



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA

**Caracterización de la calidad del grano y harina
de un grupo de trigos criollos *Landraces*
cultivados en el Valle del Yaqui, Sonora, bajo
diferentes condiciones ambientales**

**TITULACIÓN POR TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

Licenciado en Tecnología de Alimentos

PRESENTA

Flor Tamara Urbalejo Rodríguez

CD. OBREGÓN, SON.

DICIEMBRE, 2007

El presente trabajo se realizó bajo la supervisión del

Dr. Marco Antonio Gutiérrez Coronado

AGRADECIMIENTOS

Mi principal agradecimiento es a Dios, por darme la vida y hacerme gozar de buena salud, también por haberme dado la oportunidad de terminar mis estudios de licenciatura, El me ha dado paciencia y sabiduría para concluir con éxito esta etapa de mi vida.

Quiero agradecer también a mi familia que siempre ha sido un gran apoyo para mí, especialmente a mis padres Jorge Urbalejo y Flor Rodríguez por sus consejos y su sustento durante todo este tiempo; A mi novio Stuart Keckler por ser confidente y amigo en todo tiempo.

A mi asesor el Dr. Marco Antonio Gutiérrez, por su dirección en este proyecto, al Dr. Matthew Reynolds que me ha brindado un apoyo incondicional, al Dr. Javier Peña que compartió conmigo sus conocimientos y a todo el personal del departamento de Fisiología de CIMMYT que me brindaron su ayuda sinceramente.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Índice de Tablas | |
| Índice de Figuras | |
| Resumen | |
| I Introducción..... | 1 |
| 1.1 Antecedentes..... | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema..... | 2 |
| 1.3 Justificación..... | 2 |
| 1.4 Objetivos..... | 3 |
| 1.4.1 Objetivo general..... | 3 |
| 1.4.2 Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.5 Limitaciones de investigación..... | 4 |
| II Marco Teórico..... | 5 |
| 2.1 Situación actual del la producción de trigo..... | 5 |
| 2.2 Descripción y clasificación botánica..... | 8 |
| 2.3 Composición química de trigo..... | 11 |
| 2.3.1 Proteínas..... | 11 |
| 2.3.2 Almidón y otros carbohidratos..... | 14 |
| 2.3.3 Lípidos..... | 15 |
| 2.3.4 Minerales..... | 16 |
| 2.4 Criterios de la calidad del laboratorio de química y calidad industrial de trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) | 17 |
| 2.4.1 Calidad física..... | 17 |
| 2.4.2 Calidad en las harinas..... | 20 |
| 2.4.3 Calidad Reológica de las masas..... | 22 |
| III Materiales y métodos..... | 26 |

| | |
|--|----|
| 3.1 Peso hectolítrico..... | 27 |
| 3.2 humedad en grano..... | 28 |
| 3.3 Molienda..... | 28 |
| 3.4 Determinación de proteína, dureza y humedad en harina integral y refinada..... | 28 |
| 3.5 Determinación de las propiedades de amasado..... | 30 |
| 3.7 Determinación de las propiedades visco-elásticas..... | 30 |
| 3.8 Electroforesis..... | 31 |
| 3.9 Diseño experimental..... | 34 |
| IV Resultados y discusión..... | 35 |
| 4.1 Dureza del endospermo..... | 34 |
| 4.2 Fuerza general del gluten..... | 36 |
| 4.3 Características de calidad..... | 38 |
| 4.4 Variabilidad de las proteínas..... | 43 |
| 4.5 Usos potenciales..... | 44 |
| V Conclusiones..... | 47 |
| Literatura Citada..... | 48 |

INDICE DE TABLAS

| Tabla No. | Pág: |
|--|------|
| 1. Proteínas que conforman el gluten del trigo..... | 14 |
| 2. Vitaminas y minerales del trigo (mg/100g)..... | 16 |
| 3. Clasificación de la dureza de acuerdo al porcentaje en el NIR..... | 20 |
| 4. Valores de sedimentación para harinas integrales y refinadas de trigo panificable..... | 21 |
| 5. Clasificación de variedades de acuerdo al valor de $Wx10^{-4}$ J y P/L..... | 24 |
| 6. Grupo de genotipos utilizados para determinar características de calidad | 26 |
| 7. Clasificación de los genotipos de acuerdo al tipo del gluten y dureza..... | 35 |
| 8. Medias de proteína en harina y grano, tipo mixográfico índice de sedimentación SDS de los genotipos bajo riego, sequía y calor..... | 38 |
| 9. Correlación de las características de calidad en las harinas integrales de las muestras de riego..... | 39 |
| 10. Interacción del ambiente y genotipo con: SDS, Tiempo mixográfico y proteína en grano..... | 41 |
| 11. Variabilidad de las gluteninas en los diferentes genotipos Landraces..... | 44 |
| 12. Clasificación de genotipos por su uso potencial y la fuerza del general del gluten..... | 45 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura No. | Pág: |
|---|------|
| 1. Zona de producción de Trigo en México (cifras 2001)..... | 6 |
| 2. Diagrama de flujo de las actividades realizadas..... | 27 |
| 3. Clasificación de las muestras cultivadas bajo riego de acuerdo a la fuerza general del gluten..... | 36 |
| 4. Alveograma con $W= 118 \times 10^{-4}$ J tipo gluten débil..... | 37 |
| 5. Alveograma con $W= 291 \times 10^{-4}$ J tipo gluten medio fuerte..... | 37 |
| 6. Mixograma con un tiempo de mezclado de 2 minutos..... | 40 |
| 7. Relación existente entre proteína de harina integral y tiempo de mezclado en las muestras de sequía..... | 42 |
| 8. Relación existente entre el contenido de proteína en harina integral y el índice de sedimentación SDS en las muestras de sequía..... | 42 |

RESUMEN

Se realizó una caracterización de la calidad del grano y harina de 19 genotipos de trigos criollos los cuales fueron cultivados bajo ambientes de riego, sequía y calor en el Valle del Yaqui. Los granos fueron inspeccionados visualmente, mientras que en las harinas se efectuaron análisis de dureza y proteína en equipo NIR, medida del índice de sedimentación SDS, características mixográficas y alveográficas para determinar la fuerza y calidad del gluten y electroforesis para la identificación de proteínas, de los datos obtenidos se elaboro una clasificación de los genotipos por grupos, de acuerdo al uso potencial sugerido por la calidad del gluten. Los mixogramas muestran que hay una influencia del ambiente en la fuerza general del gluten, mientras que la sedimentación demuestra que el genotipo esta relacionado con la capacidad de hidratación de las masas. Sin embargo de los genotipos analizados ninguno muestra una calidad panadera aceptable para la industria mecanizada.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

El trigo es uno de los principales granos para la alimentación, el cual junto con el maíz y el arroz se producen en muchos países. Después del maíz, el trigo también es muy importante para la dieta alimentaria del pueblo mexicano, pues es la base para la elaboración de productos que consumen en grandes volúmenes tales como el pan, tortillas, pastas, galletas y pasteles, entre otros (SAGARPA, 2001).

El trigo contiene nutrientes y valor energético en mayor cantidad que los demás granos y nutricionalmente sólo es comparable con la avena. El consumo humano de este cereal, no puede realizarse directamente, pues requiere un proceso previo de transformación que comienza con la molienda, mediante la cual se obtiene la harina, lo cual ubica a la industria harinera como el eslabón estratégico de la cadena producción-consumo y la constituye como principal demandante del grano (SAGARPA, 2001).

Los criterios de calidad en el trigo son muy variados, en la mayoría de los casos se hace referencia a las características del endospermo ya que proporcionan la información necesaria para determinar la calidad industrial del trigo y de esta manera poder determinar un uso potencial para cada variedad.

En el laboratorio de Química y Calidad Industrial de Trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), las evaluaciones se realizan en base a criterios de calidad física del grano, calidad de las harinas, calidad reológica de las masas y calidad panadera. Para la caracterización de la calidad de los *Landraces* (trigos criollos) se tomaran en cuenta los tres primeros criterios, que proporcionaran información necesaria para hacer una clasificación de los diferentes genotipos analizados de acuerdo al uso potencial que el grado de calidad sugiera.

1.2 Planteamiento del problema.

Las cambiantes condiciones climáticas y la falta de abastecimiento de agua ocasionada por la sequía en el Valle de Yaqui han llevado a la disminución de la producción de diversos cultivos entre estos el trigo; uno de los principales cultivos de la región, tal situación hace necesario el estudio de la interacción del ambiente con la calidad del trigo, ya que esta problemática genera un impacto negativo tanto en la economía como en la disponibilidad del alimento.

1.3 Justificación.

La sequía propiciada por los constantes cambios climáticos que se presentan mundialmente es uno de los más grandes problemas para la agricultura. Por tal motivo se pretende evaluar la adaptabilidad de variedades primitivas de trigo a condiciones ambientales de sequía y calor, que posean una calidad industrial aceptable, aun bajo esas condiciones de estrés abiótico. El cultivar variedades de trigo que han sobrevivido por cientos de años bajo muy variadas condiciones o

utilizar los genotipos de una calidad industrial aceptable como progenitores en la producción de nuevas variedades puede hacer la diferencia entre la disponibilidad o la falta de este alimento en el mundo.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Realizar una caracterización de la calidad del grano y harinas de un grupo de trigos *Landraces* cultivados bajo riego, calor y sequía; por medio de evaluaciones físicas y reológicas de los genotipos, con el fin de clasificarlos de acuerdo a la calidad industrial, para posteriormente sugerir un uso adecuado para cada uno de ellos o bien aprovechar características relevantes para uso futuro en el mejoramiento genético del Trigo.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Evaluar las características de la calidad física del grano requeridas para la comercialización.
- Valorar las propiedades de amasado por medio de mixogramas en harinas integrales y refinadas.
- Determinar las propiedades visco-elásticas por medio de alveogramas en harinas refinadas.
- Identificar el tipo de proteínas contenidas en las muestras por medio de técnicas electroforéticas.
- Clasificar los diferentes genotipos de acuerdo a su grado de calidad y su alternativa de uso potencial.

1.5 Limitaciones de la investigación.

En esta investigación se pretende caracterizar y proponer el uso de variedades que son adaptables a condiciones de estrés, no obstante, es necesario hacer un estudio mas amplio en cuanto a características agronómicas, rendimientos y costos de producción para dichas variedades, de tal manera que sea factible cultivarlas y comercializarlas a la industria.

Una limitación política es que se requiere de supervisión y de un proceso de aprobación por autoridades y organizaciones especializadas, que deliberen si los resultados propuestos en este estudio son o no útiles para ponerlos en práctica.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Situación actual de la producción de trigo.

El trigo fue introducido a México por los españoles poco después de la conquista, y se encontró que se adaptaba bien a los suelos y climas del país; sin embargo, la producción que se obtenía en los campos de cultivo era muy baja debido a un sinnúmero de factores. Uno de los más importantes era la falta de variedades, ya que las indebidamente llamadas “variedades” que se usaban, en este tiempo, en realidad eran mezclas de tipos que diferían en rendimiento, precocidad y calidad industrial y eran susceptibles a la roya o chahuixtles. El rendimiento unitario que se obtenía variaba entre 600 y 800 kg/ha⁻¹, y llegaron a presentar ciclos en que la cosecha se perdía por el año de enfermedades (Solís, 2000).

Según cifras del Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIEAP) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA 2001), la producción total mexicana de trigo durante los últimos diez años (1991-2000) fue de 35.7 millones de toneladas, concentrándose cerca del 85% de la producción en los estados de Sonora (35%), Guanajuato (17.5%), Baja California (11.5%), Sinaloa (9.2%) Michoacán (6.4%) y Jalisco (4.4%).

En el territorio nacional se distinguen las regiones Noroeste y Bajío por su preponderancia en la producción de trigo, siendo los principales estados productores Sonora, Sinaloa, Baja California, Guanajuato, Michoacán y Jalisco (Figura 1).



Figura 1. Zona de producción de trigo en México
 “Fuente: SAGARPA, 2001”.

La Región Noroeste aporta en promedio el 55% de la producción nacional del cereal y el Bajío el 28%, lo que conjuntamente representa más de las tres cuartas partes del total nacional.

La superficie cultivada promedio de trigo en México en la década de los noventa asciende a 898 miles de hectáreas. El área sembrada disminuyó a un ritmo anual de 3.6% debido a los comportamientos negativos de los ciclos Otoño-Invierno y al Primavera-Verano (SAGARPA, 2001).

De la superficie promedio de 898 miles de hectáreas, el 73% corresponde a la cultivada con sistemas de riego. La superficie sembrada en temporal disminuyó en más de 51 mil hectáreas durante el periodo en cuestión, lo que se traduce en un decremento promedio anual de 2.8% debido a problemas climáticos.

La reducción de la superficie sembrada y de la producción de trigo en México se reflejó en el desabasto nacional, y fue consecuencia de la problemática que ha tenido este cereal sembrado bajo condiciones de riego, en donde destaca lo siguiente: 1) problemas fitopatológicos como el carbón parcial, que ha limitado seriamente la siembra de trigo harinero en Sonora y Sinaloa, 2) escasez de agua para la siembra, ya sea por la baja captación de lluvia, por escurrimiento de las principales obras hidrológicas o debido al encarecimiento del agua de bombeo por altos costos de extracción, 3) por último, por la baja rentabilidad del cultivo como consecuencia del incremento de los costos de inversión y del establecimiento o de la baja del precio de la cosecha (Villaseñor, 2000).

El Trigo en Sonora.

El trigo se ha caracterizado por ser el cultivo más ampliamente sembrado en la última década en el sur de Sonora y el Valle del Yaqui en particular. Es un cultivo de estación fría, la temperatura mínima de crecimiento es de aproximadamente 3-4°C, la óptima alrededor de 25°C y la máxima en torno a los 30-32°C. El periodo de siembra del trigo oscila entre el 15 de Noviembre y el 15 de Diciembre.

Así, en los cinco ciclos que precedieron al otoño-invierno 2003-2004, el cultivo de trigo promedió una superficie de siembra de alrededor de las 165,900 hectáreas para drásticamente caer a la siembra de 26,097 hectáreas en dicho ciclo, básicamente debido a la baja disponibilidad de agua en el sistema de presas del río del Yaqui. Sin embargo la disponibilidad de un mayor volumen para el 2005 incrementó la superficie sembrada de trigo a 88,516 hectáreas (Camacho, 1997).

Perspectivas en el abasto nacional.

Las tendencias observadas durante las últimas dos décadas en la producción de trigo a nivel mundial y en E.U.A., como principal país exportador, pronostican desabasto de este grano básico. La producción de trigo en México no escapa de la

tendencia observada en el mundo, incluso su reducción fue sumamente marcada durante los años de 1977-85 al de 1985-97, debido básicamente a la disminución de la superficie cultivada bajo riego.

Es evidente que a futuro habrá problemas para surtir las necesidades de trigo demandado en el mundo, por lo que este grano básico se convertirá en instrumento estratégico para los países desarrollados-exportadores, como lo es México. Ante este panorama, en nuestro país se tendrá que realizar mayores esfuerzos para incrementar los niveles de producción y lograr la autosuficiencia de trigo. Para el año 2020 se estima que México demandará 6.5 millones de toneladas, de las cuales 3.5 millones pueden cosecharse en las áreas irrigadas y que los 3 millones restantes podrán obtenerse en 1.2 millones de hectáreas bajo temporal, perspectiva factible de alcanzar siempre y cuando se disponga de tecnología de punta y se brinde a este cereal apoyo federal y estatal para impulsar programas de fomento que incentiven la participación de los diferentes sectores involucrados en este grano básico (Villaseñor, 2000).

2.2 Descripción y clasificación botánica.

Se conocen tres especies botánicas utilizadas comercialmente en el medio de los alimentos: *Triticum aestivum*, *Triticum durum* y *Triticum compactum* (Henry y Kettlewell, 1996). De estas tres especies los dos primeros son los más utilizados comercialmente.

Con respecto al número de cromosomas (constitución genética), los trigos pueden presentar hexaploidia o tetraploidia (Pomeranz, 1971; Henry y Kettlewell, 1996), lo cual resulta en diferencias en las propiedades físicas, químicas y reológicas entre estos dos tipos de trigo. Estas diferencias son responsables de que los trigos

hexaploides (harineros o panaderos) y los tetraploides (cristalinos o macarroneros), tengan usos distintos en la industria alimentaría. Los trigos también son clasificados de acuerdo a su hábitat de crecimiento en trigos invernales y primaverales (Camacho, 1997).

Estructura del grano de trigo.

Un grano de trigo tiene por lo general un centímetro de largo, medio centímetro de ancho y peso de 35 mg. El tamaño del grano varía ampliamente según la variedad y la posición de la espiga. Es oviforme con una profunda fisura o surco que corre a lo largo de uno de los dos lados y en uno de los extremos varios pelos, conocidos como barba. El grano está encerrado en una cubierta exterior llamado salvado que consiste en varias capas diferentes y constituye cerca del 15 % de todo el grano de trigo (Hoseney, 1991).

Endospermo.

El endospermo feculento, está constituido por tres tipos de células: periféricas, prismáticas, y centrales. La primera fila de células son periféricas, con diámetros iguales. Rodeadas por las células periféricas se encuentran varias filas de células prismáticas alargadas que miden unos 150 x 50 μm . Las células centrales quedan rodeadas por las células prismáticas; su tamaño y forma son irregulares. Las paredes celulares del endospermo, están formadas por pentosanas, hemicelulosas y β -glucanas. Las células están repletas de granos de almidón incluidos en una matriz proteica (Hoseney, 1991).

Pericarpio.

El pericarpio rodea toda la semilla y está formado por varias capas. El pericarpio exterior lo constituyen la epidermis y la hipodermis. La parte más interna del pericarpio exterior está formado por células de capa delgada. La separación de estas

capas facilita el paso del agua al pericarpio. El pericarpio interior esta formado por células intermedias, cruzadas y tubulares. Las células cruzadas son largas y cilíndricas (aproximadamente $125 \times 20 \mu\text{m}$), estas células están densamente dispuestas, con poco o nada de espacio intercelular. Las células tubulares son del mismo tamaño, pero no se encuentran de manera densa lo que permite observar muchos espacios intercelulares. El pericarpio comprende el 5% del grano y esta formado aproximadamente por un 6% de proteína, 2% de cenizas, 20% de celulosa y 0.5% de grasa (Hoseney, 1991).

Cubierta de la semilla y epidermis nuclear.

Las células tubulares unen por su lado exterior a la cubierta de la semilla y a la epidermis nuclear por el interior. La cubierta de la semilla esta compuesta por tres capas: una cutícula exterior gruesa, una capa pigmentada (en los trigos coloreados) y una cutícula interior fina. El espesor de la cubierta de la semilla varia entre 5 y 8 μm . La epidermis nuclear o capa hialina, tiene unos 7 μm de espesor y esta unida estrechamente, tanto a la cubierta de la semilla como la capa de aleurona (Hoseney, 1991).

Capa de aleurona.

La capa de aleurona, tiene el espesor de una célula, rodea el grano completamente incluyendo el endospermo feculento y el germen. Las células de la aleurona tienen paredes gruesas, su forma es cúbica y carecen de almidón. El grosor medio de las células es de 50 μm . La capa de aleurona es rica en cenizas, proteína, fósforo total, grasa y niacina, además de ser rica en vitaminas (tiamina y riboflavina) y enzimas. Las proteínas de aleurona son hidrosolubles y carecen de influencia sobre las propiedades panificadoras del trigo.

El salvado contiene una elevada cantidad de vitamina B y alrededor del 50 por ciento de los elementos minerales presentes en el grano y consta principalmente de celulosa, la cual es indigerible por los humanos.

El germen, que esta situado en la base del grano, es la verdadera semilla o embrión y abarca del 2.5 al 3.5% del grano. Está constituido por dos partes principales: el eje embrionario (raíz y tallo rudimentarios) y el escutelo que funciona como almacén. Es rico en grasas, proteínas, vitaminas del grupo B, vitamina E (tocoferol) con cifras que llegan a 500 ppm, enzimas y hierro. Los ácidos grasos combinados presentes en las grasas son en su mayor parte ácidos grasos esenciales.

Un tejido membranoso llamado escutelo separa el germen del endospermo; dicho escutelo es rico en tiamina y contiene al rededor del 20 % de la tiamina presente en el grano. El endospermo esta constituido principalmente por almidón y sirve como reserva de alimentos para el germen. Es con mucho el mayor componente y constituye la mayor parte del trigo.

Los gránulos de almidón están embebidos en una matriz de proteína y la periferia del endospermo esta compuesto por una sola capa de células desconocida como capa de aleurona. Dicha capa contiene una proporción mas elevada de proteínas que el endospermo como un todo, pero desafortunadamente es removida junto con el salvado durante la molienda de trigo (Hoseney, 1991).

2.3 Composición química del trigo

2.3.1 Proteínas

La cantidad de proteína en grano de trigo es controlada en gran medida por factores tales como condiciones de disponibilidad de agua durante la maduración, contenido

de nitrógeno en el suelo, manejo de cultivo y aplicación de fertilizantes nitrogenados (Symes, 1965).

Las proteínas del trigo son deficientes principalmente en tres aminoácidos: lisina, treonina y metionina. El aminoácido lisina que es el más limitante, solamente puede ser incrementado mediante la manipulación genética. Los aminoácidos de mayor cantidad en las proteínas del trigo son el ácido glutámico y la prolina.

Las proteínas del grano del trigo (Tabla 1) son divididas según su grado de solubilidad en: globulinas (solubles en soluciones salinas), albúminas (solubles en agua) gluteninas (solubles en álcali y ácido) y gliadinas (solubles en alcohol) (Hoseney, 1986).

La cantidad de proteína del gluten esta influenciada directamente por la proporción de gliadinas y gluteninas, así como la presencia de unidades específicas de gluteninas de APM y BPM que pueden contribuir de manera negativa o positiva a la obtención de gluten fuerte y extensible (Weegels *et al.*, 1996).

Las proteínas del grano con mayor influencia en la calidad de panificación del trigo son las gluteninas ya que al entrar en contacto con el agua forman el gluten que confiere visco-elasticidad a la masa, lo cual favorece la aeración (durante la fermentación) y la expansión de la misma durante la elaboración del pan. La composición de las gluteninas y gliadinas, se encuentra bajo control genético y por lo tanto es una característica varietal, es responsable de las diferencias en características visco-elásticas (reológicas) que existen entre harinas de distintas variedades de trigo.

Tanto el contenido de proteína como la composición del gluten están directamente correlacionados con características importantes de las masas de panificación tales como tiempo de mezclado y tolerancia al mezclado, fuerza, extensibilidad y características de manejo. En su conjunto estas propiedades reológicas determinan

la aptitud panadera así como el volumen del pan y la estructura de la miga (Graybosch *et al.*, 1990). Es por todo esto que la calidad de las proteínas tiene tanto peso en el estudio de la industrial del trigo.

Gluteninas.

Estas proteínas se clasifican en alto peso molecular (APM) 90,000-150,000 Da y bajo peso molecular (BPM) 44,000-51,000 Da. Las gluteninas de APM son codificadas por genes localizados en la región cercana al centrómero, en el brazo largo de los cromosomas 1A, 1B, 1D, en el tanto que las de BPM en la parte distal del brazo corto de los mismos cromosomas. El grupo complejo de genes que controlan las gluteninas de APM es denominado Loci Glu-1 y el que controla las gluteninas de BPM Glu-3 (Bietz *et al.*, 1995; Payne *et al.*, 1980). Cada locus que controla subunidades de gluteninas de APM y de BPM (Glu-A1, Glu-B1, Glu-D1 y Glu-A3, Glu-B3, Glu-D3, respectivamente) puede presentar 2 o mas variantes alelicas las cuales resultan en subunidades de gluteninas de APM y BPM con distintas características de movilidad electroforética influenciada por tamaño (peso molecular) del péptido y la composición del mismo (Gupta *et al.*, 1990). Estos polímeros presentan grupos sulfhidrilo que les permiten interconectarse para formar polímeros de gran tamaño (2-3 millones de Da). Estos macro polímeros conforman la estructura principal del gluten (Lafiadra *et al.*, 1999).

Las subunidades de glutenina de APM y BMP pueden ser determinadas directamente a partir de una separación electroforética (en gel de poliacrilamida con dodecil-sulfato sódico, SDS-PAGE por sus siglas en ingles) y pueden ser clasificadas de acuerdo a la nomenclatura que utiliza números o letras para denominar variaciones alelicas (Gupta *et al.*, 1990; Payne y Lawrence, 1983) (Tabla 1).

Tabla 1. Proteínas que conforman el gluten del trigo

| Proteínas | Locus | Cromosoma |
|---------------------------|------------------------|------------------|
| <u>Gluteninas:</u> | | |
| Alto Peso Molecular | Glu-A1, Glu-B1, Glu-D1 | 1AL, 1BL, 1DI |
| Bajo Peso Molecular | Glu-A3, Glu-B3, Glu-D3 | 1AC, 1BC, 1DC |
| <u>Gliadinas:</u> | | |
| Y- y ω - gliadinas | Gli-A1, Gli-B1, Gli-D1 | 1AC, 1BC, 1DC |
| A- y β -gliadinas | Gli-A2, Gli-B2, Gli-D2 | 6AC, 6BC, 6DC |

“Fuente: Salazar *et al.*, 2000”.

La composición de las gluteninas de APM y de BPM es de gran importancia en la definición de la calidad de una variedad de trigo ya que entre las variaciones alelicas (subunidades) de un locus algunas subunidades contribuyen positivamente mientras otras lo hacen negativamente. Por ejemplo, entre variaciones de locus Glu-B1, las subunidades 20, 7, 13+19 tienen efecto negativo mientras que 7+8, 7+9, 17+18 contribuyen positivamente a la obtención de gluten fuerte y extensible (Gupta *et al.*, 1990; Peña *et al.*, 1990). El efecto en calidad de las subunidades de glutenina de APM que más frecuentemente se presentan en trigo harinero.

2.3.2 Almidón y otros carbohidratos.

El almidón es el principal carbohidrato de reserva de los cereales, y está presente únicamente en el endospermo. El almidón de los cereales está formado por 25% de amilasa y por un 75% de amilopectina. Los granos de almidón aparecen como granos grandes, lenticulares (en forma de lente) con hasta 40 μm de diámetro y como pequeños granos esféricos (de 2 a 8 μm de diámetro). Entre los constituyentes heterogéneos del almidón se encuentran los lípidos y las proteínas 0.5%. Los lípidos

encerrados en el almidón retardan el hinchamiento y aumentan la temperatura de gelatinización, influyendo por lo tanto en el proceso de panificación.

Pentosanos.

La harina del trigo contiene de 2 a 3 % de pentosanos, siendo de 1 a 1.5 % hidrosolubles, la fracción de pentosanos solubles puede absorber de 15 a 20 veces más que las proteínas solubles debido a esto, forman disoluciones altamente viscosas. Los pentosanos solubles e insolubles juegan un papel importante en las propiedades panificables del trigo, puesto que participan, entre otras cosas, en la formación del gluten.

Azúcares.

Existen concentraciones bajas de mono, di y trisacáridos. En la medida en que se producen por degradación del almidón sus niveles aumentan durante la preparación de la masa. Los mono, si y trisacáridos son importantes para el esponjamiento de la masa a cargo de las levaduras (Belitz y Grosch, 1997).

2.3.3 Lípidos.

Los lípidos se almacenan en el germen y en la capa de la aleurona, un grano de trigo contiene 0.92 – 1.24 μm de lípidos; además el germen y la capa de la aleurona son ricos en triglicéridos presentes como esferosomas, predominando en el endospermo fosfo y glicolípidos. Existen los lípidos ligados al almidón que son los triglicéridos y los digalactosil-diacilgliceridos y los que no están donde predominan los lisofosfatidos.

La harina de trigo contiene de 1.5 a 2.5 % de lípidos, la porción lipídica mas abundante se encuentra en el germen de trigo. Los lípidos no ligados al almidón se dividen en libres y ligados cuando se extraen con disolventes de diferente polaridad. La fracción lipídica libre contiene el 90% del total de lípidos apolares y el 20% de lípidos polares. Estos últimos influyen enriqueciendo en la interfase gas – líquido y estos estabilizan las burbujas de gas frente a la coalescencia. Además de las vesículas de lípido no polares influyen negativamente. Los carotenoides y los tocoferoles pertenecen a los componentes menores de la fracción lipídica (Belitz y Grosch, 1997).

2.3.4 Minerales.

En general la mayor cantidad de minerales (61 % del total) se concentran en la capa de aleurona y las vitaminas en la aleurona o el escutelo o en ambos, en la tabla 2, se observan los minerales y las vitaminas así como su concentración en mg/100 g de trigo.

Tabla 2. Vitaminas y minerales del trigo (mg/100 g)

| Vitaminas | Contenido |
|-------------------|-----------|
| Tiamina | 0.55 |
| Riboflavina | 0.13 |
| Niacina | 6.4 |
| Ácido pantoténico | 1.36 |
| Piridoxina | 0.53 |
| <u>Minerales</u> | |
| Fósforo | 410 |
| Potasio | 580 |
| Calcio | 60 |
| Magnesio | 180 |
| Hierro | 6 |
| Cobre | 0.8 |
| Manganeso | 5.5 |

“Fuente: Hosney, 1991”.

2.4 Criterios de la calidad del laboratorio de química y calidad industrial de trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

En el laboratorio de Química y Calidad Industrial del Trigo de CIMMYT se analizan las variedades de trigo de acuerdo a los siguientes criterios, los cuales tienen como objetivo mejorar la calidad industrial.

Criterios para la comercialización.

El proceso de comercialización requiere de criterios de calidad medibles a través de metodologías estandarizadas a nivel mundial. De acuerdo a la Asociación Americana de Químicos Cerealeros (American Association of Cereal Chemists AACC, 1983) se consideran cinco áreas para clasificar por calidad a las variedades de trigo: 1) Calidad física, 2) Calidad molinera, 3) Calidad en harinas, 4) Calidad reológica y 5) Calidad del producto final (pan, galletas o pastas), dependiendo de la clase y tipo del gluten. Cada una de estas áreas de calidad proporciona datos que permiten a los programas de mejoramiento genético formar nuevas variedades con mejores características, ayudan a determinar calidad para almacenamiento, además de ofrecer a los industriales la mejor información de las variedades para predecir rendimientos harineros y calidad del producto final (Salazar *et al.*, 2000).

2.4.1 Calidad física.

Los principales parámetros utilizados para clasificar la calidad física del grano son peso hectolítrico, peso de mil granos, tamaño y forma del grano, dureza, análisis fitosanitarios y danos ocasionados por efectos ambientales, deficientes prácticas culturales y enfermedades; también se considera el contenido de humedad. Todas

estas pruebas son de carácter físico o visual, con excepción del contenido de humedad.

Peso hectolítrico.

Este parámetro en el comercio mundial es uno de los más importantes, debido a que está relacionado con la condición física del grano y por lo tanto con la densidad real del grano la cual se expresa en kg l^{-1} . La densidad del grano está determinada por la estructura biológica y la composición química, incluyendo el contenido de humedad. El peso hectolitrico está influenciado por la forma y el tamaño del grano. Otros factores como la presencia de trigos inmaduros, trigos dañados, severamente por sequía o por enfermedades disminuyen el peso hectolítrico y por lo tanto el rendimiento harinero (Halverson y Zeleny, 1988).

Generalmente granos cosechados en condiciones de riego presentan valores altos de peso hectolítrico (82 kgl^{-1}). Los cuales son mayores a los valores de un grano chupado o dañado por sequía. Para el molinero existe una relación directa debido al potencial de rendimiento harinero (Peña, 2002).

Color del grano.

El color del trigo es determinado por una capa de pigmentos localizados entre el endospermo y las capas externas del grano (pericarpio); el trigo harinero se clasifica en color blanco y rojo y semi-rojo, los trigos blancos carecen de pigmento. La presencia y el tipo de pigmentos es una función genética y, por lo tanto puede ser objeto de manipulación por parte del fitomejorador, para conseguir el color deseado. De manera general se puede mencionar que los trigos para la producción de harina utilizada en la elaboración de pan o en la mezcla con otros trigos para este propósito los trigos son utilizados preferentemente en los productos de repostería.

El color es de poca relevancia en la calidad de procesamiento de la harina refinada de trigo, siendo mas importante el color del grano en productos elaborados con harina integral y con harinas refinadas de alta extracción (mayor del 80%) o en productos como cereales para desayuno (el trigo “inflado” o el trigo hijuelado) para lo que se prefiere el trigo blanco (Peña, 2002).

Dureza y proteína.

La dureza es producida por la fuerza de unión entre la proteína y el almidón en el endospermo, la cual es controlada genéticamente. En trigo duro se observa por microscopia la proteína cubriendo o adhiriéndose muy bien a la superficie del almidón y no solo esto sino que el enlace entre ambos es fuerte. Es importante mencionar que el índice de dureza no está relacionado directamente con el contenido de proteína.

La dureza influye en el tiempo de molienda, consumo de energía y en la calidad de las harinas obtenidas. En el endospermo duro se encuentra la proteína, el almidón y otros componentes del grano más íntimamente relacionados. Debido a esto, los trigos con endospermo duro requieren mayor consumo de energía, para reducir las partículas de harina a los tamaños deseados por lo que se produce mayores niveles de almidón dañado (almidón fracturado durante la molienda) y un nivel alto de almidón dañado está relacionado con una alta absorción de agua y por consecuencia con la retención de la frescura en el producto final (textura de miga del pan) (Miller *et al.*, 1982).

Una cantidad pequeña de almidón dañado (aproximadamente 8%) es deseable en harinas de panificación. Sin embargo altos niveles de almidón dañado no permiten buena expansión de la masa, buen quebrado de la costra, ni buena expansión de la miga. En contraste, en harinas destinadas para la elaboración de galletas son deseables harinas que adsorban agua lo menos posible para evitar una reducción en la capacidad de expansión de la galleta durante el horneado (Miller y Hosenev,

1997). Debido a esto la industria galletera prefiere trigos suaves que producen harinas con cantidades mínimas de almidón dañado.

El trigo harinero se clasifica por su dureza de grano (textura de endospermo) en duro, semi-duro, semi-suave y suave de acuerdo con el porcentaje obtenido en el infrarrojo (conocido como NIR o NIT, por near reflectance/transmitance respectivamente). En la Tabla 3, se muestra la clasificación de tipos de dureza usados para trigo de temporal.

Tabla 3. Clasificación de la dureza de acuerdo al porcentaje en el NIR

| CLASE DE DUREZA | NIR (%) |
|-----------------|---------|
| Duro | ≤49 |
| Semi-duro | 50-59 |
| Semi-suave | 60-62 |
| Suave | ≥62 |

“Fuente: Peña, 2002”.

Contenido de Humedad en grano.

Por sanidad de grano (para evitar la infestación con hongos) la humedad máxima permisible en grano de trigo es de 14%, así mismo este dato nos indica el tipo de manejo durante el almacenamiento ya que a humedades superiores al 14%, su manejo se vuelve costoso debido a inversiones en secado (Salazar *et al.*, 2000).

2.4.2 Calidad en las harinas.

Los criterios de calidad de la harina son los siguientes: 1) contenido de ceniza y proteína, 2) gluten húmedo y seco, 3) color de harina, 4) actividad enzimática (falling number) y 5) almidón dañado. Esta información permite clasificar a las harinas de

acuerdo a su composición química, la cual permite predecir las características de procesamiento y de panificación que dependen del contenido de proteína y calidad. Estos dos últimos son criterios importantes en la formación de variedades y en la determinación de calidad (Salazar *et al.*, 2000).

Volumen de sedimentación SDS (por sus siglas en ingles usadas para referirse al dodecil sulfato de sodio).

Por medio de esta prueba se determina la capacidad de hidratación y expansión de la proteína del gluten (en ml) debido a la interacción entre gliadinas y gluteninas. El volumen de sedimentación con SDS, se puede aplicar en harina integral o refinada, dicho volumen esta definido principalmente por la calidad de la proteína que está influenciada por el contenido de proteína y factores ambientales como son: brotamiento, daño por calor, daño por helada, etc. (Peña *et al.*, 1990).

Interpretación de sedimentación-SDS para muestras de proteína en grano y harina en los rangos de 11.0-15.0% y 9.0-13.0% (12% de humedad) respectivamente, bajo condiciones de riego y en ausencia de danos por calor y heladas (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de sedimentación para harinas integrales y refinadas de trigo panificable.

| Tipo de gluten | Trigo panificable | |
|----------------|-----------------------------------|-----------------|
| | Harina integral | Harina refinada |
| | Volumen de sedimentación-SDS (ml) | |
| Fuerte | 13.0-21.0 | 15.0-25.0 |
| Medio fuerte | 10.0-14 | 12.0-16.0 |
| Suave | ≤10.0 | ≤12.0 |

“Fuente: Peña, 1990”.

Líneas que presenten valores de textura de grano duro a semi-duro con niveles medios a altos de proteína y altos volúmenes de sedimentación, son líneas seleccionadas como aceptables para la panificación. Por otro lado son seleccionados como trigos galleteros las líneas que presentan endospermo suave con valores bajo de proteína y valores medio a bajos de sedimentación. Esta prueba, en su versión micro, permite evaluar varios cientos de muestras en un día, por lo que, esta prueba es la mas utilizada en programas de mejoramiento genético de trigo para seleccionar líneas por fuerza general del gluten (Peña *et al.*, 1990).

2.4.3 Calidad reológica de las masas.

Las pruebas reológicas de las masas son las mas importantes para determinar los usos industriales de las harinas, ya que están relacionadas con las propiedades físicas del gluten hidratado y formado por la acción del amasado en el proceso de panificación, y están estrechamente vinculadas con los parámetros de procesamiento (absorción de agua, tiempo de amasado) y calidad del producto final.

Varios instrumentos se han diseñado para medir las características físicas reológicas de las masas y se han utilizado ampliamente en los programas de mejoramiento del trigo en el mundo. Destacan el alveógrafo, farinógrafo, extensógrafo y mixógrafo. Cada uno de estos instrumentos proporciona parámetros físicos de las masas y se complementan para dar información mas completa de la calidad y su significado industrial, en el procesamiento de las mismas en la elaboración de diversos productos horneados. (Salazar, 2000).

Determinación de las propiedades del amasado.

El mixógrafo es una combinación de agujas rotativas y fijas para mezclar harina y agua que se usa para predecir la calidad de la proteína. Al hidratarse la proteína forma fibrillas que son alineadas en un matriz por la acción del mezclado y son las

que permiten incrementar la extensibilidad del sistema. Esta acción de mezclado es el mas parecido del tipo comercial (Baenzinger *et al.*, 2001).

La información que se puede obtener del mixógrafo es la siguiente:

- Absorción de agua óptima. La cantidad de agua afecta la consistencia de la masa y el desarrollo de la misma. Los niveles altos de absorción de agua indican alta calidad de las proteínas de la harina.
- El punto medio de la cima de la curva, indica el desarrollo óptimo de la masa.
- El tiempo requerido para producir la cima de la curva es un indicador de la fuerza de la proteína, una cima alargada de la curva indica gluten fuerte.
- Descenso de la curva. El ancho de la curva, el ángulo de descenso, y la caída de la misma a un tiempo determinado después del desarrollo óptimo indican la tolerancia de la masa al sobremezclado. Una curva bien definida con una banda ancha, ángulo de descenso pequeño y caída pequeña indica buena resistencia al sobremezclado y calidad superior en la proteína.

La finalidad de esta prueba es eliminar la mayoría de los tipos de gluten de fuerza débil a media con pobre extensibilidad e indeseables para la industria de la panificación mecanizada y semimecanizada. Una ventaja de la utilización del mixógrafo en etapas tempranas de programas de mejoramiento es que requiere de muestras pequeñas para su análisis 10 y 35 g y menor tiempo en la realización de la prueba.

Determinación de las propiedades visco-elásticas.

Desde los estudios realizados por Chopin, el Alveógrafo ha sido utilizado principalmente para evaluar la calidad de panificación de las harinas de trigo. Los parámetros que se evalúan son:

- La altura (h) de la curva, que mide la presión aplicada durante el inflamamiento e indica la tenacidad de la masa.

- La longitud de la curva (L), que mide la extensibilidad de la masa, desde la aplicación de la presión hasta el rompimiento de la superficie de la burbuja.
- El área bajo la curva (S) la cual representa la fuerza optima de la masa.

Y dos valores adicionales:

P(mm) que representa la máxima presión y se calcula mediante la siguiente formula:

$$P = 1.1 \times h$$

W indica la fuerza total del gluten, las unidades $W \times 10^{-4} \text{ J}$ expresan el trabajo mecánico usado para romper la masa, y se calcula mediante la siguiente formula.

$$W = 6.54 \times S$$

Los parámetros alveográficos más importantes son: tenacidad, extensibilidad, fuerza general y el cociente tenacidad-extensibilidad, que se utiliza para clasificar las características del alveograma en balanceado, extensible y tenaz. Estos dos últimos valores conocidos en la industria como W y P/L o P/G (por su terminología en ingles) y se puede clasificar variedades de trigo como se expresa en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de variedades de acuerdo al valor de $W \times 10^{-4} \text{ J}$ y P/L

| Grupo | Valor de $W \times 10^{-4} \text{ J}$ | P/L |
|-----------------------|---------------------------------------|------------|
| 1 Gluten fuerte | ≥ 300 | ≤ 1.2 |
| 2 Gluten medio fuerte | 200 – 300 | ≤ 1.2 |
| 3 Gluten suave | ≤ 200 | ≤ 1.2 |
| 4 Gluten tenaz | ≤ 200 | ≥ 1.2 |

“Fuente: Peña, 2002”.

Por medio de esta prueba reológica variedades de gluten suave, medio-fuerte y fuerte con buena extensibilidad tienen un uso específico en las industrias que procesan este cereal y son indeseables variedades de trigo con fuerza de gluten suave-tenaz y medio-tenaz con pobre extensibilidad.

Los usos industriales de las variedades de trigo se clasifican de acuerdo con la cantidad de proteína del gluten. Así, las panificadoras industriales utilizan trigos con alto contenido de proteína ($\geq 12.5\%$) para producir harinas útiles en la preparación de masas con características de gluten fuerte y elástico apto para panificación. Por el contrario la industria galletera demanda variedades con menor contenido de proteína ($\leq 10.5\%$) y características de gluten débil (D'Appolonia *et al.*, 1992).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos propios a este proyecto se realizaron en el Centro de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ubicado en el Batán estado de México, en el laboratorio de Química y Calidad Industrial de Trigo, en donde se realizaron análisis físicos, químicos y reológicos a las muestras de riego, sequía y calor. En la tabla 6 se muestran los genotipos utilizados:

Tabla 6. Grupo de genotipos utilizados para determinar características de calidad.

| Genotipos |
|--------------------|
| MASSIV/PPR47.89C |
| OLIMPIA2/SLM |
| P378/ZHNITSA |
| HGO94.9.1.52 |
| HGO94.9.1.54 |
| MEX94.2.38 |
| PUB94.15.1.12 |
| GTO95.1.27 |
| CHIH95.3.28 |
| CHIH95.3.37 |
| CHIH95.3.38 |
| CHIH95.3.52 |
| CHIH95.4.6 |
| CHIH95.4.12 |
| CHIH95.5.15 |
| CHIH95.5.29 |
| CHIH95.5.33 |
| CHIH95.7.4 |
| KAMBARA1(TACUPETO) |

Los genotipos anteriores son un grupo de trigos criollos denominados *Landraces* los cuales fueron seleccionados de diferentes regiones del país por su resistencia a diferentes condiciones ambientales.

A continuación se presenta el diagrama de flujo (Figura 2) de los análisis que se realizaron y posteriormente se muestran los métodos y aparatos utilizados.

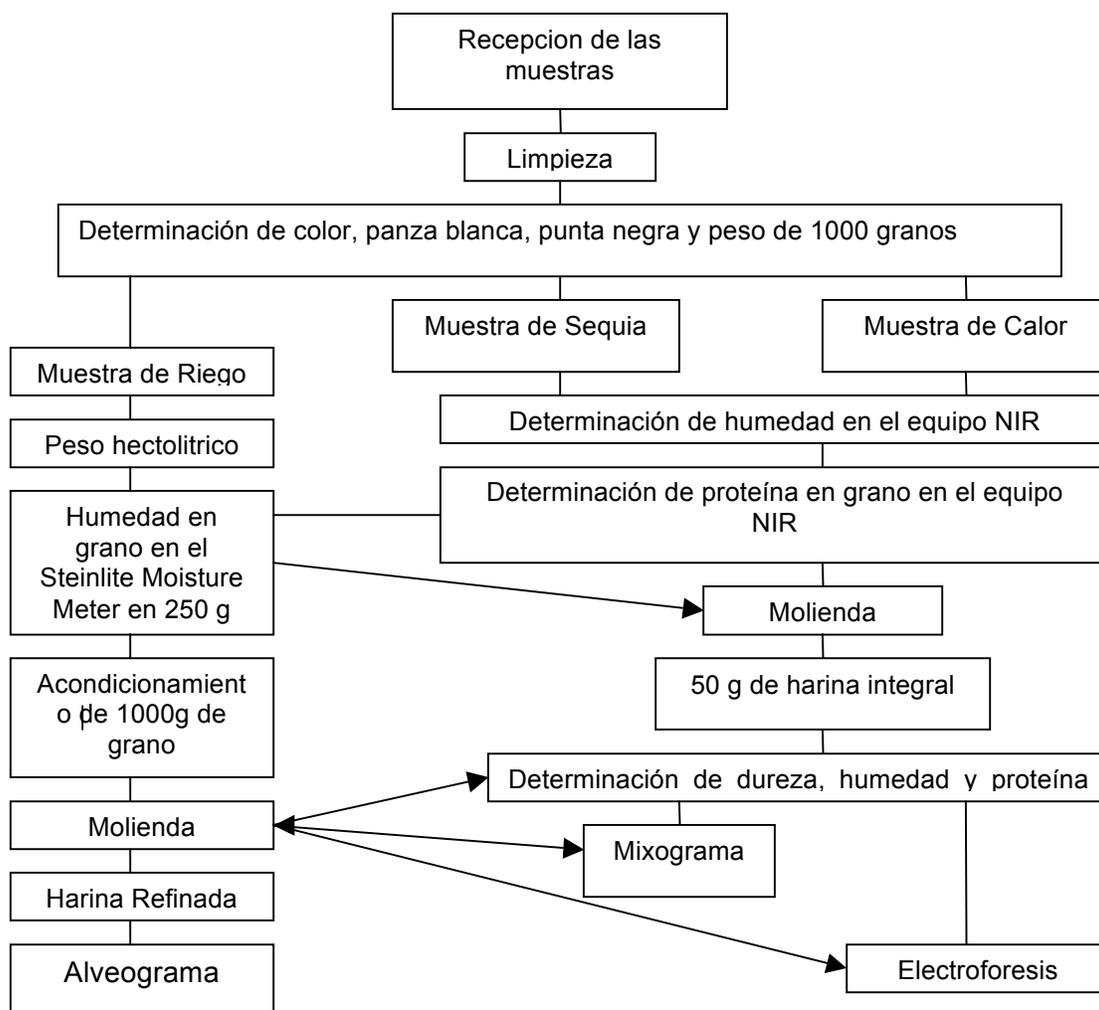


Figura 2. Diagrama de flujo de las actividades realizadas

3.1 Peso hectolítrico.

El peso hectolítrico, mide el peso por unidad de volumen ($\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$) de una muestra, el cual se obtuvo por medio de una balanza Winchester Bushel Meter o Ohaus (método 55-10, AACC, 1995).

3.2 Humedad en grano.

La humedad del grano se determinó por conductividad eléctrica en el Steinlite Moisture Meter usando una muestra de 250 g.

3.3 Molienda.

La harina integral se obtuvo de un molino UDY-ciclón, utilizando una malla de 0.5 mm.

Para la obtención de la harina refinada primeramente se acondicionó el grano, que consistió en la adición de agua de acuerdo a la dureza y humedad del grano, utilizándose muestras de 1000 g dejándose en reposo 24 h (previo a la molienda, 30 minutos antes, se añade 10 % del total del agua).

La molienda se realizó en el molino Brabender Quadramat Senior (C.W. Brabender OHG, Germany), el cual consta de dos pasajes de rodillos corrugados o de quebrado y lisos o de reducción. La molienda consiste en romper gradualmente el endospermo, separar el salvado (capas externas y capas de aleurona), germen y endospermo reduciendo las partículas gruesas del endospermo hasta convertirlas en harina, por último la harina de la molienda es cernida a través de una malla de 8xx, para la obtención de la harina refinada de prueba.

3.4 Determinación de proteína, dureza y humedad en harina integral y refinada.

Estas mediciones fueron determinadas por medio de una metodología basada en la reflectancia o transmitancia producida por la muestra al ser expuesta a un haz de luz

de la región del espectro más cercana al infrarrojo (conocida como NIR o NIT). Se coloca una pequeña muestra en cápsulas especiales, tomando en cuenta la cantidad de harina para no comprimirla en exceso. Los valores de proteína fueron corregidos en base a la humedad. La calibración para proteína y dureza del grano se efectuó utilizando los métodos Kjeldahl (método 46-11A, AACC, 1995).

Volumen de sedimentación SDS (siglas en ingles usadas para referirse al dodecil sulfato de sodio).

La metodología empleada es la de micro-sedimentación descrita por Peña *et al.*, (1990).

Reactivos

- 1) Comasina brillante azul (CBB) R-250 en solución. 10 mg de CBB en 1 litro de agua destilada.
- 2) Solución de ácido láctico en agua (1/8, v/v): 10 ml de ácido láctico al 85 % en 80 ml de agua destilada.
- 3) Dodecil sulfato de sodio (SDS). 30 g de SDS en 1 litro de agua destilada. Solución al 3 % de SDS en solución.
- 4) Solución ácido láctico-agua + solución al 3 % de SDS.
Trigo harinero: 17 ml de reactivo 2 + 480 ml del reactivo 3.

Equipo

Mezclador vortex parte superior – plano con acción automática al contacto.

Tapones y probetas graduadas de diámetros entre 15 y 19 mm, con graduaciones entre 0.1 y 0.25 ml.

Procedimiento

Se pesó un gramo de harina integral en la probeta y de igual manera se hizo con la harina refinada. Se adicionaron 6 ml del reactivo 1, se tapa y se agita en el vortex, se deja reposar durante 3 minutos, se vuelve a agitar (cuidando que las partículas no sedimenten) y se deja reposar durante 2 minutos, enseguida se agita y adiciona el reactivo 4, finalmente se coloca en un balancín con movimiento oscilatorio horizontal especial para esta operación, durante 2 minutos. Se deja reposar la muestra durante 14 minutos y se toma el volumen de sedimentado.

3.5 Determinación de las propiedades de amasado.

Las características de amasado se determinaron en el Mixógrafo de Swanson (Nacional Mfg., EUA) Utilizándose muestras de harina integral de 10 g y de harina refinada de 30 g, basándose en la metodología del AACC (1995), método 54-40 A.

De acuerdo a la humedad y la proteína de la harina, por tablas, se determina la cantidad de harina a pesar y la cantidad de agua a añadir. El tiempo de desarrollo de mezclado se detuvo a 3.5 minutos después del punto óptimo de mezclado.

3.6 Determinación de las propiedades visco-elásticas.

Fuerza y extensibilidad del gluten. Fueron evaluadas sometiendo una muestra de 60 g de masa de harina refinada a prueba en el Alveógrafo de Chopin (Chopin, Francia), el cual consiste de un mezclador, una cámara de reposo y un graficador, en base al método 54-30A de la AACC (1995).

Se pesaron 60 g de harina refinada, de acuerdo con la humedad se determina la cantidad de agua a añadir (la cual es una solución de sal al 2.5 %), realizándose una corrección en la cantidad por la dureza de grano. El tiempo de amasado dependió del tiempo de mezclado previamente obtenido por el mixógrafo. Después del amasado se moldeó y con un rodillo se obtuvieron tres “laminas de masa” de un grosor constante, las cuales se dejaron en reposo en la microcámara durante 20 minutos.

Después del reposo las “laminas de masa” se colocaron en el centro del soporte fijo del alveógrafo, posteriormente se comprime la masa mediante una platina móvil, este aplastamiento se realiza de acuerdo a un movimiento estandarizado. Finalmente se retira la platina, se inyecta aire a presión constante, debido al hinchamiento de la masa se forma un globo de masa, al mismo tiempo que el globo o la burbuja se va formando el alveógrafo grafica una curva la cual termina al romperse la burbuja.

Nota: la amasadora y la cámara de reposo deben mantenerse a 25 °C.

3.8 Electroforesis.

El procedimiento que se utilizó es el propuesto por Peña *et al.*, (1994).

Reactivos

- 1) TRIS 1M, pH 8.8. Disolver 30.75 g de TRIS en 220 ml de agua destilada. Ajustar a pH 8.8 con HCL concentrado y almacenar en refrigeración.
- 2) TRIS 1M, pH 6.8. Disolver 12.11 g de TRIS en 80 ml de agua destilada. Ajustar a pH 6.8 con HCL concentrado.
- 3) SDS (dodecil sulfato de sodio) al 10 %. Disolver 5 g de SDS en 40 ml de agua destilada. Almacenar a una temperatura de 15 a 30 °C.
- 4) Acrilamida para los geles de corrimiento y de aplicación. Pesar 0.52 g de bis-acrilamida y 39.48 g de acrilamida. Disolver en 70 ml de agua destilada,

homogenizar y filtrar antes de usar. Al manejar la Archilamida usar guantes y mascarilla y almacenar en un recipiente negro en el refrigerador.

- 5) Buffer. Disolver 12 g de glicerol en 36 ml de agua destilada. Adicionar 0.757 g TRIS, 4 g de SDS, 750 mg de DTT (dithiothreitol) y 6 mg de bromofenol azul. Determinar el pH, ajustar a 7.4 con HCL concentrado. Inmediatamente ajustar a 6.8 con una solución 1 M de HCL concentrado.
- 6) TRIS-glicina para el tanque buffer. Poner 30 g de TRIS en un vaso de precipitado de 1000 ml. Adicionar 887 ml de agua destilada y agitar. Mientras la solución esta en agitación, adicionar 144 g de glicina, y también 10 g de SDS. El pH de la solución deberá ser 8.3. Si el pH es más alto no ajustarlo con HCL.

Extracción de la proteína total. Pesar 20 mg de harina integral en un tubo de micro-centrifugación. Añadir 600 µl del reactivo y mezclar por 5 min en un mezclador vortex. Incubar 5 min a 90-95 °C y centrifugar 5 min a 9000 rpm, tomar 6 µl y aplicar.

Buffer del tanque. Mezclar 400 ml de stock para el buffer de tanque (reactivo 6) y 3.61 de agua destilada. Usar aproximadamente 2.5 l de buffer por tanque (si se usa el Protean, equipo de BIO-RAD. Laboratorios Bio-Rad, Richmond, California) para los geles (4.5 l para el tanque de buffer para los geles).

Formación de los geles.

- a) Gel de corrimiento (de 9 % de Archilamida para los geles de 15.5 cm de alto y 1.5 mm de grosor).
 - 24.67 ml de TRIS pH 8.8 (reactivo 1)
 - 14.63 ml de archilamida Stock para gel de corrimiento (reactivo 4)
 - 0.65 ml de SDS al 10 %
 - 23.71 ml de agua destilada.

Esta mezcla es desgasificada con un sifón conectada a un grifo de agua de 2 a 4 minutos, inmediatamente pasar la mezcla a través de un papel filtro, adicionar 1.3 ml de persulfato de amonio al 1.5 %, el cual deberá ser preparado en el instante, para inmediatamente ser usado.

En el momento que los armazones estén listos para vaciar los geles, adicionar 30 μ l de TEMED a la mezcla. Mezclar suavemente por 5 segundos y poner la solución en el armazón. Para un gel de 16-16.5 cm de alto y 1.5 mm de delgado, se necesitan aproximadamente 38 ml de solución. Inmediatamente aplicar 1 ml de alcohol butil en el borde del gel, para evitar la formación de meniscos. El alcohol deberá ser aplicado lentamente con una jeringa.

- b) Gel de aplicación (gel de 4.8 % de archilamida para 2 geles de 1.5 cm de alto y 1.5 mm de grosor).

Antes de adicionar la solución del gel de aplicación, remover el alcohol butil del borde del gel de corrimiento previamente gelificado.

- 6.12 ml de agua destilada
- 1.10 ml de TRIS stock para el gel de aplicación (reactivo 4)
- 0.09 ml de SDS al 10 %.
- 0.38 ml de 1.5 persulfato de amonio (preparado inmediatamente antes de usarse).

Mezclar suavemente, adicionar 10 ml de TEMED, y mezclar. Aplicar sobre el gel de corrimiento cuidadosamente para que no se formen burbujas en los carriles que forman el peine del teflón. Reposar de 30 minutos a 1 hora, para melificar. Finalmente retirar el peine y con una jeringa quitar el exceso de solución.

3.9 Diseño experimental

La información recopilada se analizó en el paquete de diseños experimentales SAS, 1989, en el cual se realizó un análisis de varianza por ambiente, Anova para obtener posibles interacciones entre genotipo-ambiente y un análisis de correlación entre: Proteína en grano y harina, sedimentación, tiempo de amasado. Tipo mixográfico, W P/G y P/L.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Dureza del endospermo

Las muestras se clasificaron de acuerdo a la dureza del endospermo en trigos suaves, duros y semiduros usando una técnica de reflectancia NIR, como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Clasificación física de los genotipos de acuerdo a la dureza del endospermo.

| Dureza | | |
|--------------|--------------------|---------------|
| Suave | Semi duro | Duro |
| HGO94.9.1.54 | MASSIV/PPR47.89C | PUB94.15.1.12 |
| CHIH95.1.10 | CHIH95.4.12 | CHIH95.3.38 |
| OLIMPIA2/SLM | CHIH95.7.4 | CHIH95.4.19 |
| CHIH95.3.28 | GTO95.1.27 | |
| MEX94.2.38 | CHIH95.3.37 | |
| CHIH95.5.29 | CHIH95.5.33 | |
| HGO94.9.1.52 | CHIH95.5.15 | |
| | KAMBARA1(TACUPETO) | |
| | CHIH95.4.6 | |
| | PAVLOVKA/V14.89C | |
| | CHIH95.3.52 | |
| | P378/ZHNITSA | |

De los 22 genotipos analizados 7 presentaron endospermo suave, 12 endospermo semi duro y 3 endospermo duro. La dureza también genera una pauta para clasificar el trigo de acuerdo a la calidad molinera, según (Salazar *et al.*, 2000) los criterios que se utilizan para clasificar a las variedades de trigo de acuerdo a su calidad molinera son los siguientes: propiedades de acondicionamiento, facilidad de molienda y rendimientos harineros y molineros; mismas características que dependen de la dureza del grano.

La dureza del grano es un factor cualitativo controlado por uno o quizás dos genes de efectos mayores y varios genes de efectos menores, por lo tanto puede ser manipulada mediante cruza y retrocruza para obtener el tipo de endospermo deseado de acuerdo con la demanda existente en cada región (Huerta *et al.*, 2000).

4.2 Fuerza general del gluten.

De los datos obtenidos en los alveogramas realizados con las harinas refinadas de las muestras cultivadas bajo riego, se realizó una clasificación de los genotipos de acuerdo a la fuerza general del gluten (Fig. 3).

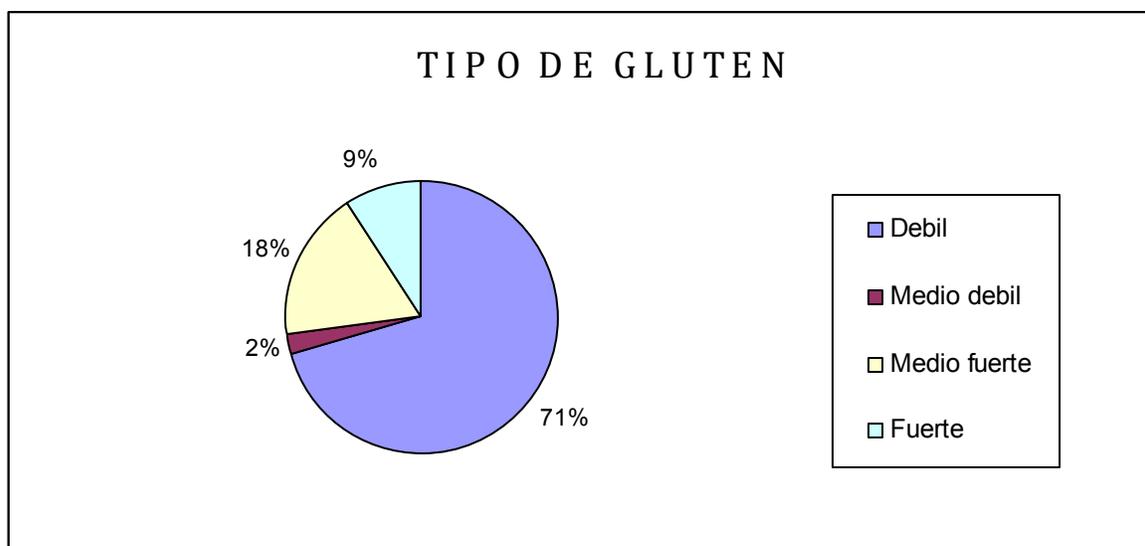


Figura 3. Clasificación de las muestras cultivadas bajo riego de acuerdo a la fuerza general del gluten

El 71% de las muestras se encuentran clasificadas en el grupo de gluten débil; son granos suaves en su mayoría, con bajo contenido de proteína, con excelentes características de molienda, tienen un tiempo de amasado corto. Los alveogramas tienen valores de fuerza general bajos (menores de 200×10^{-4} J) Figura 4.

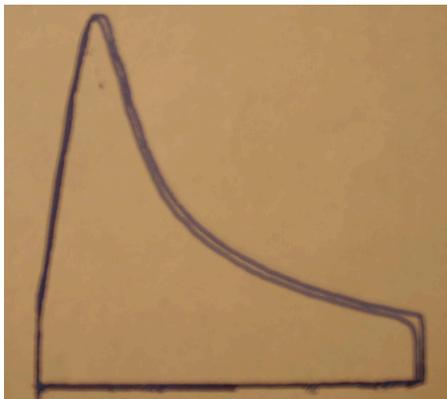


Figura 4. Alveograma con $W= 118 \times 10^{-4}$ J tipo gluten débil

El 18 % corresponde a las variedades de gluten medio fuerte, son granos semiduros, tienen características de mezclado intermedias, apto para la producción de harinas. La fuerza general varía entre $200 - 300 \times 10^{-4}$ J, dependiendo del contenido de proteína Figura 5.

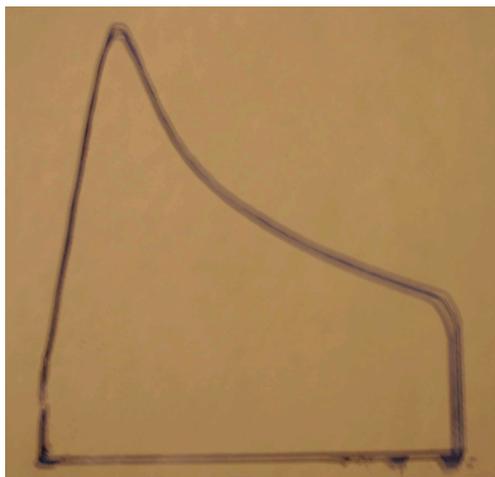


Figura 5. Alveograma con $W= 291 \times 10^{-4}$ J tipo gluten medio fuerte

El 9% está representado por variedades que poseen gluten fuerte, son granos semiduros, de alto peso hectolítrico y excelentes características de molienda. El contenido de proteína varía dependiendo de la variedad, el manejo agronómico, las

condiciones ambientales y de la localidad. Su fuerza general, determinada por el análisis alveográfico es mayor de 300×10^{-4} J, por lo que producen masas que toleran el proceso de amasado (Salazar *et al.*, 2000).

4.3 Características de calidad.

En la tabla 8 se presentan las medias del contenido de proteína en grano y harina integral, así como el tiempo de mezclado prueba que estima la fuerza del gluten y SDS que permite observar la capacidad de hidratación del gluten, para los tres ambientes utilizados.

Tabla 8. Medias de proteína en harina y grano, tiempo de mezclado e índice de sedimentación SDS de los genotipos bajo riego, sequía y calor.

| Ambientes | Proteína en grano | Proteína en harina refinada | Proteína en harina integral | Tiempo de mezclado | SDS |
|-----------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|------|
| Riego | 13 | 11.2 | 13.1 | 1.94 | 15.1 |
| Sequía | 12.5 | * | 14.3 | 1.93 | 20.6 |
| Calor | 12.7 | * | 13.4 | 1.8 | 17.6 |

El contenido de proteína en los tres ambientes es favorable ya que se encuentran en el grupo 1^a de 12.5% a más (según los criterios de clasificación de la AACCC), contenido relativamente alto que sugiere dar como resultado harinas de calidad industrial aceptable para la elaboración de pan en industrias mecanizadas (Peña *et al.*, 1998).

El contenido final de proteína en el grano dependerá de los efectos relativos de los factores agronómicos y ambientales. Los factores que favorecen la acumulación de proteína incrementaran la concentración de proteína en grano y viceversa. De esta

manera la mejor disponibilidad de nitrógeno al cultivo ya sea proveniente del suelo o de la acelerada senescencia de las hojas incrementara la concentración de proteína en el grano.

Esto ocurre debido a que mucho del nitrógeno en el grano proviene de la retranslocación de las partes verdes de la planta y gran parte de este nitrógeno es parte del sistema fotosintético (mayormente de la enzima rubisco) por consecuencia, extensiva retranslocación debe ser asociada con un reducción en la actividad fotosintética. Entonces menos fotosintato estará disponible para contribuir al rendimiento pero el contenido de proteína será más alto (Henry *et al.*, 1996).

No obstante, un contenido alto de proteína no está precisamente relacionado con una calidad industrial excelente; (Hinrichsen *et al.*, 2002) afirma que la calidad del gluten y proteína no están asociados necesariamente con la calidad de los mismos, así que altos contenidos de gluten y/o proteína podrían no estar indicando buen comportamiento en las pruebas de la fuerza general del gluten (W) como se revisara posteriormente.

Tabla 9. Comparación entre las diferentes características de calidad en las harinas integrales de las muestras de riego

| Muestras de Riego | Características de calidad | | | |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------|-------|-------|
| | SDS | Tiempo de Mezclado | W | P/L |
| Proteína en harina refinada | -0.41 | -0.73 | -0.52 | 0.08 |
| SDS | * | 0.30 | 0.30 | -0.55 |
| Tiempo de Mezclado | * | * | 0.57 | -0.27 |

Con la finalidad de estimar la fuerza general del gluten se realizaron pruebas mixográficas para los tres ambientes y alveográficas sola para riego debido a la falta de muestra para elaborar harinas refinadas. En la tabla 9 se muestra que además del valor de W obtenido en las pruebas alveográficas, el tiempo de mezclado es también un buen indicador de fuerza lo cual nos permitió hacer una estimación de la fuerza general del gluten en las muestras de sequía y calor utilizando este valor obtenido en las pruebas mixográficas. Fowler *et al.*, (1998), utilizaron pruebas mixográficas y de sedimentación para determinar la influencia del genotipo y el ambiente en la calidad del trigo, y encontró que la influencia del genotipo es mayor que la del ambiente en la calidad. En la figura 6 se muestran el tipo de mixograma que mas prevaleció en la población.

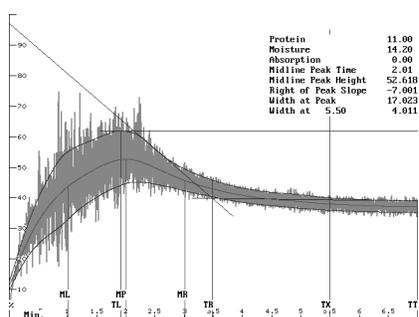


Figura 6. Mixograma con un tiempo de mezclado de 2 minutos

Por lo tanto la calidad de trigo depende de la aptitud genética de las variedades, así como de las condiciones climáticas, la clase del suelo, los recursos tecnológicos aplicados durante el cultivo. El manejo poscosecha y el proceso de transformación del trigo en harina (Vázquez, 2007). En la tabla 10 se muestra cuales de las características son influenciadas por el ambiente o por el genotipo.

Tabla 10. Interacción del ambiente y genotipo con: SDS, tiempo mixográfico y proteína en grano.

| Valores de P | | | | |
|--------------|--------|--------|------------|----------------|
| Factores | Dureza | SDS | Tiempo Mix | Proteina grano |
| Ambiente | 0.0000 | 0.0000 | 0.4707 | 0.0000 |
| Genotipo | 0.0000 | 0.1678 | 0.0000 | 0.0023 |

Valores de P < 0.05 no hay diferencia estadística significativa

Como resultado del análisis de varianza anterior, encontramos que el ambiente influencia en el tiempo mixográfico es decir en la fuerza del gluten, mientras que el genotipo esta relacionado con la capacidad de hidratación de las masas (prueba SDS). Peña, (1997) afirma que para mejorar la calidad panadera es necesario combinar variedades con gluteninas y gliadinas capaces de formar largos polímeros de proteína que darán como resultado gluten fuerte y con mejor calidad panadera. La dureza y el contenido de proteína en el grano no resultan afectados ni por el genotipo ni por el ambiente, pero como revisamos anteriormente en las muestras de sequía el contenido de proteína tiende a aumentar por efectos del ambiente.

Además la fertilización con nitrógeno es también responsable de las variaciones en el contenido de proteína en grano, Fowler *et al*, (1998), realizó estudios sobre la influencia del genotipo y el ambiente en la calidad del Trigo, y encontró que la fertilización de nitrógeno fue responsable de una significativa variación en el contenido de proteína y que las diferencias genotípicas afectan el índice de sedimentación y el tiempo mixográfico.

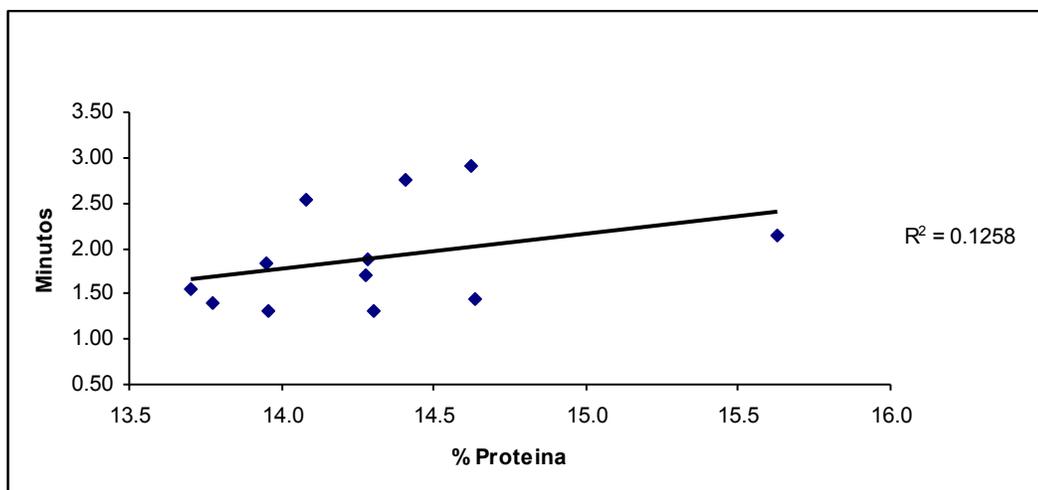


Figura 7. Relación existente entre proteína en harina integral y tiempo de mezclado en las muestras de sequía

En la gráfica anterior se muestra que el coeficiente de correlación entre el contenido de proteína y el tiempo mixográfico es muy bajo, aunque estudios realizados entre líneas de alto contenido de proteína para determinar efectos genéticos y ambientales en las características de calidad demuestran que el efecto del ambiente es significativo tanto como en el contenido de proteína como en la fuerza del gluten (Suchy *et al.*, 1998).

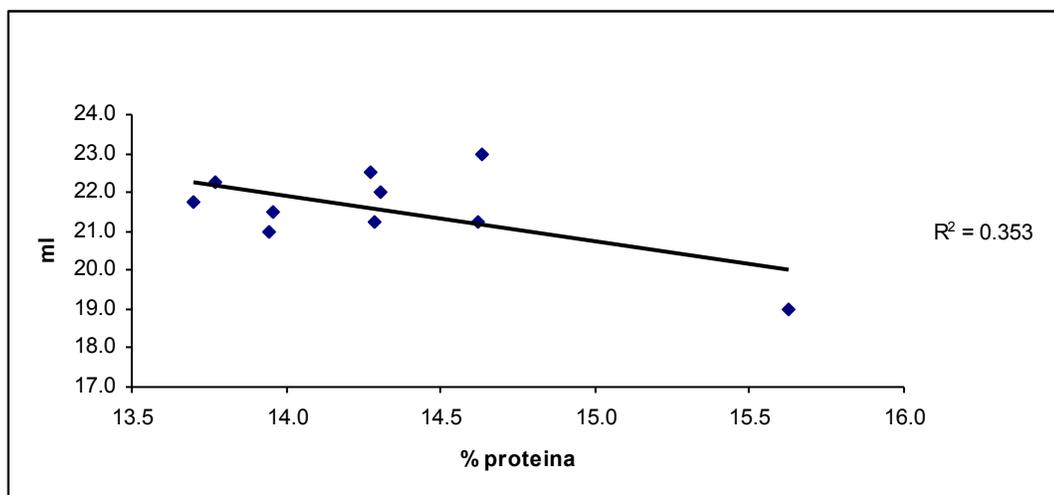


Figura 8. Relación existente entre el contenido de proteína en harina integral y el índice de sedimentación SDS en las muestras de sequía.

En las figuras anteriores demuestran que no hay dependencia del contenido de proteína y la fuerza del gluten, ya que los coeficiente de correlación muestran valores estadísticamente bajos.

La influencia de las condiciones ambientales del cultivo en la calidad de la harina es menos entendida que los efectos genéticos. En estudios realizados por (Mosleth *et al.*, 2004) de cultivos bajo condiciones ambientales controladas, se ha mostrado que cuando la temperatura durante el periodo de llenado de grano es baja, la distribución del peso molecular de la macromolécula del gluten es reducido.

La calidad del gluten depende de la proporción de gliadinas y gluteninas. El gluten junto con la estructura de los gránulos de almidón determina la capacidad de absorción de agua de las harinas. Un hecho que después se va a reflejar en la calidad de las masas utilizadas en la elaboración del pan (Fowler, 1998).

4.4 Variabilidad de las proteínas.

En la tabla 11 se presenta una clasificación de los *Landraces* de acuerdo al patrón electroforético que presentaron considerando únicamente las gluteninas.

Tabla 11. Variabilidad de las gluteninas en los diferentes genotipos Landraces.

| Gluteninas | Genotipos |
|---------------------------|--|
| Glu B1 7+9, Glu D1 5+10 | MASSIV/PPR47.89C |
| Glu B1 7+8, Glu D1 5+10 | P378/ZHNITSA PAVLOVKA/V14.89C MEX94.2.38 OLIMPIA2/SLM PAVLOVKA/V14.89C |
| Glu B1 17+18, Glu D1 2+12 | GTO95.1.27 HGO94.9.1.52 HGO94.9.1.54 PUB94.15.1.12 CHIH95.1.10 CHIH95.3.37 CHIH95.5.29 CHIH95.3.38 CHIH95.4.6 CHIH95.4.12 CHIH95.4.19 CHIH95.5.15 CHIH95.5.29 CHIH95.5.33 OAX93.10.1 |
| Glu D1 17+18, Glu D1 5+10 | KAMBARA1(TACUPETO) |

El conocimiento de la composición de las gluteninas es de gran importancia en el mejoramiento del trigo ya que se han realizado diferentes estudios sobre su influencia en la panificación. Según Peña (1997), genotipos con un patrón electroforético de gluteninas de APM 17+18 o 7+8 y 5+10 tienen una mejor calidad de gluten para panificación que las variedades con gluteninas de APM 7+9 y 2+12 o 3+12.

4.5 Usos potenciales.

A continuación se presenta una sugerencia de uso para los genotipos de acuerdo a la fuerza del gluten que poseen.

Tabla 12. Clasificación de genotipos de acuerdo a su uso potencial por la fuerza general del gluten.

| Grupo | Genotipos | Tipo de gluten | Tipo de Industria | Masa elaborada | Producto |
|-------|---|--------------------------------|---|------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Ninguno de los caracterizados | Gluten Fuerte y extensible | Panificación mecanizada | Tolera el trabajo Mecánico intenso | Pan de molde |
| 2 | KAMBARA1(TACUPETO) PAVLOVKA/V14.89C CHIH95.4.6 | Gluten medio fuerte extensible | Proceso manual y semimecanizado | Fermentables y no fermentables | Pan blanco Hojaldra |
| 3 | HGO94.9.1.54 CHIH95.1.10 OLIMPIA2/SLM | Gluten débil endospermo suave | Manual, poca tolerancia al sobre mezclado | Débil, extensible | Galletas y repostería |
| 4 | MASSIV/PPR47.89C PUB94.15.1.12 CHIH95.3.28 MEX94.2.38 CHIH95.4.12 CHIH95.7.4 GTO95.1.27 CHIH95.3.38 CHIH95.3.37 CHIH95.5.33 CHIH95.5.15 CHIH95.4.19 CHIH95.5.29 | Gluten tenaz poco extensible | Poca tolerancia al sobremezclado | Deficientes en expansión | Pobre calidad panadera |
| 5 | HGO94.9.1.52 KAMBARA1(TACUPETO) CHIH95.4.6 PAVLOVKA/V14.89C | Medio a fuerte y tenaz | Resistente al amasado | Densas y sin retención de gas | Pastas, sopas alimentarias |

“Fuente: Salazar, 2000”.

La clasificación de los usos de las variedades de trigos depende del contenido y calidad de las proteínas del gluten (gliadinas y gluteninas, principalmente), las cuales confieren propiedades visco-elásticas a las masas elaboradas a partir de las harinas. Debido a que estas características son incorporadas genéticamente, las proteínas del gluten en las variedades panificables tienen propiedades visco-elásticas

diferentes a las que se encuentran en las variedades macarroneras (Colin y Lookhart, 1997).

Dado a que aproximadamente el 80% del total del contenido de proteínas del endospermo y, consecuentemente de la harina, forman las proteínas del gluten, las variaciones en este parámetro influyen significativamente sobre los usos industriales de las variaciones. Por ello la clasificación de la producción triguera por contenido de proteína es importante en el proceso de comercialización, ya que las grandes panificadoras utilizan trigos con mayor contenido de proteína (>12.5%) para producir harinas que se utilicen en la preparación de masas con características de gluten fuerte y elástico apto para panificación. Por el contrario, la industria galletera demanda variedades que produzcan grano con menor contenido de proteína (<10.5%) y características de gluten débil apto para este tipo de productos (Salazar, 2000).

V. CONCLUSIONES

La definición de calidad de trigo puede variar dependiendo de quien lo defina (agricultor, molinero, panadero, etc.). La evaluación de la calidad puede ser una cuestión compleja ya que las características determinadas en un programa de mejora van encaminadas a detectar las diferencias genotípicas, mientras que el punto de vista comercial irá enfocado hacia la aptitud industrial; no obstante la calidad es un factor sumamente importante desde ambas perspectivas.

No se encontraron buenas relaciones entre altos contenidos de proteína y parámetros de calidad. Ninguno de los genotipos caracterizados presenta una calidad panadera aceptable, aun considerando esto, la gran mayoría son aptos para la industria galletera, y elaboración de pastas; mismos que pueden ser utilizados industrialmente sin mejoras genéticas en cuanto a calidad se refiere.

Recomendaciones.

El conocimiento de la calidad resulta de gran utilidad para el mejorador ya que está puede ser una herramienta que le permita optimizar su tiempo; especialmente si se utilizan trigos criollos ya que estos han sobrevivido por cientos de años a condiciones climáticas cambiantes y podrían ser más resistentes a enfermedades y fácilmente adecuados al ambiente.

De esta forma si se requiere mejorar un genotipo que será destinado a la elaboración de pan se podrá seleccionar algún genotipo que este mas cerca de llegar a la calidad panadera industrialmente deseada.

LITERATURA CITADA

- AACC. 1995. Approved methods of the AACC. 9th edition. American Association of Cereal Chemist, St. Paul, MN, USA.
- Baenzinger, P.S., D.R. Shelton, M.J. Shipman, and R.A. Graybosch, R.A. 2001. Breeding for end-use quality: reflections on the Nebraska experience. In: Wheat in global environment. Bedo, Z. and Lang, L (eds). Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Pp. 255-262.
- Belitz H.D. y W. Grosch. 1997. Química de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. Pp. 151-155.
- Bietz, J.A. y J.S. Wall, 1995. Wheat gluten subunits, molecular weights determined by sodium-dodecyl-sulfate-polycrylamide gel electrophoresis. Cereal Chemistry. Pp 49: 416.
- Camacho, C.M. 1997. El trigo en el contexto de la producción agrícola nacional y mundial. Primer Simposium Internacional de Trigo 7-9 de Abril, Inifap, Cd. Obregón, México. Pp.19-23.
- Colin W.W. y G.L. Lookhart 1997. Wheat Protein as a Quality Determinant. In International Wheat Quality Conference, Session I. Bioquimical Derminants for Quality Prediction. Steele J.L. and Chung O.K. (eds). Grain Industry Allinace Kansas, USA. Pp. 51-54.

- D' Appolonia, B.L., F. Hol y J.L. Osborne, 1992. Características de la calidad de los trigos cosechados en la región de Minesota, Montana y Dakota del Norte y Sur. Universidad del estado de Dakota del Norte, EUA. Pp. 1-6.
- Fowler D.B., M.I. Kovacs, A. Sarkar y G. Dahlke 1998. Influence of Genotype and Environment on Wheat Quality. In: Wheat Protein Production and Marketing. Pp. 275-277.
- García, S. 2005. Efecto de diversos aditivos sobre las características alveográficas en harina de trigo. Tesis de Químico. Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Sonora, México.
- Gupta R.B., C.W. Bekes y H. J. Moss, 1990. Prediction of wheat quality in breeding on the basis of LMW glutenin subunit composition. In: Sixth Assambly of wheat Breeding Society of Australia. Tamworth, NSW. Pp. 217-225.
- Graybosch R.A., Peterson C.J. Hansen L.E. and Mattern P.J. 1990. Relationship between protein solubility characteristics 1BL/1RS, high molecular weight glutenin composition, and use quality in winter germplasm. **Cereal Chemistry**, 67:342-348.
- Halverson J. y L. Zeleny, 1998. Criteria of Wheat Quality. In: Wheat Chemistry and Technology. Y Pomeranz (ed). American Association of Cereal Chemist, St. Paul. MN. Pp. 15-24.
- Hoseney R.C. 1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Editorial Acribia, Zaragoza, España. Pp: 121-135.
- Hoseney, R.C. 1986. Principles of cereal Science and Technology. A general reference on cereal foods, AACC, (eds.) American Association of Cereal Chemistry, 67:346-349.

- Henry R.J. y P.S. Kettlewell, 1996. Agronomy and cereal quality. In: Cereal Grain Quality. Henry R.J. and Kettlewell P.S. (eds). Chapman and Hall, London. Pp. 408-412.
- Hinrichsen P., M. Herminia, P. Castro y Z. Mellado, 2002. Mejoramiento de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) en la zona del sur de Chile. Caracterización de cultivares de trigos basado en perfiles electroforeticos de gluteninas y gliadinas, *Agricultura Técnica (Chile)*, 62(1):56-67.
- Huerta E.J. y B. Skovmand, 2000. Origen, Botánica y Taxonomía. En: El trigo de Temporal en México. Villaseñor H.E. y Espitia R. E. 2000. INIFAP. Campo Experimental Valle de México, Chapingo estado de México. Pp 313.
- Huerta E.J. y I.R. Gonzalez, 2000. Formas de Clasificación del Trigo. En: Trigo, Origen, Variedades, Manejo de Cultivo, Calidad Industrial de riego. Libro Técnico 2, División Agrícola, SAGAR-INIFAP. Solis M.E. y Rodríguez M.E. (Eds). Pp 15-19.
- Kettlewell, P.S. 1996. Agronomy and cereal quality in cereal. In: Henry R.J. and Kettlewell, P.S. (eds.) Chapman and Hall, London. Pp. 413-435.
- Lafiadra D., C. Blumenthal and C. Wrigley, 1999. The formation of Glutenin polymer in practice, 44:572-576.
- López L. 1990 Cereales cultivos herbáceos vol. 1 Ediciones Mundi-Prensa, España. Pp. 195-197.
- Miller B.S., S Afework, Y. Pomeranz, B. Bruinsma, and G.D. Boot. 1982. Measuring the hardness of wheat. **Cereal Foods World** 27:65-75.
- Miller R.A. y R.C. Hosney, 1997. Factors in hard red wheat flour responsible for reduced cookie spread. **Cereal Chemistry** 74:330-336.

Mosleth E., E. Solheim, M. Magnus, 2004. Relationships between storage protein composition, protein content, growing season and flour quality of bread wheat, **J Sci Food Agric**, 84:877–886.

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996.

Payne P.I., J.A. Seekings, A.J. Worland, M.G. Jarvis y L.M. Holt. 1980. Allelic variations of glutenin subunits and gliadins and its effects on breadmaking quality in wheat: analysis of F5 progeny from “Chinese spring” x “Chinese spring” (Hope 1A). **J Cereal Sci.** 6:103-118.

Payne P.I., y C.J. Lawrence. 1983. Catalogue of alleles for the complex gene loci, GluA1, GluB1, and GluD1, Which code for the high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. **Cereal Res Communications** 11:29-35.

Peña R.J., A. Amaya, S. Rajaram, y A. Mujeeb-Kazi, 1990. Variations in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheat. **J Cereal Science**, 12:105-112.

Peña R.J. 1997. Wheat quality for bread and baked food needs. En: Wheat research needs beyond, Nagarajan S., Singh G. y Tiagy B.S. (eds.), India, Narosa publishing house. Pp. 302-312.

Peña, R.J., J.I Ortiz-Monasterio y K.D. Sayre, 1998. Estrategias para mejorar (o mantener) la calidad panadera en trigo de alto potencial de rendimiento. En: kohli, M. y Martino, L.D. (eds.). Explorando altos rendimientos de trigo. Octubre 1997, Colonia, Uruguay. Pp. 289-309.

Peña R.J. 2002. Wheat for bread and other foods. In: Bread wheat improvement and production. Curtis B.C., Rajaram S. and Gomez Macpherson. H (eds). Food and Agriculture organization of the United Nations. Rome. Pp. 483-542.

- Peña R. J., J. Zarco, A. Amaya y A. Mujeeb, 1994. Relationships between chromosome 1B-encoded glutenin subunit compositions and bread making quality characteristics of some Durum wheat (*Triticum turgidurum*) cultivars. **J Cereal Sci.** 19:243-249.
- Pomeranz, Y, (1971). Wheat Chemistry, American Association of Cereal Chemist, E.U.A. Pp. 301-304, 360-364, 718-719.
- Rajaram, S. 1994. Wheat germplasm improvement: historical perspectives, philosophy, objectives and missions. In: Wheat breeding at CIMMYT. Commemorating 50 years of research in México for global Wheat improvement. Rajaram, S. and G. P. Hettel (eds). México D.F. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Pp. 1-10.
- SAGARPA, 2001. Situación actual y perspectiva de la producción de trigo en México 1990-2000. Centro de Estadística Agropecuaria / SAGARPA, México.
- Salazar Z.A., R.J. Peña y M. E. Solís, 2000. Calidad Industrial. En: Trigo de Riego. Origen, variedades, manejo de cultivo, calidad industrial. Solís M. E. y Rodríguez G. A. (eds). Celaya, Gto., Mexico. SAGAR, INIFAP. Campo Experimental Bajío. Pp. 85-101.
- Shellenberger J.A. y A.B. Ward, 1967. Experimental Milling. In: Wheat Improvement. In: American society of Agronomy. Quisenberry, K. S. and Reitz, L. P. (eds), Madison, Wisconsin. Pp. 445-446
- Symes K. J., 1965. Inheritance of grain hardness in wheat as measured by the particle size index. Aust. **J. Agric. Res.** 16:113.
- Solís E. 2000. Antecedentes de Investigación. En: Trigo de riego, Origen, Variedades, Manejo del cultivo, Calidad Industrial. Solís, E., Rodríguez, A. (eds). División agrícola, SAGAR-INIFAP. Pp. 21-76.

Suchy J., O.M. Lukow, M.E. Ingeline and F. Townley, 1998. Genetic and Environmental Effects on the Protein Composition and Quality Characteristics of High Protein wheat Lines. In: Proceedings of the wheat protein symposium. D.B. Fowler (ed.) Saskatoon, Canada. Pp: 250-251.

Vazquez C.L. (2007). Calidad física, química, reológica y de panificación del trigo y su harina. Criterios de Calidad, Depto. Biotecnología UAM. Pp. 31-38.

Villaseñor H. E. 2000. Importancia del Trigo. En: El trigo de temporal en México. Villaseñor H. E. y Espitia R.E. (eds). El trigo de temporal en México, Chapingo estado de México INIFAP. Campo Experimental Valle del México, Pp. 313.

Weggels P.L., R.J. Hamer y J.D. Schofield, 1996. Critical review: Functional properties of wheat glutenin, **Journal of Cereal Science**. 23:1-18

Weggels L. y F. Bekes, 1999. Glutenin-protein formation during the continuum from anthesis to processing. 44:572-576.

Anónimo. 2001. Situación actual y perspectiva de la producción de trigo en México 1990-2000. Centro de Estadística Agropecuaria / SAGARPA México, Mayo 2001.