

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Cereales

Introducción

Los cereales, cuyo nombre deriva de Ceres, diosa griega de la alimentación, constituyen un conjunto de plantas de gran importancia para la humanidad, ya que son el alimento que contribuye con el aporte energético como con la demanda de los numerosos nutrientes para el organismo; por esto los cereales han sido, son y seguirán siendo el principal sustento del hombre. Desde hace más de 24 siglos las culturas estrechamente vinculadas con el cultivo y uso de los cereales; por ejemplo, el arroz ha sido el principal alimento del Medio Oriente, mientras que el mijo y sorgo para los países de África y Asia. En Europa, desde las culturas más primitivas hasta las modernas sociedades de la actualidad han dependido tradicionalmente del trigo, centeno y cebada. En el nuevo mundo, el maíz elemento de primer orden en el desarrollo de las culturas de Meso y Sudamericanas, sigue siendo el principal y más abundante alimento para los habitantes de América Latina (Serna-Saldivar, 1996).

Estructura de los cereales

Los miembros de la familia de "Gramíneas" que producen granos de cereal, generan frutos secos con una sola semilla. Este tipo de fruto es una cariósipide que vulgarmente se denomina grano, la cariósipide está formada por una cubierta del fruto o pericarpio que rodea a la semilla y se adhiere fuertemente a la cubierta de la semilla. La semilla está constituida a su vez por embrión o germen y endospermo encerrados dentro de una epidermis nuclear y de la cubierta de la semilla. En general, todo grano de cereal está constituido por las mismas partes y en proporciones aproximadamente iguales en todos ellos (Hoseney, 1994).

Las cariósipides de todos los cereales se desarrolla dentro de las cubiertas florales que, en realidad, son hojas modificadas. Estas se llaman glumas y forman parte de la

paja. En el arroz y en la mayor parte de variedades de la cebada y de avena, las cubiertas florales envuelven a la cariósida tan estrecha y completamente, que permanecen aplicadas a ellas aunque se someta el grano a la trilla y constituyen la cáscara de estos granos. En el trigo, arroz, centeno, maíz, sorgo y mijo perlado, el grano se desprende fácilmente de la cáscara mediante la trilla; por ello, se dice que estos granos son desnudos (Hoseney, 1994).

Trigo

Aspectos generales

El trigo, como todos los cereales, pertenece a la familia de las gramíneas, la más importante del mundo desde los puntos de vista económico y ecológico. La superficie de suelo dedicada a las gramíneas es mayor que la reservada al conjunto de todas las demás especies cultivadas; por consiguiente, una deficiencia, incluso pequeña, de la cosecha de cualquiera de ellas puede provocar hambruna e inestabilidad económica en zonas muy amplias.

Los trigos pertenecen al género *Triticum*, dentro del cual se conocen unas treinta especies, algunas de ellas cultivables y otras silvestres. Las especies son divididas en tres subgrupos, en base al número de cromosomas de sus células reproductoras: diploide, tetraploide y hexaploide. Aproximadamente un 90% del trigo cultivado en el mundo es hexaploide y se conoce con el nombre botánico de *Triticum aestivum*, que es el popularmente llamado trigo harinero. El 10% restante corresponde a trigos cristalinos, de nombre botánico *Triticum durum* (FIRA, 1997).

Este grano, que se produce en regiones templadas o frías, crece en suelos con buen drenaje con precipitaciones de 37.5 a 87.5 cm, desde el nivel del mar hasta una altura de 3000 m (Serna-Saldívar, 1996). El rango óptimo de temperatura para su cultivo es de 10 a 25° C, aunque resiste tanto temperaturas bajas (2-4° C) como altas (31-43° C) y tolera moderadamente la salinidad en el suelo (FIRA, 1997).

Este cereal produce un fruto comúnmente llamado grano o almendra. Sin embargo, el término más correcto es cariósido. La cariósido está formada principalmente por tres partes fundamentales, subdivididas a su vez en distintas estructuras: el salvado, formado por el pericarpio, la cubierta de la semilla, la epidermis nuclear y la capa de aleurona; el germen, constituido por el eje embrionario y el escutelo; y el endospermo, constituido por tres tipos de células, periféricas, prismáticas y centrales. La estructura del trigo proporciona a éste sus características especiales (Hoseney, 1994). En la Fig. 1 se muestra la estructura del grano de trigo.

Además de la diversidad genética que presentan los trigos, la infinidad de suelos y climas en los que se cultiva hacen que su composición varíe. Por lo general el trigo tiene una composición proximal promedio de 14.6% de proteína (aunque ésta puede variar de 8 a 26.9%), 1.8% de lípidos, 3.0% de fibra cruda, 2.0% de cenizas y 78.6% de carbohidratos digeribles (Hoseney, 1994).

El consumo final al que se destina el trigo depende de su composición y de sus características intrínsecas funcionales, principalmente las propiedades viscoelásticas del gluten, que tienen que ver con la especie y variedad (Hoseney, 1994).

Producción de trigo

Las regiones productoras más importantes son Asia y Europa, pues aportan el 75% del volumen mundial de trigo (FIRA, 1997). En México, la producción de este cereal se ubicó en un promedio anual de 5.44 millones de toneladas, de las cuales 2.08 millones corresponden al estado de Sonora (INEGI, 2003).

La producción de trigo se encuentra de manera dispersa, y en forma general puede decirse que se produce de manera igual entre los países en desarrollo y

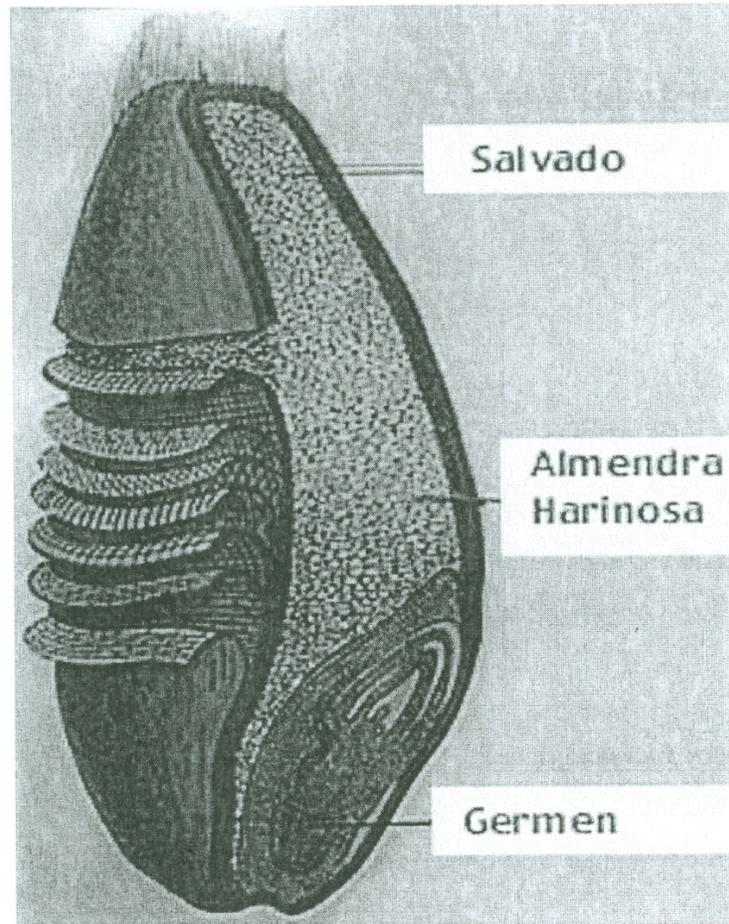


Fig. 1. Estructura del corte longitudinal de un grano de trigo

fuentes; <http://images.google.com/images?q=wheat&ndsp=20&svnum=10&hl=en&lr=&start=40&sa=N>

desarrollados. Su producción representa aproximadamente una tercera parte de la producción mundial de cereales (<http://www.fao.org/docrep/meeting/X2505S.htm>).

La producción promedio anual de trigo en el mundo asciende a 592 millones de toneladas. China produce el 19%, Estados Unidos y la India el 11% respectivamente, Francia y Rusia el 6% cada uno y Canadá y Australia el 4%. En conjunto dichas naciones producen el 67% y los tres principales países el 41% (<http://www.fao.org/docrep/meeting/X2505S.htm>).

De acuerdo a cifras del Servicio de Información Estadística Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2000), 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 (Fig.2). 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.

Consumo de trigo

El consumo de este cereal por el hombre, no puede realizarse directamente, pues requiere un proceso previo de transformación que comienza con la molienda, mediante la que 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.



Fig. 2. Zonas de Producción de Trigo en México en el año 2001
 Fuente: http://harina.org/informacion_cereales.htm

La harina cruda no es digerible por el sistema digestivo humano, por lo que se requiere ser cocinado, horneado o hervido (<http://www.fao.org/docrep/meeting/X250S>)

La ingesta anual de cereales en nuestro país es de aproximadamente 132 kilos per cápita. Los que más se consumen son, en orden de importancia, el maíz, el trigo y el arroz (Fig. 3). (<http://www.fao.org/docrep/meeting/X2505S.htm>).

Clasificación del grano de trigo

En México los trigos se clasifican en cinco grupos (Tabla 1): grupo 1, de gluten fuerte y destinado a la industria de la panificación; grupo 2, de gluten medio fuerte, utilizado en la panificación no mecanizada; grupo 3, de gluten suave, usado principalmente por la industria galletera; grupo 4, de gluten tenaz, ingrediente de pasteles y galletas; grupo 5, grano cristalino, destinado a la elaboración de pastas. Los grupos 1, 2, 3 y 4 corresponden a trigos harineros, mientras que el grupo 5 está constituido por trigos cristalinos (Norma Oficial Mexicana NOM-EF-36-1984).

Composición química del trigo

Proteínas. Este componente oscila entre el 6% y hasta más de un 27% de proteína, aunque la mayoría de las variedades comerciales están entre el 8% y el 16%. Entre las harinas de los cereales, solamente la de trigo tiene la habilidad de formar masa fuerte, cohesiva, capaz de retener gas y rendir por cocción un producto esponjoso. Se atribuye a las proteínas del trigo, y más concretamente a las proteínas del gluten. Las proteínas del gluten son proteínas de reserva del trigo, y son insolubles en agua por lo que se aíslan con facilidad. El gluten contiene (base seca) un 80% de proteínas y 8% de lípidos, y el resto son minerales y carbohidratos. El complejo gluten, está compuesto por dos grupos principales de proteínas: gliadina que es una prolamina y glutenina que es una glutelina (Hoseney, 1994).

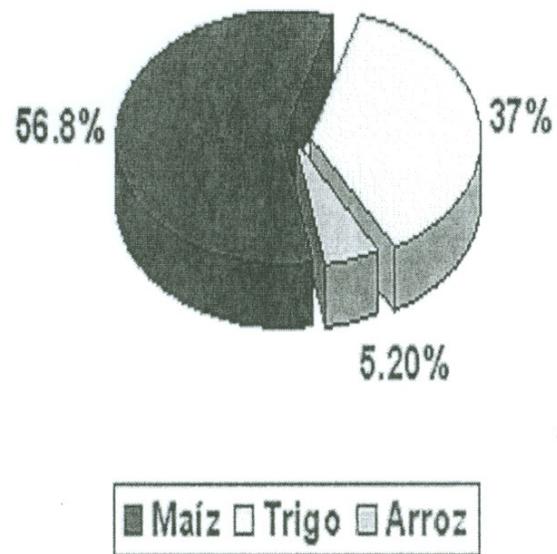


Fig 3 Consumo de Cereales en México
Fuente: <http://www.fao.org/docrep/meeting/X2505S.htm>

Tabla 1. Clasificación de los trigos mexicanos en base a la funcionalidad del gluten.

Grupo	Denominación	Características
I	Fuerte	Gluten fuerte y elástico para la industria mecanizada de la panificación. Utilizado para mejorar los trigos débiles.
II	Medio-fuerte	Gluten medio-fuerte apto para la industria artesana de panificación.
III	Suave	Gluten débil o suave pero extensible apto para la industria galletera. Se utiliza para mejorar propiedades de trigos tenaces
IV	Tenaz	Gluten corto poco extensible pero tenaz, apto para la industria pastelera y galletera.
V	Cristalino	Gluten corto y tenaz, apto para la industria de pastas y sopas

Fuente: Serna-Saldivar (1996)

Carbohidratos. El 72% del peso del grano trigo esta constituido por carbohidratos, el cual esta conformado por el 60-68% de almidón, 6.5% de pentosas, del 2 al 2.5% de celulosa y el 1.5% de azúcares reductores. Desde el punto de vista de su composición el carbohidrato principal es el almidón, también del punto de vista tecnológico es el mas importante debido a su capacidad de retener el agua (Quaglia, 1991). Los gránulos de almidón están formados por dos tipos de moléculas: lineales (amilosa) con diámetros de 5-15 μ , y ramificadas (amilopectinas) con diámetros de 20-30 μ ; la primera es un polímero cuyos monómeros son unidades de D-glucosa unida por enlaces α -1-4 glucosa. La amilopectina forma cadenas ramificadas con enlaces α -1-6 glucosa unidas a la cadena lineal con enlaces α -1,-4 glucosa (Quaglia, 1991). La proporción de fracciones lineales (amilosa) a ramificadas (amilopectina) en el almidón es alrededor de 1:3 (Hui, 1992).

El almidón es insoluble en agua fría, y cuando es sometido a calentamiento con agua este la absorbe, se hincha y revienta; este fenómeno se llama gelificación. La capacidad de hidratación disminuye con la maduración del grano, pero el almidón sacado del grano maduro es más hidrolizable por la acción enzimática que el obtenido del grano maduro; además, existe un aumento de amilosa con la maduración. En conclusión el almidón del grano en plena maduración permite obtener un pan de mayor volumen y de una miga mejor (Quaglia, 1991).

Lípidos. El contenido de lípidos en el trigo varía de 2-3 % y se encuentra distribuido de la siguiente forma: 6-7 % en el germen, 3-5 % en la cáscara (salvado), 0.8-1.5 % en el endospermo (Kent, 1978). Los lípidos del grano total contienen un 70% de lípidos no polares, 20% de glicolípidos y 10% de fosfolípidos. El germen tiene la mayor cantidad de lípidos, y los lípidos del germen tienen la mayor cantidad de fosfolípidos. Los lípidos polares del salvado contienen más fosfolípidos que glicolípidos, mientras que los lípidos del endospermo contienen más glicolípidos que fosfolípidos. En la harina del endospermo feculento, los lípidos pueden dividirse en lípidos asociados con el grano del almidón y lípidos no asociado.

Minerales. En la mayoría de los constituyentes del pericarpio se encuentran los minerales. Los más importantes son: el calcio, fósforo, hierro, magnesio y potasio. Una parte importante del fósforo se encuentra combinado con el mio-inositol formando el ácido fítico, cuyas sales de calcio y magnesio constituyen la fitina. Estos compuestos se combinan en diferentes iones, disminuyendo drásticamente la asimilación de los mismos.

Vitaminas. El trigo es una importante fuente de vitaminas especialmente las del grupo B y de vitamina E.

Características de las Proteínas de la Harina de Trigo

La calidad de la proteína de una harina está relacionada con el gluten presente en la harina de trigo. La calidad puede ser medida sometiendo a la harina a diferentes exámenes físicos con los cuales se miden las características reológicas.

Las proteínas presentes en la harina de trigo se clasifican en función de sus solubilidades en cuatro grupos principales:

1. La albúmina, que representa el 12% aproximadamente de la proteína total de la harina y es soluble en agua.
2. La globulina, que constituye el 4% aproximadamente de la proteína total de la harina y es soluble en solución salina.
3. La prolamina, representada en la harina de trigo por la gliadina, constituye el 44% aproximadamente del total de la proteína de la harina, es insoluble en agua, pero soluble en solución de alcohol al 70%.
4. La glutelina, representada por la glutenina, contiene el 40% de toda la proteína de la harina y representa la fracción insoluble en agua, solución salina y en solución de alcohol al 70% (Badui, 2000).

Estas cuatro proteínas presentes en la harina de trigo, se diferencian por la composición de aminoácidos que poseen, siendo las dos últimas señaladas, las más importantes para el proceso de panificación.

Del 80% del contenido de proteína que presenta el gluten, éste se compone de gliadina en un 39% aproximadamente, es de bajo peso molecular (entre 25,000-100,000), cohesiva pero de poca elasticidad. Presenta una estructura terciaria esférica fuertemente plegada donde los puentes de disulfuros mantienen la estabilidad de dicha estructura. Su insolubilidad en agua y su solubilidad en alcohol al 70% se debe al contenido de aminoácidos voluminosos como el glutámico y la prolina, y a la presencia de aminoácidos hidrofóbicos como la alanina, valina, fenilalanina, entre otros.

También posee glutenina con el 35% de su contenido, fracción de alto peso molecular (mayor a 100,000), manifiesta cohesión y elasticidad en la masa. Presenta una estructura alargada y establecida mediante puentes disulfuros con alto contenido en aminoácidos hidrofóbicos que establecen su mayor insolubilidad. Además, el gluten está constituido por proteínas solubles como la globulina en proporción del 6 al 7% en unión de algunas albúminas que pueden quedar atrapadas en el proceso de obtención de este componente. (Badui, 2000).

De manera general, se puede decir que la proteína de la harina de trigo muestra en su composición de aminoácidos proporciones relativamente altas de prolina y glutamina (aminoácido con 2 átomos de nitrógeno en lugar de uno), responsable del aporte de la habilidad que lo diferencia de los otros cereales conocidos, en cuanto a la capacidad de producir el pan u otros productos horneados esponjosos de todos bien conocidos.

Si se analiza la composición de aminoácidos de las fracciones de gliadina y glutenina se puede notar, que ambas fracciones también difieren en la composición de aminoácidos. La glutenina, manifiesta mayor contenido en glicina, lisina y triptofano, mientras la gliadina, posee mayores cantidades de prolina, isoleucina, ácido glutámico, fenilalanina, entre otros. (Badui, 2000).

Las proteínas, si se les compara con el resto de los componentes presentes en la harina, como el almidón, lípidos, y azúcares representan sin lugar a dudas el componente más determinante y contribuyente para la definición del grado de calidad panificable de una harina determinada. Por esta razón, las fluctuaciones en detrimento de su contenido y calidad agravan en mayor medida la calidad del pan, que las variaciones que pudieran ocasionar el resto de los componentes, aunque se debe entender que todos en su conjunto son imprescindibles. (Badui, 2000).

Las expresiones de calidad se relacionan específicamente con las características físico-químicas de los componentes que forman el gluten y su reología. Para medir las características de cualidad de las proteínas del trigo, se disponen de diferentes pruebas como las siguientes:

1. Prueba de sedimentación de Zeleny.
2. Índice de sedimentación utilizando dodecilsulfato sódico (SDS).
3. Prueba de sedimentación con ácido láctico.
4. Ensayo de masa de Pelshenke.
5. Prueba de viscosidad.
6. Ensayos reológicos de medición de propiedades físicas a la masa: Alveógrafo, Extensógrafo, Farinógrafo, entre otras.

Junto a los análisis aquí expuestos, que se basan en la valoración de la proteína del trigo de forma global, en los últimos años se ha comenzado a aplicar otras técnicas analíticas que permiten establecer las características de calidad en base a la identificación de las diferentes especies moleculares de proteína presentes en el trigo, es decir, se ha pasado de un simple análisis químico-físico de la proteína en su conjunto a un análisis molecular de cada proteína en particular. Estas técnicas son de electroforesis en geles de poliacrilamida y la cromatografía líquida de alta presión, representada en lengua inglesa por PAGE y HPLC respectivamente.

Factores Ambientales que Influyen en la Calidad de Trigo

Temperatura

Los cereales crecen en diferentes localidades y el volumen producido, tamaño de grano, composición del grano e incluso el contenido de almidón, puede variar significativamente cada año. La temperatura ambiente es uno de los principales factores que causa estas variaciones (Yong y col., 1994).

En el grano de trigo, se encuentra bien documentado que la temperatura durante el crecimiento de este cereal afecta su producción, el contenido proteico, y el tamaño y número de los gránulos de almidón. Debido a que las proteínas y el almidón son los mayores constituyentes de los granos de trigo maduros. Sus niveles y propiedades determinan, en gran medida, la calidad de productos alimenticios derivados del trigo.

El incremento de la temperatura durante el crecimiento del grano de 10 a 40°C reduce el peso y tamaño del grano, el peso de una semilla cultivada a 40°C fue 38-40% menos que el peso de una semilla producida a 15°C. Para trigos cultivados a 15°C, el nivel de almidón se encuentra en el rango de 61 a 72% basado en peso del grano, mientras que a 40°C, el rango es de 38-50%. Elevar la temperatura durante el crecimiento de grano de 15°C a 40°C reduce el nivel de almidón en los granos de trigo en un 12 a 25% (Yong y col., 1994).

Temperaturas tan altas como 35°C son comunes en regiones de trigos duros y reducen el rendimiento alterando las características del grano que probablemente afecten la molienda y la calidad del grano. El estrés por altas temperaturas durante el período crítico del desarrollo del grano reduce el peso del grano. El peso del grano se reduce particularmente cuando las altas temperaturas ocurren constantemente en la maduración. Sin embargo, altas temperaturas en periodos tan breves como de tres días durante cualquier estado de maduración, principios o finales del estado de maduración, reducen el peso del grano significativamente. Otros efectos adversos, son granos encogidos, granos

hundidos, granos divididos, granos opacos, también son inducidos por altas temperaturas durante el desarrollo y estados tempranos de maduración (Gibson y col., 1998).

Altas temperaturas durante el desarrollo del grano y una rápida desecación durante la maduración del grano reduce la tolerancia al mezclado de la harina. Elevadas temperaturas durante etapas tempranas en el desarrollo del grano y rápido secado durante la maduración también disminuye el tiempo de mezclado.

La calidad de la harina es más dañada cuando las altas temperaturas son constantes desde el principio del desarrollo del grano hasta el secado del grano, pero las lesiones también resultan por altas temperaturas durante las últimas etapas del desarrollo del grano. Debilitamiento en las propiedades de la masa por la rápida desecación del grano durante la etapa de secado sugiere que la temperatura, humedad, y probablemente la humedad de suelo contribuyen a la calidad final del trigo panadero (Gibson y col., 1998).

Medio ambiente

La composición de la harina, la calidad de la proteína, y las características mixográficas son afectadas por factores ambientales, los cultivos, y sus interacciones. La calidad de las proteínas de los trigos duros, es más estable que la de los trigos suaves. Basados en la composición de la harina, calidad de la proteína, y las evaluaciones de las características reológicas, el nivel de variabilidad para estas características se incrementa para los trigos suaves cuando estos crecen en climas semiáridos y los trigos duros crecen en ambientes de bajas temperaturas y altas precipitaciones (Mikhaylenko y col., 2000).

El volumen del pan es afectado mayormente por los factores ambientales. El ambiente es la fuente de mayor variación entre los parámetros de calidad probados para trigos duros y suaves; por esto, la elección del ambiente de crecimiento tiene un impacto en la calidad del producto final. Producir trigos duros en ambientes de baja temperatura y altas precipitaciones resulta en una disminución en el contenido de proteína, disminución

en la absorción de agua, tiempos prolongados de mezclado, y una importante disminución en el volumen del pan. Por esto, la producción de los trigos en regiones adecuadas ellos aumentar las características reológicas de la harina y la calidad de los productos horneados (Mikhaylenko y col., 2000).

Elaboración de Harinas

El proceso de transformación del trigo en harina consta de dos pasos principales que son: el acondicionamiento y la molienda (Potter, 1978). Antes de que el trigo sea utilizado para consumo humano, éste ha de someterse a cierto procesamiento. Los trigos de los grupos 1 a 4 regularmente deben convertirse en harina antes de elaborar con ellos productos de uso final. A continuación se detallan los procedimientos utilizados para lograr esta transformación.

Antes de moler, las impurezas de las muestras de trigo deben ser completamente eliminadas, lo que debe ser representativo de las muestras iniciales. Las muestras pueden ser limpiadas manualmente o con un limpiador mecánico. Se debe hacer una inspección para asegurar que la muestra está libre de otros granos que no sean de trigo y libre de piedras. Después de la limpieza, una criba es utilizada para homogeneizar y dividir la muestra de tamaño adecuado para la prueba de molienda y determinación de humedad (Dubois y Huhúe, 2000).

Acondicionamiento

El acondicionamiento consiste en añadir agua al grano seco y dejarlo reposar durante un determinado tiempo antes de molerlo. Este procedimiento tiene dos objetivos: (1) aumentar la resistencia y elasticidad del salvado, con el fin de evitar que se divida en pequeños trozos durante la molturación y (2) suavizar el endospermo para facilitar la molienda. La cantidad de agua que se añade varía de acuerdo a la dureza y el contenido de humedad del grano (Hoseney, 1994).

Molienda

El proceso de molienda tiene como objetivo separar el endospermo del salvado y reducir el primero a harina. Esto se realiza mediante molinos de rodillos, que erosionan, desgarran y trituran el grano. La acción es diferente sobre el endospermo, el salvado y el germen, lo que permite su separación por medio de tamices y separadores de aire (Tortosa, 1982).

El número de kilogramos de harina obtenidos a partir de 100 kg de trigo limpio se denomina grado de extracción. Aunque el trigo contiene aproximadamente un 84% de endospermo capaz de producir harina blanca, generalmente los valores de extracción varían de 72 a 78%, ya que no es posible separarlo por completo del salvado, la aleurona y el germen (Tortosa, 1982).

El objetivo de la industria de la molienda es obtener los máximos rendimientos de la harina cuando se procesan trigos panaderos o suaves, o semolina cuando se procesan trigos cristalinos. Los subproductos de esta industria son el salvado y el salvadillo (Serna-Saldivar, 1996).

En la molienda del trigo, el trabajo de los cilindros y la eficiencia del cernido dependerán de la regularidad del particulado alimentado. En la medida que sea posible, la molienda debe llevarse a cabo en una habitación cuya temperatura esté entre 18 y 23°C y con una humedad relativa entre 50 y 75% (Dubois y Huhúe, 2000).

Maduración

Las cualidades panaderas y el color de la harina cambian al paso del tiempo, almacenada en condiciones atmosféricas habituales. El color se hace gradualmente más blanco, debido a la oxidación de los pigmentos amarillos, y la calidad panadera se mejora, ya

que las proteínas se modifican de tal manera que la harina proporciona una masa con fuerza, estabilidad y elasticidad mayores (Elstow y Wallington, 1993).

El Uso de Trigos y Harinas de Trigo en México

El trigo es un alimento básico para la población mexicana. Se consume principalmente en la forma de productos de pan que varían en su tipo a través de las diversas regiones del país. La existencia de una variedad de productos a base de trigo, panes blancos, panes dulces, es el resultado principal de la fusión de varios factores: la fusión de la raza (Maya y Azteca), los hábitos alimenticios y culturales de los inmigrantes Europeos (Franceses, Italianos), el establecimiento extenso del trigo, y la cosecha comercial a gran escala lo que representa el desarrollo urbano e industrial.

La producción de trigo en México fluctúa alrededor de 4 millones de toneladas, aproximadamente el 25% de la cantidad de maíz, la base principal de la alimentación en México (Tabla, 2). México es productor de trigos fuertes y semi-fuertes principalmente. Más del 90% del trigo cosechado durante cada periodo de cultivo. Es comprado anualmente por miles de directivas de campesinos, en un precio mínimo subsidiado por el gobierno (Mielke; 1990). Los precios o penalizaciones se otorgan al evaluar factores como lo es el peso, humedad del grano, condiciones del grano, y limpieza.

El trigo fuerte representa entre el 5 y 15% del total del trigo usado para la industria alimenticia. México es el único país en la región de América Central donde el trigo se utiliza como grano de la alimentación. Aproximadamente 600,000 toneladas de trigo localmente producido fue destinado a la industria de alimentos en 1990 (FAO, 1992). La utilización alimenticia total del trigo en México es varias veces mayor que de las regiones enteras de América Central, debido principalmente a las diferencias de población y al consumo per cápita que en México es, menos si lo comparamos con el consumo per cápita del maíz.

Tabla 2. Consumo per cápita de trigo, maíz y arroz en 1990

Región	Trigo Kg/año	Maíz Kg/año	Arroz ^a Kg/año
México	40.0	128.7	7.2
AC			
Belice	57.3	13.7	25.9
Costa Rica	40.2	19.6	55.2
El Salvador	19.9	92.9	10.0
Guatemala	25.3	116.5	5.4
Honduras	22.0	97.0	9.8
Nicaragua	25.4	65.3	36.1
Panamá	34.5	24.8	53.2

^a equivalentes descascarados, AC (América Central)

Fuente; FAO AGROSTAT, 1992

Industria molinera

La gran diferencia en el suministro alimenticio de trigo entre México y América Central se refleja en el número relativo de molinos harinero. En México la industria harinera consiste 133 molinos, con una capacidad de 4.9 millones de toneladas de harina por año (Fuguemann, 1991). Esto es suficiente para moler todo el trigo producido localmente. La industria esta integrada dentro siete organizaciones distribuidas en la región del país, y dentro de la Asociación Nacional de Manufactureros de Harina (Fuguemann, 1991). Aproximadamente el 30-40% de los molinos son pequeños, produciendo menos de 100 toneladas de harina por día, mientras que del 20-30% son molinos grandes, con una producción de harina de menor o igual a 300 toneladas por día (Branco-Fernandez, 1991; McWard, 1991).

Pruebas para Evaluar la Calidad en Harinas

La calidad de la harina es una compleja interacción derivada de la composición de cada uno de los constituyentes de la harina y la interrelación de estos componentes durante el proceso de mezclado y de cocinado. Los componentes importantes de la harina incluyen el almidón, lípidos, carbohidratos libres, y minerales (Mikhaylenko y col., 2000).

Se puede definir la calidad de una harina, como su capacidad para dar un producto final de excelentes características organolépticas como sabor y el olor, de un buen valor nutritivo de costo competitivo (Quaglia, 1991). Los diversos parámetros que deben examinarse a fin de determinar la calidad de una harina pueden agruparse en cuatro categorías: pruebas de panificación, pruebas físicas o reológicas, valoración organoléptica y análisis químico (Quaglia, 1991).

Un factor importante en la calidad de la harina es cada una de las características del gluten presentes en una masa. El gluten está formado por las interacciones de las proteínas (gluteninas y gliadinas), las cuales también se asocian con lípidos y pentosas durante la formación de la masa (D'Appolonia y Kim, 1976; Hosney, 1986). En consecuencia la calidad de la harina está influenciada por la naturaleza del gluten y sus diferentes componentes (Kaldy y col., 1993).

Pruebas físicas y químicas

Contenido de cenizas El contenido mineral de la harina indica el grado de refinación del proceso de molienda. Esto se debe a que el salvado contiene una cantidad de cenizas aproximadamente veinte veces mayor que el endospermo (Serna-Saldívar, 1996). La pureza de la harina de trigo comúnmente ha sido expresada en relación con el contenido de cenizas de la misma. El contenido de cenizas (material inorgánico resultante de la calcinación de la harina), se incrementa desde el centro hasta las capas externas del grano de trigo (Hinton, 1959). Un bajo contenido de cenizas indica una menor contaminación con el salvado y germen. Pero debido a su relación positiva con el color de la harina (un conveniente examen de calidad) muchos panaderos siguen insistiendo en usar el contenido de cenizas en la harina como una restricción para determinar el grado de calidad de la harina.

Una de las mejores aplicaciones del contenido de cenizas ha sido para evaluar el desarrollo de la molienda por medio de la elaboración de curvas acumulativas de cenizas. Las curvas acumulativas de cenizas muestran la relación entre el contenido de cenizas en la harina y el rendimiento de la molienda. Sin embargo, el principal propósito de la curva es determinar el rendimiento de las harinas de primer y segundo aclarado en relación con el contenido de ceniza al momento de detener la producción (Kim y Flores, 1999).

Contenido de proteínas Las proteínas son los compuestos que más afectan la calidad y funcionalidad de los productos del trigo. Factores tan importantes como la absorción de agua, tiempo de amasado y estabilidad, así como la mayoría de las características

reológicas, están en función de la cantidad y calidad de las proteínas presentes en la harina (Serna-Saldívar, 1996). Las proteínas del gluten son las únicas que juegan un papel importante en la transformación de la harina en masa y su funcionalidad esta determinada por la concentración y calidad de la proteína. Esto depende fuertemente de la variedad del trigo, factores ambientales y agronómicos presentes durante la época de cultivo del grano (Bushuk, 1985). Representa cerca del 80% - 90% del total de las proteínas del trigo, de harina blanca y abarca dos grupos mayores, gliadinas y gluteninas que están presentes aproximadamente en cantidades iguales (Blanshard, 1986).

La combinación de esos dos grupos de proteínas es sin embargo, responsable de las propiedades viscoelásticas que permiten a la masa de trigo ser procesada en un pan u otro alimento. Ambas proteínas gliadinas y gluteninas pueden ser divididas en grupos. Así con estas proteínas y de acuerdo a su concentración se puede tener una masa de buena o de pobre panificación (Castelli, 2000). Las proteínas determina la absorción de agua a la harina, el tiempo de mezclado y tolerancia, requerimientos de oxidación y potencial de volumen de pan (Fidney, 1985).

Pruebas reológicas

La reología ofrece herramientas para obtener información en la estructura de materiales, tales como las masas y su comportamiento durante el proceso (Bloksman, 1990). Las propiedades reológicas son las mas importantes para determinar la funcionalidad de las harinas y juegan un papel importante en la calidad del producto, ya que están relacionadas con las propiedades físicas del gluten hidratado, 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 (pan). Con este fin se utilizan varios aparatos como lo son el farinógrafo, amilógrafo y alveógrafo los cuales se utilizan en trigos blandos (Quaglia, 1991).

Como ya se mencionó las propiedades reológicas de las masas juegan un papel importante en la calidad del producto y es necesaria su determinación para poder prever el comportamiento de los distintos tipos de harinas durante el proceso de panificación.

Farinogramas. Esta prueba provee una medición del agua requerida para mezclar la masa y fijar la consistencia la cual es usada subsecuentemente en la panificación (Zhao y col., 1999). Los farinogramas muestran la plasticidad y maleabilidad de una masa en forma de resistencia que presenta dicha masa a las espas amasadoras de un mezclador durante un mezclado prolongado, el que podría ser suave o energético (Brabender-Farinograph) (Ordaz, 1997). La curva farinográfica cuantifica importantes parámetros como: tiempo de llegada, tiempo de salida, tiempo de desarrollo, estabilidad e índice de tolerancia al mezclado (Serna, 1996).

Amilógrafo. El amilógrafo Brabender es un aparato que produce una pasta viscosa a partir de una suspensión acuosa de harina de trigo o cualquier otro material almidonoso. Este proceso de gelatinización se produce durante una agitación constante en el tazón del amilógrafo con un aumento de temperatura de 25 a 95 °C a una velocidad constante de 1.5 °C por minuto (Bloksma, 1978).

Los parámetros de importancia práctica obtenidos en el amilógrafo son: temperatura de gelatinización, máxima viscosidad al calentamiento, viscosidad de la pasta final del horneado, aumento de viscosidad al enfriado y viscosidad de la pasta fría (Bloksma, 1978).

Alveógrafo. En la década de los 20's Chopin desarrollo el modelo del alveografo como un instrumento empírico para evaluar la calidad de la harina. El aparato cuantifica la tenacidad, elasticidad y fuerza requerida para deformar la masa. Se basa en el principio de la capacidad de retención de aire que tiene una masa (Serna, 1996). La técnica alveográfica es una de las más utilizadas como prueba de rutina para las harinas de trigo. La masa preparada de una harina a prueba bajo condiciones estándar de adición de agua y mezclado, es extendida y cortada en piezas circulares. Después de un periodo de reposo,

se sujeta a una extensión biaxial inflando la masa en forma de globo hasta que se rompe. La presión en el globo es medida por un manómetro y registrada en una hoja como función del tiempo. La masa es inflada por el aire desplazado debido al agua introducida a una cámara de cristal (Pratt, 1978). La idea del examen era que al inflar la burbuja está relacionado con la expansión de burbujas durante la fermentación de la masa. Las mediciones que normalmente se obtienen de la gráfica son la altura de la curva, longitud y el área bajo la curva.

Recientemente se aceptó que la presión interna (P) es un índice de la resistencia de la masa a la deformación. La abscisa de ruptura (L) es generalmente tomada como una medida de la extensibilidad de masa. El cociente de la división entre la presión interna (P) y la abscisa (L) ha sido sugerido por muchos investigadores como un medio útil para predecir la calidad de la harina (Maes y Piroette, 1957).

Pruebas de panificación

Ninguna de las mediciones químicas o reológicas es capaz de predecir el comportamiento y desempeño final de una harina. Estas mediciones sirven como índices que, cuando se interpretan debidamente, incrementan la posibilidad de un desempeño satisfactorio de la harina. El último criterio de calidad de la harina es la conformación de los requerimientos físicos y químicos además de su cumplimiento con ciertos estándares establecidos por una prueba de panificación (Pomeranz, 1988). La calidad de la panificación del trigo depende de la cantidad y calidad de las proteínas en el endospermo. Mientras el primer parámetro está genéticamente determinado, el segundo está altamente influenciado por el ambiente, especialmente por la fertilización con nitrógeno (N) (Pachanek y col., 1998).

La aplicación de fertilizantes de azufre (S) mejoran las cualidades de panificación en el trigo de invierno. El volumen del pan utilizando el proceso de panificación Chorleywood, se incrementa entre 20 y 105 cm³ con la aplicación de S. En contraste, incrementando el contenido de N de 180 a 230kg/ha, lo cual es común en las prácticas de

siembra en el Reino Unido y en otras partes del mundo, tiene un efecto pequeño en la calidad del pan (Zhao y col., 1999).

La concentración de proteína en el grano por si sola parece ser un indicador muy insatisfactorio para determinar la calidad de panificación, mientras la concentración de S y la relación de N/S es un factor importante que influye en el desarrollo de la calidad de panificación en el trigo (Zhao y col., 1999).

La fuerte correlación de las gliadinas y gluteninas, especialmente las gluteninas de alto peso molecular, al total del contenido de proteína evita establecer cual de los dos es el mas importante para la calidad de panificación, la relación gliadina-glutenina parece ser un valor no predecible. Por esta razón, basados en resultados presentes, se sugiere que la relación de gluteninas de alto peso molecular, especialmente las subunidades tipo α , sobre el total de proteína puede ser el mejor parámetro rápidamente detectable con el valor mejor predecible para la calidad de panificación (Pachanek y col., 1998).

Por muchos años, los científicos en cereales han trabajado para desarrollar una o mas pruebas de laboratorio que puedan brindar una medida objetiva del potencial de panificación del trigo y/o harina. Aunque otros trabajos de investigación han dado información valiosa, ni una sola prueba o serie de pruebas de laboratorio para evaluar el rendimiento de panificación puede reemplazar a las pruebas de panificación propiamente diseñadas e implementadas. Las pruebas de panificación y la interpretación de los resultado son subjetivos por naturaleza, y se requieren personas sumamente entrenadas para desarrollar propiamente los exámenes y subsecuentemente evaluar el producto final (Pomeranz, 1988). El valor del volumen especifico se obtiene de dividir el volumen (cc) del pan entre el peso (g) del mismo.

Industria panadera en México

La industria panadera en México es muy diversa, desde rangos de panaderías familiares a grandes y modernas plantas panaderas. Más de las pequeñas panaderías se

localizan en pequeñas áreas rurales o pueblos. Ellos usan el trigo molido y harina para una labor intensiva de preparación de panes, normalmente panes de tipo dulce, blanco con una miga densa. En contraste para panes blancos, que se añejan rápidamente, los panes de dulce pueden ser almacenados durante mas días debido a las altas proporciones de azúcar en sus formulas. En las áreas urbanas se cuentan con pequeñas o grandes industrias panaderas mecanizadas o semimecanizadas para la manufactura de distintas variedades de panes o productos: bollos suaves, panes enteros para comida, un gran numero de panes blancos internacionales, y una variedad de panes dulce, galletas, postres y pasteles. En las áreas urbanas los productos horneados son comprados diariamente, principalmente de panaderías al menudeo o al por menor. En México existen varias plantas panaderas modernas y mecanizadas, plantas que manufacturan una gran variedad de panes, galletas y pasteles. Las plantas de pequeña producción tienen una capacidad de 5,000 t/año y las de gran capacidad o producción de 60,000 t/año (Faubion and Faridi, 1998).

Pruebas Reológicas Dinámicas

Ecuaciones y cantidades involucradas

Las pruebas dedicadas a medir las propiedades viscoelásticas de las masas de harina de trigo en las que el patrón de carga es oscilatorio, o dinámico en vez de transiente, se han usado por más de treinta años. Estas pruebas son capaces de aplicar esfuerzos de bajas magnitudes a las muestras, así como de operar a bajas deformaciones relativas y velocidades de deformación relativa. Los datos obtenidos mediante esta prueba se emplean en el cálculo de los módulos dinámicos de almacenamiento y de pérdida, la energía almacenada elásticamente y la disipada como calor durante cada ciclo de deformación, relativamente. La validez de estos cálculos requiere que las muestras tengan un comportamiento viscoelástico lineal; es decir, que la prueba se realice en una región de comportamiento lineal (Faubion y Hosenev, 1990). A continuación se muestra una breve revisión de las ecuaciones y cantidades involucradas en las pruebas dinámicas oscilatorias utilizando una geometría de platos paralelos.

En la Fig.4, uno de los dos platos entre los que se encuentra la muestra se hace oscilar sinusoidalmente con una frecuencia ω , en radianes por segundo, y una amplitud d , en mm, mientras el otro plato permanece estacionario. Sin deslizamiento en ninguno de los platos, se crea un gradiente de deformación a lo largo del espesor h de la muestra. Puede demostrarse, mediante consideraciones teóricas, que la deformación relativa al espesor de la muestra es la relación entre la amplitud de la deformación y el espesor de la muestra. La velocidad de deformación relativa es la deformación relativa multiplicada por la frecuencia. La deformación relativa es esencialmente uniforme en todo el espesor de la muestra cuando ésta se comporta linealmente. El plato estacionario se adjunta a un transductor de fuerza utilizado para medir la fuerza de respuesta f , en Newtons, de la muestra. El esfuerzo que resulta de la fuerza que se distribuye sobre el área de la muestra ($l \times w$) también es uniforme en toda la muestra. Si la muestra tiene un comportamiento viscoelástico lineal, el esfuerzo de respuesta tendrá una variación sinusoidal, a la misma frecuencia que la deformación aplicada (Fig. 5), para el que puede presentarse un retardo, el ángulo de fase δ , en radianes (Faubion et al., 1985).

El esfuerzo y la deformación relativa, variando de manera sinusoidal, se representan matemáticamente como sigue:

$$\sigma = \frac{f}{lw} \text{ sen } (\omega t - \delta) = \sigma_o \text{ sen } (\omega t - \delta) \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{d}{h} \text{ sen } (\omega t) = \gamma_o \text{ sen } (\omega t) \quad (2)$$

donde σ_o es la amplitud del esfuerzo y γ_o es la amplitud de la deformación relativa. Por conveniencia, el esfuerzo y la deformación relativa pueden expresarse en variación de

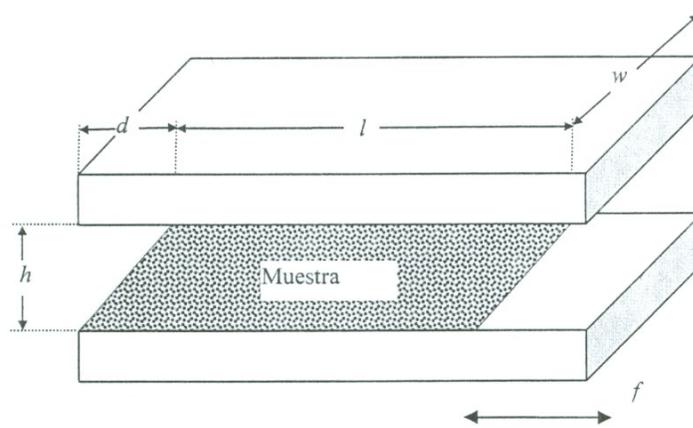


Fig. 4. Geometría de platos paralelos para pruebas dinámicas.

Fuente: Faubion y col., (1985).

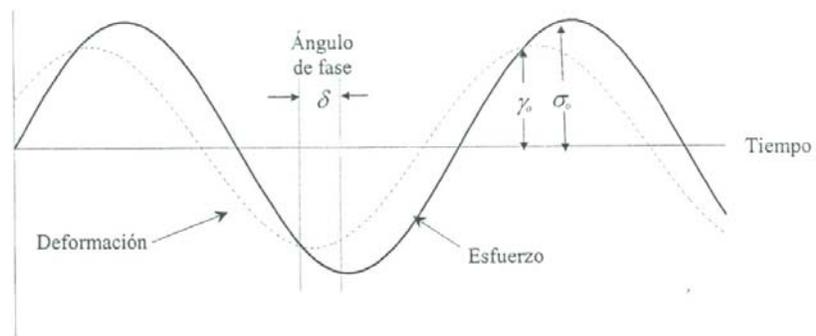


Fig.5. Deformación oscilatoria y esfuerzo de respuesta en pruebas dinámicas.

Fuente: Goodwin y Hughes (2000)