The Color of Flour Streams as Related to Ash and Pigment Contents. *Journal of Cereal Science*. 17: 169-182.

Peña R. J. (2002). Wheat for Bread and Other Foods. in B. C. Curtis, S. Rajaram, H. Gomez. *Bread Wheat*. Rome.

_____ (1998) Wheat Usage in México and Central America. Wheat end Uses Around the World. Edited by Hamed Faridi and Jon M. Faubion. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA. Capitulo 2, pág. 56.

Pedersen L., K. Kaack, M.N. Bergosoe, J. Alder Nissen (2004). Rheological Properties of biscuits dough from Different Cultivars, and relation ship to Baking Characteristics. *Journal of Cereal Science*, 39: 37-46.

Perego P., A. Sordi, D. Grivon, A. Converti. V. Dovi (2002). Rheological Study in the Pasta Industry by Alveographic. Analysis. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 3: 202-206.

Pérez B. O., Motta E.L., Saiz A.I., Fritz R. (2004) Quality Parameters and Baking Performance of Comercial Gluten Flours. *Lebensm.-Wiss. U.- Technol.* 37: 723-729.

Potter N., J. Hotchkiss (1999). Ciencia de los Alimentos. *Editorial Acribia, S.A.* Zaragoza España 5ta edición pp. 425-426.

Poutanen K. (1997) Enzymes: An Important tool in the Improvement of the Quality of Cereal Foods. *Trends in Food Science & Technology*. 8: 300-306.

Ramírez Jiménez A., Guerra Hernández E. y García Villanova B. (2000) Browning Indicators in Bread. *Journal Agric. Food Chemistry*, 48 (9) 4176 – 4181.

Richardson. A. (1992). Tratado de Molinería. 2da edición pp. 11-114, 255-258, 265-267, 274, 593.597-599.

Rosado, J., Camacho R., Bourges H. (1999). Adición de Vitaminas y Minerales a Harinas de Maíz y de Trigo en México. *Salud Pública de México*, 41 (2) 130-137.

Roudot A.C. (2004). Reología y Análisis de la Textura de los Alimentos. *Editorial Acribia*, S.A. España. 3,28-30.

Tester R.F., Patel T. y Harding S. E. (2006) Damaged Starch Characterization by Ultracentrifugation. *Carbohydrate Research* 341: 130–137.

Quaglia, G. (1991). Ciencia y Tecnología de la Panificación. *Editorial Acribia*, S. A. Zaragoza, España: pp. 1,2, 31-35.

Salvador A, Sanz T., Fiszman S.M. (2003). Rheological Properties of Batters for Coating Products-Effect of Addition of Corn Flour and Salt. *Food Science Technology International*. 9 (1) 23-27.

Sánchez Machado D., López Cervantes J., Ríos Vázquez N. (2005) Transformación Biotecnológica de los Residuos de Camarón de Cultivo. Memorias del encuentro académico:

Avances en el aprovechamiento biotecnológico de productos agropecuarios. Pag. 190-203. Reynosa, Tamaulipas, México.

Santos, M. (1980). Bioquímica de Cereales y sus Productos. México: *Editorial Departamento de Industrias Agrícolas*. pp. 22, 24, 26.

Serna S. R. (1996) Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. *AGT Editor*, S.A. Mexico D.F. 192.

Scade J. (1981). Cereales. *Editorial Acribia*. Zaragoza España: pp. 9,11, 12, 14,15.

Scanlon M.G., Zghal M.C. (2001) Bread Properties and Crumb Structure. *Food Research International*. 34: 841-864.

Shewry P.R. y Halford N.G. (2002) Cereal Seed Storage Proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*. 53 (370) 947-958.

Skoog D.A., Hollere F.S. Nieman T.A. (2001) Principios de Análisis Instrumental. ED. Mc Graw Hill, 5^{ta} ed. España. pp. 12.

Skrabanja V., B. Kovac , T. Golob , L. Elmstanl , I. Kreft (2000). Effect of Spelt Wheat Flour and Kernel on Bread Composition and Nutritional Characteristics. *Journal Agric. Food Chemistry*, 49: 497-500.

Sliwinski E.L., Kolster P., van Vliet T. (2004) On the Relationship Between Large-deformation Properties of Wheat Flour Dough and Baking Quality. *Journal of Cereal Science*. 39: 231-245.

Southan M. y MacRitchie F. (1999) Molecular Weight Distribution of Wheat Proteins. *Cereal Chemistry*. 76 (6):827-836.

Stampfli L. y Nersten B. (1995) Emulsifiers in Bread Making. *Food Chemistry* (52) 352-360.

Su D., Ding Ch., Li L., Su D. y Zheng X. (2005) Effect of Endoxylanases on dough properties and Making Performance of Chinese Steamed Bread. *Eur. Food. Res. Technol.* (220) 540-545.

Van Der Borght A., Goeseaert H., Veraverbeke W. S., Delcour J.A. (2005) Fractionation of Wheat and Wheat Flour into Starch and Gluten: Overview of the Main Processes and the Factors Involved. *Journal of Cereal Science* (41) 221–237.

Veraverbeke W. S., Verbruggen I.M. y Delcour J.A. (1998) Effects of Increase High Molecular Weight Glutenin Subunits Content of Flour on Dough Mixing Behavior and Breadmaking. *Journal Agric. Food Chemistry* (46) 4830-4835.

Wang M., Oudgenoeg G., Ton van Vliet., Hamer R. J. (2003) Interaction of water unextractable solids with gluten protein: Effect on Dough Properties and Quality. *Journal of Cereal Science* (38) 95–104

Waniska R. D., Cepeda M., Sullins B., Adams J. L. Rooney LI. W., Torres P.I., Lookhart G. L., Bean S. R. Wilson J. D. and Bechtel D. B. (2004). Effects of Flour Properties on Tortilla Qualities. *Cereal Foods World* , 49 (4) 237-244.

Williams P. (1997) Variety Development and Quality Control of Wheat in Canada. *The International Japanese Conference on Near-Infrared Reflectance*. Canadian Grain Commission.

Zhang Y., Nagamine T., He Z. H., Ge X.X., Yoshida H. & Peña R.T. (2005) Variation in Quality Traits in Common Wheat as Related to Chinese Fresh White Noodle Quality. *Euphytica* (141) 113-120.