



EL SABER DE MIS HIJOS
HARA MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos
Programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Especialidad en Almacenamiento y Procesamiento de Granos

**Evaluación de las Características Viscoelásticas de Masas de Trigos
Suaves Mexicanos Utilizando la Prueba de Relajación del Esfuerzo**

TESIS

Que para obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Elisa Magaña Barajas

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	4
OBJETIVOS.....	7
General.....	7
Específicos.....	7
ANTECEDENTES.....	8
Generalidades del Trigo.....	8
Importancia.....	8
Clasificación.....	10
Usos.....	13
Factores ambientales que alteran la calidad del trigo.....	16
Trigo Suave.....	18
Composición química.....	19
Usos.....	21
Producción nacional.....	21
Reología de Masas.....	21
Viscoelasticidad.....	23
Determinaciones viscoelásticas.....	26
Prueba de Relajación del Esfuerzo.....	35
Tiempo de relajación.....	35
Modelo de Maxwell.....	37

CONTENIDO (Cont.....)

	Pág.
Análisis de datos de relajación del esfuerzo.....	40
MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
Materia Prima.....	41
Obtención de la Harina.....	41
Limpieza.....	41
Acondicionamiento del trigo.....	41
Molienda.....	41
Evaluación de las Harinas.....	41
Análisis químico proximal.....	41
Contenido de gluten.....	43
Volumen de sedimentación.....	43
Número de caída.....	43
Pruebas Reológicas.....	43
Farinogramas.....	43
Alveogramas.....	43
Características Viscoelásticas de las Masas.....	44
Preparación de las muestras.....	44
Método dinámico.....	44
Prueba de relajación del esfuerzo.....	45
Diseño de Experimentos y Análisis Estadístico.....	45
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	46
Evaluación de las Harinas.....	46
Análisis químico.....	46
Análisis Físico.....	50
Pruebas Reológicas.....	54
Farinogramas.....	54
Alveogramas.....	58

CONTENIDO (Cont.....)

	Pág.
Características Viscoelásticas de las Masas.....	62
Método dinámico.....	62
Prueba de relajación del esfuerzo.....	69
Correlaciones Entre las Características Viscoelásticas y Otras Determinaciones.....	80
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES.....	88
LISTA DE REFERENCIAS.....	89
ANEXOS.....	98

LISTA DE TABLAS

Tabla		Pág.
1	Composición química del trigo.....	9
2	Principales países productores de trigo a nivel mundial, en el año 2005.....	11
3	Clasificación de los trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten.....	14
4	Composición química del trigo suave.....	20
5	Producción de trigo en la región del Bajío en el período 2003-2007.....	22
6	Ejemplos de métodos empíricos utilizados para medir las propiedades reológicas de las masas de harina de trigo.....	27
7	Número de muestras de trigo suave utilizadas en la investigación por variedad y por estado de procedencia.....	42
8	Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre la composición proximal, de las harinas de trigo suave.....	47
9	Valores promedio de la composición proximal por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave.....	49
10	Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre la composición de gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída; de las harinas de trigo suave.....	51
11	Valores promedio del gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída; por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave.....	52
12	Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre las propiedades reológicas con el farinograma, de las harinas de trigo suave.....	55
13	Valores promedio de las propiedades reológicas con el farinograma por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave.....	56
14	Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre las propiedades reológicas con el alveograma, de las harinas de trigo suave.....	59

LISTA DE TABLAS (Cont.....)

Tabla		Pág.
15	Valores promedio de las propiedades reológicas con el alveograma por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave).....	61
16	Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre los parámetros viscoelásticos utilizando el método dinámico medidos a una frecuencia de 5 rad/seg, de las harinas de trigo suave.....	64
17	Valores promedio de los parámetros viscoelásticos utilizando el método dinámico medidos a una frecuencia de 5 rad/seg por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave.....	65
18	Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre las propiedades viscoelásticas utilizando la prueba de relajación del esfuerzo, de las harinas de trigo suave.....	71
19	Valores promedio de las propiedades viscoelásticas utilizando la prueba de relajación del esfuerzo por estado y por variedad, de las harinas de trigo suave.....	72
20	Correlaciones simples (r) entre los parámetros viscoelásticos de las masas de harinas de trigos suaves y otras determinaciones físicas y químicas.....	81
21	Correlaciones simples (r) entre parámetros viscoelásticos de la prueba de relajación del esfuerzo y método dinámico y otras determinaciones.....	83

LISTA DE FIGURAS

Fig.		Pág.
1	Principales estados de México productores de trigo, en el año 2005.....	12
2	Distribución del uso de la harina de trigo en México.....	15
3	Curvas de relajación del esfuerzo de materiales viscoelásticos.....	24
4	Geometría de platos paralelos para pruebas dinámicas.....	30
5	Deformación oscilatoria y esfuerzo de respuesta en pruebas dinámicas.....	31
6	Curva de esfuerzo vs tiempo de un cuerpo viscoelástico.....	36
7	Modelo de Maxwell.....	38
8	(a)Módulo de almacenamiento, (b)módulo de pérdida y (c)tangente del ángulo de fase en función de la frecuencia para las variedades de trigo suave.....	68
9	Modulo de relajación, G(t) contra tiempo de las muestras de las variedades (a)Barcenás, (b)Cortazar, (c)Salamanca y (d)Saturno, a una deformación constante de 15%.....	75
10	Modulo de relajación, G(t) contra tiempo de las variedades de trigo suave, a una deformación constante de 15%.....	78
A-1	Farinogramas de las muestras de las variedades (a)Barcenás, (b)Cortazar, (c)Salamanca y (d)Saturno.....	99
B-1	Alveogramas de las muestras de las variedades (a)Barcenás, (b)Cortazar, (c)Salamanca y (d)Saturno.....	100

RESUMEN

El trigo es el principal cereal que ha sido utilizado ampliamente como alimento desde la antigüedad alrededor del mundo e influye económicamente, tiene adaptabilidad al clima y su fruto es un grano no perecedero de alto valor calórico y nutritivo. En México, el trigo suave crece en la región del Bajío (estados de Guanajuato, Jalisco y Michoacán), y es utilizado para elaborar galletas y pasteles. El producto principal elaborado a partir del trigo es la harina, que sirve como materia prima para la elaboración de nuevos productos. Entre las pruebas para evaluar la calidad de la harina se encuentran las que se refieren para medir sus propiedades viscoelásticas. El objetivo de ésta investigación fue evaluar las características viscoelásticas de las masas de trigos suaves mexicanos utilizando la prueba de relajación del esfuerzo y correlacionarla con la composición química, calidad del gluten y características reológicas de las harinas; así como determinar el efecto de los factores, variedad y el ambiente donde se cultivan (estado de procedencia). Para la obtención de las harinas, 14 muestras de trigo suave de variedades Barcenás, Cortazar, Salamanca y Saturno procedentes de los estados de Michoacán y Guanajuato fueron limpiadas, acondicionadas y molidas. Para evaluar la calidad de las harinas fue medida su composición química, calidad del gluten y características reológicas. Dentro de las pruebas reológicas se utilizó la prueba de relajación del esfuerzo donde los parámetros evaluados fueron esfuerzo máximo inicial (G_0) y el tiempo de relajación (TREL). Se utilizó un diseño experimental de dos factores: variedad y condiciones ambientales (estado de procedencia). Las propiedades viscoelásticas y los parámetros de calidad de las harinas de trigo suave fueron afectadas principalmente por las condiciones ambientales y en segundo término por la variedad. Las masas presentaron un rango de tiempo de relajación y esfuerzo máximo inicial de 0.33-0.41 seg y 462.4-510.4 Pa, respectivamente. En general, las harinas de trigo sembrado en el estado de Guanajuato y de las variedades Barcenás y Salamanca tuvieron los valores más altos en su composición química, calidad del gluten y características reológicas. El valor de la tangente del ángulo de fase muestra que la característica que predominó ligeramente fue la parte viscosa sobre la parte elástica. Las propiedades viscoelásticas de la masa tuvieron 4 correlaciones fuertes con la prueba de relajación del esfuerzo y las cuales fueron: tiempo de relajación con tiempo de desarrollo ($r=-0.959$); mientras que el esfuerzo máximo inicial correlacionó con proteína, gluten húmedo y número de caída ($r=0.984$, $r=0.987$ y $r=0.986$; respectivamente). El método dinámico tuvo únicamente una correlación fuerte del módulo de almacenamiento con la absorción de agua ($r=-0.975$). Esto podría indicar que las propiedades

viscoelásticas probablemente dependan de la cantidad y calidad de proteína, contenido de gluten y contenido de almidón. La prueba de relajación del esfuerzo logró una mejor diferenciación y caracterización de las masas de trigo suave, es un método adecuado, sencillo y rápido de realizar. Ayuda a revelar el factor (variedad o condiciones ambientales) más importante que influye las propiedades viscoelásticas de las masas, lo que probablemente las hace específicas en su uso final. Se encontraron diferencias en las variedades de trigos suaves mexicanos lo cual pudiera ser información para productos finales particulares.

INTRODUCCIÓN

En México el trigo se clasifica en cinco grupos, siendo los del III (*Triticum aestivum*) los denominados suaves por presentar gluten blando o suave. Los trigos suaves son cosechados en la región del Bajío (estados de Guanajuato, Jalisco y Michoacán) siendo un factor económico de esta zona. Del trigo suave se obtiene principalmente su harina que se utiliza en la elaboración de una gran diversidad de productos alimenticios como masas pasteleras y fabricación de galletas (dulces y saladas) (Serna-Saldivar, 1996).

Para evaluar la calidad del trigo se considera a la harina el factor principal, ya que indica los parámetros de procesamiento y la calidad del producto final. En general, las pruebas de calidad se encuentran ubicadas en dos grandes grupos: básicas y reológicas; las pruebas consideradas básicas son: análisis proximal (humedad, proteína y ceniza), volumen de sedimentación y número de caída (Serna-Saldivar, 1996; Pomeranz, 1988). Las pruebas básicas ayudan a entender y elucidar la calidad de la harina y sus productos finales; sin embargo, no dan una clara idea de ésta. Debido a la necesidad de conocer claramente la calidad de la harina y sus productos fue necesario desarrollar nuevas técnicas surgiendo las pruebas reológicas.

Las pruebas reológicas son herramientas para entender el manejo de la masa (sistema formado por harina y agua, principalmente) en el procesamiento y la interacción de sus componentes y han sido utilizadas en años recientes para caracterizar a las masas de harina de trigo. Las pruebas reológicas a su vez se clasifican en: empíricas y fundamentales. Inicialmente las pruebas empíricas (realizadas en equipos como el farinógrafo, alveógrafo y amilógrafo) eran las más recurridas, pero se observó la desventaja de que los resultados representan un punto de la gama de las propiedades reológicas y que éstos resultados como son obtenidos en unidades empíricas son difíciles de relacionar con otras disciplinas, limitándose así a las correlaciones empíricas. Este problema se incrementa al tomar en cuenta la mecanización y automatización de los procesos de panificación (Faubion y Hosney, 1990). Por ello se ha recurrido a las pruebas viscoelásticas (fundamentales), donde estas ofrecen más de un parámetro y estos se pueden correlacionar con datos obtenidos con otras determinaciones.

Las pruebas viscoelásticas más importantes son: la relación esfuerzo-deformación; deslizamiento (Creep), el método dinámico y la prueba de relajación del esfuerzo (el parámetro principal es el tiempo de relajación) (Mohsenin, 1978). El método dinámico es una de las pruebas viscoelásticas utilizadas para medir y caracterizar a las masas de harina de trigo, consiste en la aplicación de pequeñas deformaciones relativas y bajas velocidades relativas causando pequeños esfuerzos a las muestras (Faubion y Hosenev, 1990). Por medio del método dinámico se ha encontrado información de los cambios en las propiedades reológicas de las masas causados por diversos factores como el almidón, contenido y tipo de proteína presente y la humedad (Puppo y col., 2005; Larsson y Eliasson, 1997; Masi y col., 1998). Sin embargo, se ha visto en otras investigaciones que con éste método la caracterización de las masas no es clara (Magaña, 2005; Unbehend y col., 2004), probablemente a que las pequeñas deformaciones (<1%) empleadas en el método causan que los valores obtenidos mediante este sean similares, consiguiendo así pequeñas diferencias. Esto ha conducido a la búsqueda de una nueva prueba para obtener una mejor diferenciación entre masas.

La prueba de relajación del esfuerzo, que es también una prueba de viscoelasticidad, ha sido aplicada en masas y ha detectado y diferenciado las propiedades intrínsecas entre ellas; consiste en aplicar altas deformaciones (>1%) y esfuerzos a las muestras y el principal parámetro obtenido es el tiempo de relajación (Mohsenin, 1978; Faubion y Hosenev, 1990; Rao, 1999). Safari-Ardi y Phan-Thien (1998), encontraron que se pueden identificar cambios en el esfuerzo al operar a amplitudes oscilatorias altas, y con la prueba de relajación del esfuerzo (altas deformaciones y esfuerzos) es posible diferenciar entre distintos tipos de masas. En cambio si se opera en la región viscoelástica lineal y modo oscilatorio no se obtienen diferencias entre la mayoría de las masas (utilizando el método dinámico) por presentar valores similares de elasticidad y viscosidad bajo estas condiciones. Debido a lo anterior la prueba de relajación del esfuerzo puede ser la herramienta reológica adecuada para caracterizar a las masas y ha sido utilizada por los investigadores en diversos trabajos obteniendo que la distribución de la cantidad de proteína (glutenina de alto peso molecular) y sus pesos moleculares están relacionados con el tiempo de relajación (Uthayakumaran y col., 2002; Rao y col., 2000). Además, se ha visto que el contenido de humedad y la deformación afectan las características no lineales de relajación en las masas (Yadav y col., 2005); así mismo, Smith y col. (1970) observaron que el tiempo de relajación incrementa con el mezclado y Rao y col. (2000) vieron que el tiempo de relajación es menor para masas fuertes que las moderadamente fuertes.

Por la importancia del conocimiento de la calidad de los trigos suaves mexicanos para dirigir de manera más adecuada su uso final y por las bajas diferencias viscoelásticas obtenidas entre las masas al aplicarse el método dinámico; en este estudio se pretende obtener una mejor caracterización evaluando el efecto de la variedad y las condiciones ambientales sobre las propiedades viscoelásticas de trigos suaves mexicanos aplicando la prueba de relajación del esfuerzo, para así poder destinar apropiadamente su uso final.

JUSTIFICACIÓN

Las masas de harina de trigo son materiales viscoelásticos (Faubion y Honseney, 1990) que presentan características elásticas y viscosas conferidas por el gluten el cual se forma al hidratarse la harina. Por sus características propias y la variabilidad entre ellas se obtienen una gran diversidad de productos alimenticios para consumo humano y animal. Para predecir la mejor utilización de la harina de trigo, mejorar formulaciones, procesos y características del producto final es fundamental conocer la estructura de la masa y su comportamiento ante diversos factores, lo que conduce a la caracterización de la misma. Debido a la naturaleza de las masas de trigo su estudio y caracterización es complicada, por lo que en las últimas décadas los investigadores se han dedicado a desarrollar técnicas para poder comprender el sistema masa y su comportamiento ante diferentes variables.

Por otro lado, en México los trigos se clasifican en cinco grupos, siendo los del III los denominados suaves. Del trigo suave se obtiene principalmente su harina que se utiliza en la elaboración de una gran diversidad de productos alimenticios como masas pasteleras y fabricación de galletas (dulces y saladas) (Serna-Saldivar, 1996). Los trigos suaves se siembran en los estados de la región del Bajío (Guanajuato, Michoacán y Jalisco), y en el 2007 se cuentan con 170, 324 Ha de trigo sembradas en esta región, siendo un factor económico de esta zona. Para conocer la calidad de los trigos suaves y así lograr una mejor diferenciación y uso final de ellos se han evaluado mediante diferentes técnicas como: proximal, peso hectolítico, volumen de sedimentación, número de caída, contenido de gluten, alveogramas, farinogramas y amilogramas (Pomeranz, 1988; http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagri.html).

Una de las características más importantes de calidad de la harina de trigo son sus propiedades reológicas de las masas y se ha observado que son determinantes para obtener las características deseadas en el producto final, así como para el diseño de equipo y procesos, por lo que se ha enfocado en obtener una prueba reológica confiable que sea una herramienta útil para caracterizar a las distintas masas de harinas de trigo (Safari-Ardi y Phan-Thien, 1998).

Por la importancia de las pruebas reológicas, éstas han sido utilizadas para conocer más a detalle el uso final de los trigos suaves y se clasifican en pruebas empíricas y pruebas fundamentales. Las pruebas empíricas fueron muy utilizadas pero se observaron varias desventajas como la dependencia de la forma y cantidad de muestra utilizada. La principal desventaja que se apreció fue que los resultados que se obtenían mediante estas no se encuentran en unidades físicas, por lo que no se pueden relacionar con los datos obtenidos con otras determinaciones no pudiendo interrelacionar diversas disciplinas y dificultando así la interpretación de los datos, no esclareciendo el comportamiento de la masa. Por lo anterior se recurrió a la utilización de las pruebas fundamentales que tienen las ventajas de tener bases teóricas y son independientes del instrumento, geometría y cantidad de muestra (Faubion y Hoseneey, 1990).

Magaña (2005), evaluó las propiedades viscoelásticas de masas de trigo suave mexicano utilizando un reómetro y el método dinámico que consiste en aplicar pequeñas deformaciones ($<1\%$) (Faubion y Hoseneey, 1990). Se obtuvieron el módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') de las masas y la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$, G''/G'), pero los resultados no fueron satisfactorios pues el comportamiento viscoelástico de las masas entre variedades y condiciones ambientales de crecimiento fueron similares, no lográndose grandes diferencias en las propiedades viscoelásticas de las diferentes variedades, por lo que recomendó ahondar más en la investigación reológica de los trigos suaves mexicanos.

La idea es evaluar las propiedades viscoelásticas de éstos trigos, pero aplicando un método reológico donde existan altas deformaciones, lo cual se logra con la prueba de relajación del esfuerzo y que en otras investigaciones se ha visto que es consistente y que pueden distinguirse algunos tipos de harinas y encontrar diferencias intrínsecas entre las masas (Faubion y Hoseneey, 1990; Safari-Ardi y col., 1997; Safari-Ardi y Phan-Thien, 1998).

Diversos investigadores han utilizado y recomendado la prueba de relajación del esfuerzo (Lee y Mulvaney, 2003; Uthayakumuran y col., 2002; Rao y col., 2000; Yadav y col., 2005; Wikström y Eliasson, 1998). En la prueba de relajación del esfuerzo la masa es rápidamente deformada a un nivel predeterminado y el esfuerzo se mide respecto al tiempo, las deformaciones y esfuerzos aplicados a las masas son mayores a las del método dinámico (Mohsenin, 1978; Faubion y Hoseneey, 1990; Rao, 1999).

Safari-Ardi y col. (1997) obtuvieron que a altas deformaciones y esfuerzos pueden distinguirse y diferenciarse distintas masas; así mismo, Safari-Ardi y Phan-Thien (1998) encontraron que el método oscilatorio es consistente y puede aplicarse en masas, pues los datos de relajación del esfuerzo obtenidos a altas amplitudes (1-15% de deformación en 3×10^3 seg) son muy precisos siendo un buen método para caracterizar y distinguir a los diferentes tipos de masas.

Igualmente, se ha observado que el tiempo de relajación se relaciona con los valores de tiempo de mezclado del mixógrafo, extensiógrafo, alveógrafo, energía de mezclado y tiempo de mezclado obtenido por largos y cortos procesos de fabricación de pan (Rao y col, 2000). Goodwin y Hughes (2000) observaron que las características intrínsecas y extrínsecas pueden ser factores que proporcionen variabilidad en los valores de relajación del esfuerzo. Esto ha sido visto en otras investigaciones donde se obtuvo que dentro de las masas extra-fuertes, que presentan tiempos de relajación cortos, el espectro de la distribución de los tiempos de relajación fue bimodal entre los diversos cultivos con diferencias en fuerza y las moderadamente fuertes (suaves) solo presentan un pico y sus tiempos de relajación son más largos (Rao y col., 2000). Además, se sabe que en los procesos industriales las masas son sometidas a operaciones de altas deformaciones como en el mezclado y moldeado, lo que justifica la aplicación de la prueba de relajación del esfuerzo.

Actualmente no existe una caracterización profunda de los trigos suaves mexicanos desconociendo el uso final adecuado e ignorando cuales condiciones ambientales y variedades mexicanas cuentan con mejores características para la industria de galletas y pasteles. Aunado a lo mencionado se ha dejado de lado la posibilidad de la mejora económica y de calidad que abarca los diferentes rubros involucrados que van desde el fitomejorador, agricultor hasta el consumidor del producto final, así como la calidad del mismo producto. Por lo que en este estudio se pretende evaluar las propiedades viscoelásticas de trigos suaves mexicanos mediante la prueba de relajación del esfuerzo para dirigir apropiadamente su utilización en la elaboración de productos finales.

OBJETIVOS

General

Evaluar las características viscoelásticas de las masas de trigos suaves mexicanos utilizando la prueba de relajación del esfuerzo y correlacionarla con la composición química, calidad del gluten, y características reológicas de las harinas.

Específicos

1. Determinar la composición química, calidad del gluten, y características reológicas de las harinas de trigo suave.
2. Evaluar el efecto de la variedad sobre la característica viscoelástica de las masas elaboradas con trigos suaves mexicanos, mediante el uso de la prueba de relajación del esfuerzo.
3. Evaluar el efecto de las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre la característica viscoelástica de las masas elaboradas con trigos suaves mexicanos, mediante el uso de la prueba de relajación del esfuerzo.
4. Correlacionar los parámetros de tiempo de relajación con las características de calidad de las harinas obtenidas de trigos suaves.

ANTECEDENTES

Generalidades del Trigo

El trigo forma parte de los cereales de género de la familia de las gramíneas y es uno de los principales cereales utilizados alrededor del mundo, presentando la cualidad de adaptarse a diferentes sistemas climáticos. Se cree que su origen data en el período de 10,000-8,000 años a.C. y que fue en las tierras áridas de Asia menor donde se desarrolló su cultivo por primera vez. Desde épocas antiguas y en el presente ha sido el principal cereal utilizado como alimento debido a que este presenta un alto valor nutritivo y energético y su fruto es un grano seco no perecedero (Pomeranz, 1988).

Es un alimento calórico por los elevados porcentajes de carbohidratos presentes; además proporciona fibra, proteínas, vitaminas (vitamina E y vitaminas B), minerales (zinc, cobre, manganeso y molibdeno) y agua (Serna-Saldivar, 1996). La composición del trigo varía de acuerdo a su genética, clima e historia de partida una vez cosechado (Tortosa, 1982); en general presenta la siguiente composición proximal promedio: 14.6% de proteína (principalmente constituido en un 80.0% por gliadinas y gluteninas), 1.8% de lípidos, 3.0% de fibra cruda, 2.0% de cenizas y 78.6% de carbohidratos digeribles (Tabla 1) (Hoseney, 1994). Los principales componentes químicos del trigo son las proteínas pues dan la funcionalidad y los carbohidratos que tienen importancia tecnológica por su capacidad de retención de agua.

Importancia

La importancia del trigo radica en que constituye una de las principales fuentes de energía para la mayoría de las personas a nivel mundial, representada en forma de hidratos de carbono; también contiene otros nutrientes importantes como proteínas, grasas, vitaminas y minerales. Además, este puede crecer en una diversidad de regiones alrededor del mundo (principalmente en las templadas) y su fruto puede almacenarse por largos períodos de tiempo. Por milenios el pan con o sin levadura ha sido la forma más usual de consumo de trigo (Pomeranz, 1988).

Tabla 1. Composición química del trigo

Componente	%
Carbohidratos	78.6
Proteína	14.6
Fibra cruda	3.0
Cenizas	2.0
Lípidos	1.8

Fuente: Hosenev, 1994

Siendo el trigo uno de los principales cereales a nivel mundial este ocupa una tercera parte del total de la producción, en el 2005 la producción registrada de trigo fue de 623.8 millones de Ton y los principales países productores fueron la Unión Europea (21.9%), China (14.6%), India (11.6%) y E.U.A. (9.4%) (Tabla 2).

En México, los principales cereales consumidos son maíz, trigo y arroz (en orden de importancia). En el 2005 SAGARPA reportó una producción total de trigo de 3.01 millones de Ton, en la Fig. 1 se observan los principales estados productores que fueron: Sonora, Guanajuato, Baja California, Michoacán y Jalisco (40.54%, 26.45%, 20.39%, 7.53% y 6.46%; respectivamente) (<http://www.fao.org/docreep/meeting/X2505S.htm>, http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagri.html, http://www.oeidrus-portal.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp).

Además, el trigo es el único cereal capaz de formar masas fuertes, cohesivas y capaces de retener gas y dar como producto un pan esponjoso por lo que entre sus propiedades funcionales, la formación de masa es la que ha conducido a su tan extensa aplicación en la industria alimentaria (Zdzislaw, 2001; Duffus, 1985; Hosenev, 1991). La funcionalidad es dada principalmente por el contenido y calidad de proteína y la fuerza del gluten (Serna-Saldivar, 1996).

Clasificación

Se cuenta con diferentes variedades de trigo alrededor del mundo, esto para obtener un mayor rendimiento, resistencia a diferentes condiciones climáticas, enfermedades, insectos, y composición adecuada para el fin que se le empleará dentro de la industria de los alimentos. Por lo anterior el trigo es el cereal que cuenta con mayores sistemas de clasificación debido a sus diversos usos y alta versatilidad. El sistema de clasificación más utilizado es el de Estados Unidos que se basa en el grado y clase, donde el primer término indica la calidad y el segundo el uso potencial en la industria. Existen otros sistemas menos conocidos como son los de Canadá, Australia y Comunidad Europea. Así mismo, se pueden encontrar con otras maneras para llevar a cabo la clasificación del trigo como por ejemplo el color del grano; los trigos blancos son en su mayor parte de invierno, y los rojos de primavera. Las especies de trigo también se clasifican en función del número de cromosomas de las células vegetativas. Se reconocen tres series: diploide o carraón, con 14 cromosomas; tetraploide o escanda con 28 cromosomas, y hexaploide, con 42 cromosomas. Las especies de trigo se hibridan con bastante

Tabla 2. Principales países productores de trigo a nivel mundial, en el año 2005

País	MT¹	%²
Unión Europea	136.7	21.9
China	91.0	14.6
India	72.1	11.6
E.U.A. ³	58.7	9.4
Total	358.5	57.5

¹MT: Millones de toneladas

²%. Porcentaje con respecto al total de la producción mundial de trigo del año 2005 (623.8 MT)

³E.U.A.: Estados Unidos de América

Fuente: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx>

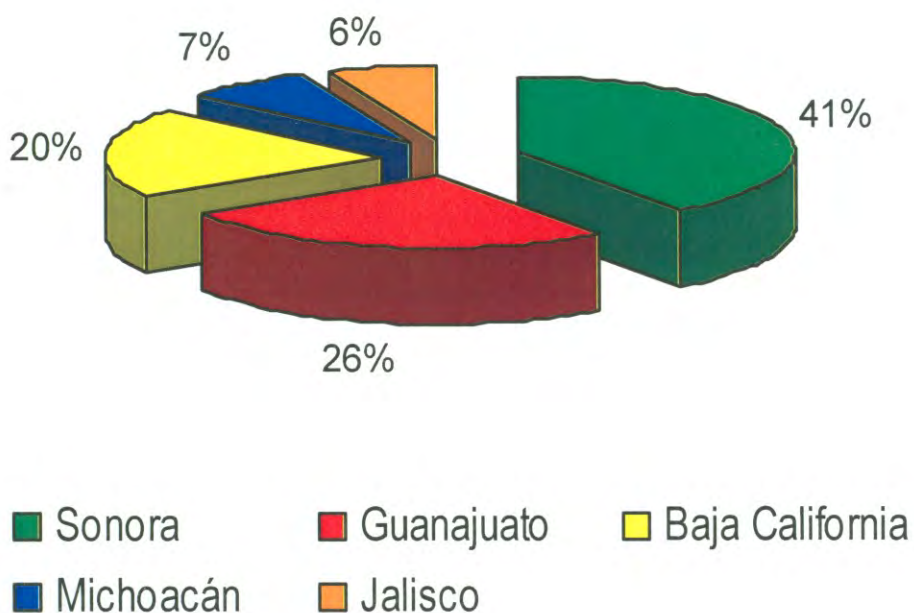


Fig. 1. Principales estados de México productores de trigo, en el año 2005
Fuente: http://www.oeidrus-portal.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp

frecuencia en el medio natural. La selección de las mejores variedades para su cultivo tuvo lugar en muchas regiones hace siglos. En la actualidad sólo tienen importancia comercial las variedades de trigo común, candeal y duro (Pomeranz, 1988; Serna-Saldivar, 1996).

En México, se maneja la clasificación de los trigos en cinco grupos tomando como base la funcionalidad del gluten: I, II, III, IV, y V. Los trigos del grupo I al grupo IV son los harineros (*Triticum aestivum*), y los del grupo V los cristalinos (*Triticum durum*). En la Tabla 3 se observan como las características entre cada grupo y los usos que se le dan varían entre ellos. Los trigos pertenecientes al grupo I se dice que son de gluten fuerte, los del grupo II son de gluten medio fuerte, los del grupo III de gluten suave, los del grupo IV son de gluten tenaz y finalmente los del grupo V son de gluten llamado cristalino; sus usos son varios como panificación, panificación no mecanizada, industria galletera, pasteles y pastas, respectivamente (Norma Oficial Mexicana NOM-EF-36-1984). Los trigos del grupo III o denominados suaves se siembran en la región del Bajío conformada por los estados: Guanajuato, Jalisco y Michoacán.

Usos

El trigo es el cereal más utilizado por los seres humanos para su alimentación, por lo que sus usos son variados. La mayoría del trigo se destina a la fabricación de harinas para panificadoras y pastelería. En general, las harinas procedentes de variedades de grano duro se destinan a las panificadoras y a la fabricación de pastas alimenticias, y las procedentes de trigos blandos a la elaboración de masas pasteleras.

El trigo se usa también para fabricar cereales de desayuno y, en menor medida, en la elaboración de cerveza, whisky y alcohol industrial. Los trigos de menor calidad y los subproductos de la molienda y de la elaboración de cervezas y destilados se aprovechan como piensos para el ganado. Se destinan pequeñas cantidades a fabricar sucedáneos del café, sobre todo en Europa; el almidón de trigo se emplea como apresto de tejidos (Serna-Saldivar, 1996; Pomeranz, 1988). De la producción de harina en México aproximadamente el 70% es consumida por la industria panificadora, el 11 % en la fabricación de galletas y pastas, el 7% en frituras y tortillas y el 12% es comercializada para consumo doméstico (Fig. 2).

Tabla 3. Clasificación de los trigos mexicanos con base en la funcionalidad del gluten

Grupo	Denominación	Características
I	Fuerte	Gluten fuerte y elástico apto para la industria mecanizada de panificación. Usados para mejorar la calidad de 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. Usado para mejorar las propiedades de trigos tenaces.
IV	Tenaz	Gluten corto o 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

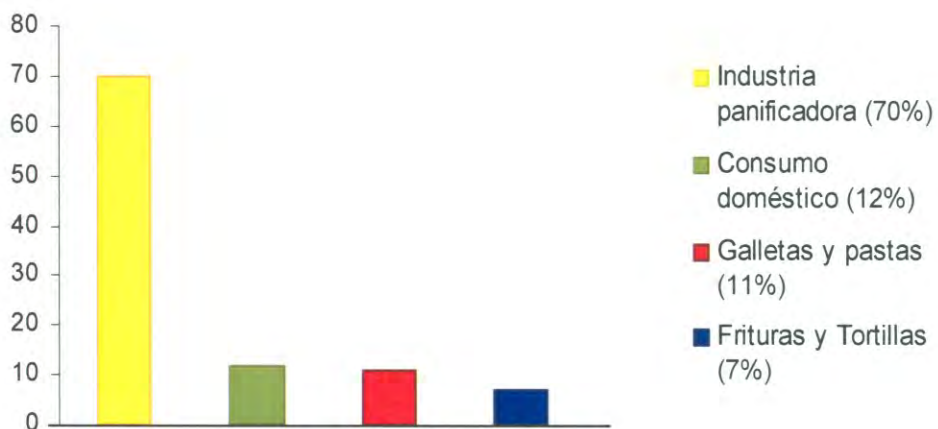


Fig. 2. Distribución del uso de la harina de trigo en México

Fuente: <http://asamex.nsl.uiuc.edu/panifica2.html>

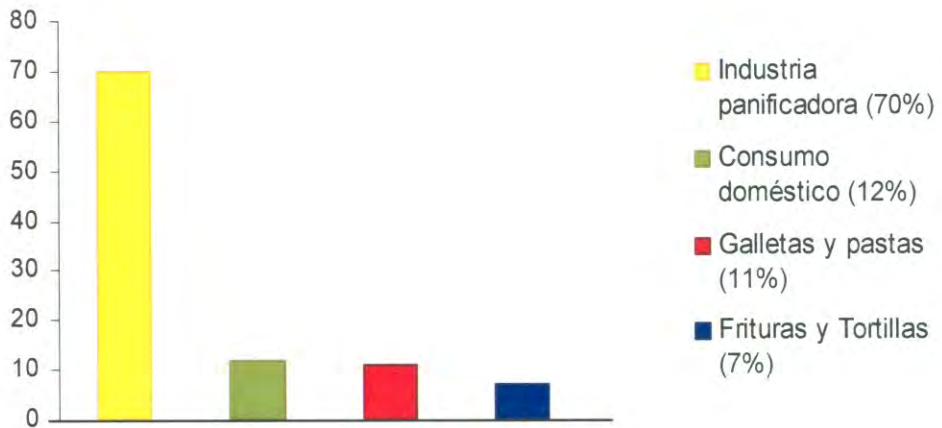


Fig. 2. Distribución del uso de la harina de trigo en México

Fuente: <http://asamex.nsrل.uuc.edu/panifica2.html>

Factores ambientales que alteran la calidad del trigo

El término de calidad es muy extenso, depende de la etapa del procesamiento de transformación del trigo en la que se encuentre que va desde la semilla de trigo hasta el producto final. En éste caso, se maneja el término "calidad" como aquella que da las mejores características panaderas y esta sujeta a los componentes más importantes de la harina de trigo: contenido de proteínas, gluten húmedo y las propiedades reológicas de las masas que se determinan por el farinograma y alveograma. En general, un trigo de calidad es aquel con el cual el producto final obtenido es de excelentes características organolépticas (sabor y olor), alta textura, valor nutritivo alto y de costo competitivo (Pomeranz, 1988; Quaglia, 1991).

Existen varios factores que influyen en la calidad de la harina y se clasifican en dos grupos: inherentes en el trigo resultado de la composición genética (intrínsecos) de una clase y variedad de trigo además cambios en las condiciones de crecimiento, incluyendo la fertilización, el clima, enfermedades (extrínsecos) y aquellos no inherentes que se puedan alterar durante el proceso de la obtención de harina (Pomeranz, 1988). En particular, se enfocará a los inherentes extrínsecos. Los factores ambientales (extrínsecos) tienen un profundo impacto en la producción de trigo, y ayuda a explicar por qué diferentes partes del mundo producen distintos tipos de trigo, condicionando, a su vez, su destino final (Bozzini, 1988; Briggie y Curtis, 1987). Villar y Astegnio (2004), observaron el efecto de los factores ambientales: radiación, temperatura y cantidad de agua (riego o lluvia) en el crecimiento y desarrollo de la planta de trigo.

Temperatura. Se considera como el principal factor que afecta la calidad del trigo, altas temperaturas alteran el llenado del grano provocando un incremento en el contenido de proteína y una baja en la calidad de las mismas (Randall y Moss, 1990; Blumenthal y col., 1991; García y col., 2007). Wardlaw y Wrigley (1994), observaron como por cada °C que incrementa de 16°C (temperatura óptima para alcanzar el máximo peso del grano) a 30°C, los rendimientos bajan y se puede deber a que se cuenta con menos almidón en la acumulación (García y col., 2007). Villar (2006), observó la influencia de la temperatura sobre la eficiencia del cultivo (habilidad de utilizar los recursos disponibles para su crecimiento) obteniendo que a temperaturas moderadas la producción de trigo se ve favorecida. Randall y Moss (1990) encontraron que el contenido de proteína es inversamente proporcional a la temperatura, pero es menos sensible que la cantidad de almidón y García y col. (2007) observaron que existe una

relación inversa del contenido de proteína con el llenado del grano. Se ha registrado que en algunos casos el contenido de proteína no fue modificado y el volumen del pan y de sedimentación disminuyen (Graybosch y col., 1995; Peterson y col., 1998). Cuando las temperaturas son altas causan reducción y hasta suspensión en la síntesis de subunidades de gluteninas de alto peso molecular, en cambio en las gliadinas y en las de subunidades de gluteninas de bajo peso molecular la síntesis no se altera (Blumenthal y col., 1990a; Blumenthal y col., 1990b; Blumenthal y col., 1994). Debido a que el tamaño relativo de las proteínas poliméricas depende de su composición, en particular de la relación entre subunidades de gluteninas de alto y bajo peso molecular, la reducción o supresión de la síntesis de gluteninas de alto peso molecular puede afectar negativamente la formación de los grandes agregados responsables de la cohesividad del gluten y la fuerza de las masas.

Fertilizante. El uso de fertilizantes nitrogenados y azufrados son ampliamente estudiados, estos afectan tanto a la calidad como a la cantidad de proteínas presentes en el trigo y por lo tanto a su calidad panadera (Zhao y col., 1999).

Nitrógeno (N). Cuando el contenido de nitrógeno en el suelo es bajo se recurre a una "alimentación" del suelo con éste. El enriquecimiento del suelo con N puede constar de varias etapas donde en la primera, como es de esperarse, se incrementan los niveles de N en el suelo teniendo efectos positivos en el rendimiento del trigo y una baja en el porcentaje de proteínas conocido como efecto dilución; que según varios autores se deben a factores ambientales como temperatura, humedad y disponibilidad de agua y N (Terman, 1979; Kibtie y Evans, 1984; Papakosta y Gagianas, 1991), efecto que Mellado (2001) logró controlar en trigos de invierno y primavera de diferentes variedades chilenas en los que fue posible incrementar el rendimiento del grano sin que los parámetros de calidad como volumen de sedimentación (calidad) y cantidad de proteína y fuerza se alteraran. En la etapa subsiguiente ambos aspectos (rendimiento y cantidad de proteína) se ven favorecidos y finalmente en la etapa de estabilización las variaciones de ambos aspectos fluctúan escasamente ante la adición de N. Se ha encontrado que si se cuenta con un sistema de aplicación tardía de N por riego el contenido de proteína se ve favorecido (Echeverría y Studdert, 1998). En general, se ha observado que con la fertilización nitrogenada se incrementa el contenido de proteína.

Azufre (S). Estudios muestran que la fertilización azufrada mejora el contenido y la calidad de las proteínas estructurales presentes en el trigo; pudiéndose deber a que el S estabiliza la estructura de las proteínas y esta relacionada positivamente con el volumen del pan (Haneklaus y col., 1992).

Otros. Existen muchos otros factores ambientales que influyen en la calidad del trigo como la radiación, precipitación pluvial, la ocurrencia de heladas tardías y la duración del período de llenado de los granos (Faridi y Finey, 1989; Lookhart y Finney, 1984). La radiación aumenta la tasa de crecimiento del trigo y afecta la eficiencia del cultivo para utilizar los recursos disponibles (Villar y Astegnio, 2004; Villar, 2006).

Trigo Suave

Los trigos suaves ó trigos de invierno se siembran en otoño cosechándose en primavera, su cultivo requiere de un clima con lluvias y temperaturas constantes. La maduración del trigo suave con respecto a las otras variedades es más lenta, produciendo cosechas de mayor rendimiento y menor riqueza proteica, por lo cual es más adecuado para galletas y pastelería que para panificación.

Los trigos suaves producen harina muy fina compuesta por fracciones de tamaño y forma variado de células de endospermo (incluyendo una proporción de fragmentos celulares muy pequeños y granos sueltos de almidón) y algunas partículas aplastadas que se adhieren entre sí provocando que se cierna con dificultad, ya que tiende a obstruir los orificios de los cedazos y su harina presenta características de una alta textura.

El endospermo del trigo duro puede tener el aspecto pétreo o harinoso y los trigos blandos una apariencia opaca, aunque en algunos casos pueden ser vítreos si tienen un alto contenido de proteínas. En general las variedades de trigo suave tienen un bajo contenido de proteína por lo que la matriz formada con éstas no rodea en su totalidad al gránulo de almidón, teniendo como resultado una unión de proteína-gránulo de almidón más débil con respecto a la que presentan los trigos duros; esto se debe aparentemente a la pequeña proteína denominada friabilina que esta presente en el trigo suave. Por lo anterior, cuando el grano de trigo suave se expone a altas deformaciones como en el proceso de molienda se ocasiona un rompimiento en la unión de la proteína con gránulo de almidón y no en éste

último; por lo que la lesión en los gránulos del almidón en el trigo suave es menor con respecto a la que sufre el almidón de los trigos duros. En conclusión, en los trigos suaves la unión almidón-proteína se rompe con facilidad utilizando pequeñas fuerzas.

Otra de las características del trigo suave es que sus harinas tienen una absorción de agua baja, probablemente porque las paredes celulares del endospermo son delgadas provocando una rápida hidratación de la harina causando que el tiempo de reposo y amasado sean cortos. Además sus harinas tienen menor granulometría y contenido de cenizas, provocando que el gluten sea menos tenaz y más elástico. Las características mencionadas son las que le confieren la versatilidad de usos a sus harinas (Duffus, 1985; Hosenev, 1991; Serna-Saldivar, 1996; Pomeranz, 1988).

Composición química

Los carbohidratos siguen siendo los principales constituyentes del trigo suave y como es el caso de situaciones extremas de limitación de agua en la masa resultante usada para galletas, la mayoría del almidón se granula, nunca se gelatiniza. Los trigos suaves presentan valores bajos de proteína, fibra cruda y cenizas (minerales) (9.9%, 2.7% y 1.7 % respectivamente), pero un alto porcentaje de grasa (lípidos) y extracto libre de nitrógeno (2.8% y 82.9% de cada uno), lo cual se observa en la Tabla 4. Las principales proteínas del trigo que conforman al 80% del gluten son gluteninas que dan la elasticidad (resistencia a la extensión) y las gliadinas que proporcionan la viscosidad (extremadamente pegajosas al hidratarse, confieren extensibilidad) del gluten. Así, el gluten contribuye a las propiedades viscoelásticas específicas de la masa de la harina de trigo (Duffus, 1985; Hosenev, 1991; Serna-Saldivar, 1996; Zdzislaw, 2001; Quaglia, 1991; Menjívar, 1990; Pomeranz, 1988).

Las harinas de trigo suave presentan una relación de mayor contenido de proteínas del tipo gliadinas que gluteninas, por lo que éstas presentan más parte viscosa que parte elástica, características que dictaminan sus diversos usos potenciales debido a su facilidad de formación de masas y su sencilla extensibilidad (Pomeranz, 1988; Zdzislaw, 2001; Quaglia, 1991). Por ejemplo Edwars y col. (2001) observaron que los trigos suaves presentan mayor parte viscosa que los panaderos y se puede deber a que presenta mayor fracción de cadenas polipeptidas de bajo peso molecular. Diversos investigadores han visto que el contenido y tipo de proteína presente en las masas afectan las propiedades reológicas

Tabla 4. Composición química del trigo suave

Componente	%
Extracto libre de nitrógeno	82.9
Proteína	9.9
Lípidos	2.8
Fibra cruda	2.7
Minerales	1.7

Fuente: Serna-Saldivar, 1996

(Hibberd, 1970; Navickis y col., 1982; Smith y col., 1970) tales como el tiempo de relajación (Uthayakumuran y col., 2002; Rao y col., 2000).

Usos

El uso que se le puede dar al trigo blando o suave es en la elaboración de masas pasteleras y para la fabricación de galletas. Esto debido a que en estos productos se requiere un proceso de mezclado rápido, nivel proteico bajo, red de gluten débil y almidón presente no dañado. Por lo anterior, el trigo suave es inadecuado para panificación a menos que se mezcle con harina más fuerte o se utilicen agentes químicos como el gas clorinado (Serna-Saldivar, 1996, Pomeranz, 1988).

Algunos de los ejemplos de productos que se pueden elaborar a partir de trigos blandos se pueden agrupar en: tartas, obleas, galletas dulces, galletas saladas, biscuits y pretzels. También puede ser utilizado para pan fermentado y leudado con agentes químicos, productos de pastelería, botanas, cereales para desayunos, pies, hot cakes, agente engrosante, waffles y barquillos para helados (Hoseney, 1991; Pomeranz, 1988).

Producción nacional

El trigo suave se produce en la región del Bajío (estados de Guanajuato, Michoacán y Jalisco) y son un factor económico para la zona. En el presente año (2007) la producción de trigo en la zona del Bajío se dio en los estados de Guanajuato y Michoacán, se tienen registradas sus producciones respectivas al 31 de Marzo del 2007 de 465,783.5 Ton y 155,494.5 Ton (http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagri.html). En la Tabla 5 se muestra la producción de trigo en la región del Bajío en los últimos cinco años.

Reología de Masas

Reología es la ciencia que estudia la deformación y flujo de los cuerpos aparentemente continuos y coherentes, pero con frecuencia trata también de la fricción entre sólidos, de flujo de polvos, e incluso de la reducción de partículas, o molturación (Muller, 1977). La reología de los alimentos fue definida por White (1970) como "el estudio de la deformación y flujo de las materias primas sin procesar, los productos intermedios o semielaborados, y los productos finales de la industria alimenticia".

Tabla 5. Producción de trigo en la región del Bajío en el periodo 2003-2007

Estado \ Año	2003 (TM ²)	2004 (TM)	2005 (TM)	2006 (TM)	2007 ¹ (TM)
Guanajuato	250,982	540,562	684,999	537,776	465,783
Jalisco	64,896	157,868	167,324	159,194	-----
Michoacán	176,148	202,117	195,072	157,584	155,494
Total	49,2026	900,547	1,047,395	854,554	621,277

1: Producción de trigo registrada hasta el 31 de Marzo

2: Toneladas métricas

Fuente: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagri.html, http://www.oeidrus-portal.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp

Las propiedades reológicas de los alimentos están basadas en el flujo y las deformaciones causadas en respuesta a la presión o tensión a la cual son sometidos, es por ello que su estudio requiere de los principios de flujo de fluidos basado en la ecuación de continuidad o de conservación de masa y la ecuación de movimiento o conservación de momento (Rao, 1999). El estudio reológico de los alimentos es importante para el diseño de procesos y equipo, control de calidad, evaluación sensorial de los alimentos y ayudan a conocer la estructura del propio alimento para poder prever su composición, tipo y condiciones de operación adecuadas para su procesamiento (Muller, 1977).

Viscoelasticidad

La viscoelasticidad es la particularidad que presentan ciertos productos de tener características que varían desde los sólidos ideales ó sólido de Hooke (100% elástico) a los líquidos ideales ó líquido de Newton (100% viscoso). Con respecto a la elasticidad se puede afirmar que en los materiales viscoelásticos se debe a la deformación elástica de las macromoléculas. Aún sin embargo, en este tipo de materiales la recuperación es parcial, porque la red tridimensional elástica se desintegra bajo el efecto de la tensión (Muller, 1977).

El material viscoelástico se comporta de la siguiente forma:

1. Ante la aplicación de un esfuerzo, un material viscoelástico responde deformándose instantáneamente con algún comportamiento elástico, la tensión aplicada produce una deformación.
2. A partir del instante cero, el material fluye de acuerdo a un modelo reológico de forma que la tensión se relaja al aproximarse el material a una nueva posición de equilibrio.
3. A tiempo infinito, la tensión puede haberse relajado totalmente, si el material fluye de acuerdo al modelo newtoniano o de la potencia, o conservar un valor si el flujo es de plástico general o de Bingham.
4. Si el esfuerzo cesa en cualquier momento antes de la relajación, el material se contrae recuperando algo de su forma inicial (Fig. 3).

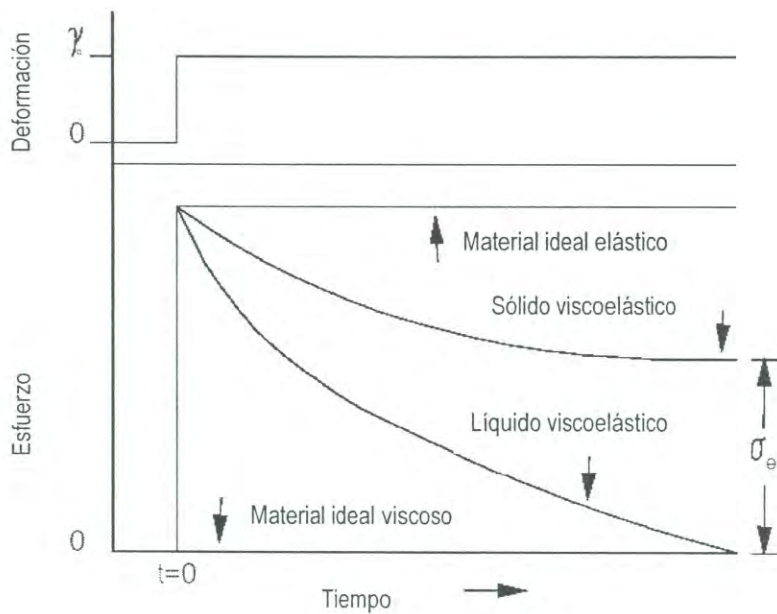


Fig. 3. Curvas de relajación del esfuerzo de materiales viscoelásticos
Fuente: Steffe, 1996

Las masas de trigo es uno de los alimentos que están catalogados como viscoelásticos por presentar propiedades viscosas de los líquidos y elásticas de los sólidos de manera conjunta a tensiones altas, ya que fluye como un líquido y al aplicarle una fuerza se expande o contrae y después de aplicársela vuelve parcialmente a su estado original. Los materiales viscosos y elásticos (viscoelásticos) utilizan la energía para generar calor y almacenar energía respectivamente, ya que el esfuerzo resulta de la combinación de la deformación y velocidad de deformación (Muller, 1977; Faubion y Hosenev, 1990). Un material deja de ser elástico cuando éste es viscoso (Menjívar, 1990). En los alimentos la elasticidad se da por deformaciones en las macromoléculas y la recuperación es parcial debido a la tensión que rompe la red tridimensional y cuanto menos se rompa más elástico será el alimento y por el contrario éste será más viscoso. En la masa de harina de trigo se da una relajación rápida parecida al modelo de Maxwell, probablemente se debe al intercambio de enlace disulfuro-sulfhidrilo.

El problema que se ha presentado en el análisis de las masas de harina de trigo es que los resultados se reportan en términos reológicos que son difíciles de relacionarse con las propiedades físicas del material, siendo así difícil la comparación entre los resultados arrojados por los diversos laboratorios. Además, se dificulta el interrelacionar varias disciplinas como la fisicoquímica de coloides y de polímeros con la reología para la interpretación de los resultados (Menjívar, 1990; Faubion y Hosenev, 1990). Por otro lado, las masas de harina de trigo presentan dos de las desviaciones ideales más frecuentes en los alimentos: (1) Disminución de la viscosidad al incrementar la velocidad de deformación relativa o comportamiento pseudoplástico; y (2) Presencia de un esfuerzo inicial aparente, es decir, un esfuerzo mínimo necesario para hacer fluir el material o bien plástico de Bingham.

Por otro lado, se tienen factores de procesamiento que causan que las masas no sean ideales: (1) Mezclado, operación donde se somete a la masa de harina de trigo a pequeñas deformaciones de corte que pueden llegar más allá del límite de ruptura; y (2) Fermentación, proceso donde ocurren deformaciones de tipo extensional, pero son mínimas que las de mezclado.

Es por las desviaciones anteriores y demás factores que no se ha construido la ecuación de estado reológica propia de las masas de harina de trigo (Rao, 1999). Debido a lo anterior, la aplicación de la reología al comportamiento de las masas es fundamental en la investigación de parámetros de

proceso, ingredientes agregados, composición química de la harina y características deseables del producto final (Bushuk, 1985).

Determinaciones viscoelásticas

Las determinaciones viscoelásticas son variadas ya que se tienen diferentes productos alimenticios viscoelásticos que presentan la pequeña característica de no tener de manera aislada las propiedades viscosas y elásticas, siendo difícil el separar y estudiar cada una de ellas. Sin embargo mediante técnicas especiales se pueden aislar cada una de las propiedades y estudiarse de manera separada. Existen dos tipos de determinaciones viscoelásticas de los alimentos: (1) Métodos empíricos y (2) Métodos fundamentales.

Los métodos empíricos miden parámetros que no están bien definidos, pero que la experiencia ha marcado la importancia de su uso y las geometrías que utilizan son difíciles de analizar matemáticamente; éstos son ampliamente utilizados en el área de control de calidad de las industrias y en estudios relacionados con los efectos de los cambios de las condiciones de procesamiento. Los métodos fundamentales son lo inverso de los empíricos pues estos miden propiedades físicas bien definidas utilizando geometrías fáciles de analizar matemáticamente (Rao y col., 1999).

Métodos empíricos. En la Tabla 6 se presentan los métodos empíricos utilizados para medir las propiedades reológicas de las masas de harina de trigo; los sistemas de ensayo utilizados inicialmente son el alveógrafo de Chopin (en la actualidad se hace uso de él), extensómetro de Simon, el sistema Brabender, farinógrafo y extensómetro; estos dos últimos dan la huella digital de la harina (Muller, 1977).

Diversos investigadores han utilizado los métodos empíricos para evaluar una gran variedad de cereales y sus productos. Unbehend y col. (2004), evaluaron las propiedades reológicas mediante farinógrafo y alveógrafo encontrando que las propiedades de las masas son similares entre variedades; por otro lado se encontró evidencia indirecta de que en cultivos débiles la fracción gliadina era quien debilitaba en mayor grado la red del gel de glutenina (Lee y Mulvaney, 2003). Por otro lado Edwards y col. (2001) por medio de un extensígrafo obtuvieron que los trigos suaves tienen mayor parte viscosa que los panaderos y que estos a su vez presentan mayor parte viscosa con respecto a los cristalinos, y

Tabla 6. Ejemplos de métodos empíricos utilizados para medir las propiedades reológicas de las masas de harina de trigo

Método	Propiedad reológica típica	Características
Consistómetro Bostwick	Consistencia	Parámetros útiles, pero no bien definidos Relativamente económicos
Viscosímetro Brookfield	Consistencia	Rápidos, resistentes
Extensígrafo	Resistencia, extensibilidad	
Farinógrafo	Tiempo de mezclado	Parámetros empíricos medidos bajo condiciones que simulan la aplicación
Alveógrafo	Resistencia, extensibilidad	Utilidad basada en la experiencia

Fuente: Menjívar, 1990

se puede deber a que la proteína de alto peso molecular influye en una alta extensibilidad. Al mismo tiempo, se han evaluado a los datos viscosimétricos de las masas en varias investigaciones (Janssen, 1992; Lindborg, 1995) y las referencias existentes al respecto son diversas.

Debido a la gran utilización de dichas técnicas se ha visto a lo largo del tiempo que tienen grandes desventajas (aunque en algunos casos son más recomendables por cuestión de practicidad y rapidez de resultados) y se pueden resumir en dos puntos: (1) Los resultados no se pueden describir en función de propiedades reológicas fundamentales y (2) Dichos datos sólo representan un punto en la gama de las numerosas propiedades reológicas importantes de las masas. Los problemas de interpretar los datos reológicos son aún mayores al tomar en cuenta la mecanización y la automatización de los procesos de panificación; además las relaciones estructura de las masas/propiedades reológicas y la relación reología de las masa/comportamiento durante el tratamiento mecánico y el horneado, no son suficientes en situaciones de capacidad y velocidad altas (Faubion y Hosenev, 1990). Es difícil hacer uso de los modelos teóricos ya que la masa presenta características conjugadas que en uno y otro modelo se oponen, además las constantes viscosas y elásticas son variables y dependen del porcentaje de agua (Muller, 1977).

Los métodos empíricos tienen la desventaja de que sus resultados dependen del equipo utilizado, no pueden ser expresados en unidades físicas fundamentales, la geometría de la muestra no es controlada ni predecible siendo difícil de analizar matemáticamente y a causa de la forma impredecible de su muestra las deformaciones aplicadas al material no son uniformes. Por las deficiencias expuestas se han desarrollado nuevos métodos que los sustituyan, surgiendo los métodos viscoelásticos fundamentales que tienen bases teóricas, son independientes del equipo, tamaño, cantidad y forma de la muestra la cual es fácil de analizar matemáticamente (Faubion y Hosenev, 1990).

Métodos fundamentales. En materiales con comportamiento no lineal como las masas de harina de trigo, se deben de utilizar formas de muestras y patrones de carga tales que las deformaciones sean constantes y homogéneas para cuantificar sus propiedades reológicas. Dichos patrones y formas deben ser transientes y dinámicas para relacionar el esfuerzo, deformación relativa y el tiempo (Faubion y Hosenev, 1990). Las pruebas más importantes incluyen a la relación de esfuerzo-deformación, deslizamiento, método dinámico y prueba de relajación del esfuerzo (Mohsenin, 1978).

Método dinámico. En el método dinámico se miden las propiedades viscoelásticas de las masas de harina de trigo suave. La prueba permite aplicar pequeñas deformaciones relativas y bajas velocidades relativas causando pequeños esfuerzos a las muestras y los valores obtenidos se emplean para los módulos dinámicos de almacenamiento y de pérdida, energía almacenada elásticamente y la disipada como calor durante cada ciclo de deformación, respectivamente. Para que los datos obtenidos de los cálculos sean verdaderos las muestras deben de tener un comportamiento lineal y para que esto suceda deben de caer en una región de comportamiento lineal (Faubion y Hosenev, 1990).

La Fig. 4 presenta la configuración geométrica para la prueba dinámica. Consiste en platos paralelos que se utilizan para pruebas dinámicas donde uno de los dos platos entre los que se alberga la muestra se hace ondear sinusoidalmente con frecuencia ω (rad/seg) y amplitud d (mm), permaneciendo fijo el otro plato. Sin que ninguno de los platos se deslice existe un gradiente de deformación a lo largo del espesor h de la muestra. Mediante consideraciones teóricas se demuestra que la deformación relativa al espesor de la muestra resulta de 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 cual es uniforme en todo el espesor de la muestra si ésta presenta comportamiento lineal. El plato estacionario se une a un transductor de fuerza que ejerce la muestra utilizado para medir la fuerza de respuesta f (N).

El esfuerzo (σ) se distribuye uniformemente sobre el área de la muestra ($l \times w$). El esfuerzo de respuesta tendrá una variación sinusoidal, si la muestra presenta comportamiento viscoelástico lineal, a la misma frecuencia que la deformación aplicada.

La Fig. 5 presenta la deformación oscilatoria y esfuerzo de respuesta en pruebas dinámicas; para el que puede presentarse un retardo, el ángulo de fase δ (rad).

El esfuerzo (σ) y la deformación relativa con variabilidad sinusoidal esta representado matemáticamente con las siguientes ecuaciones:

$$\sigma = f/lw \text{ sen } (\omega t - \delta) = \sigma_0 \text{ sen } (\omega t - \delta) \quad (1)$$

$$\gamma = d/h \text{ sen } (\omega t) = \gamma_0 \text{ sen } (\omega t) \quad (2)$$

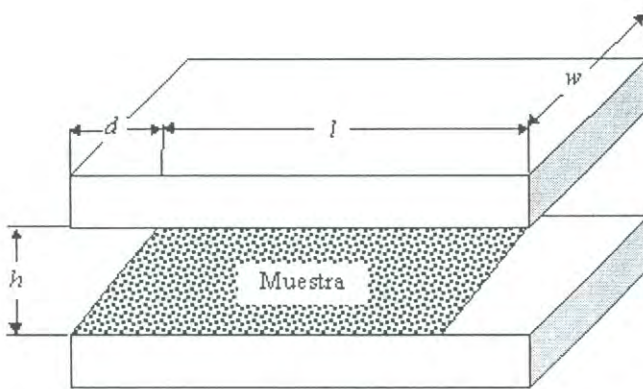


Fig. 4. Geometría de platos paralelos para pruebas dinámicas.
Fuente: Faubion y col., 1985

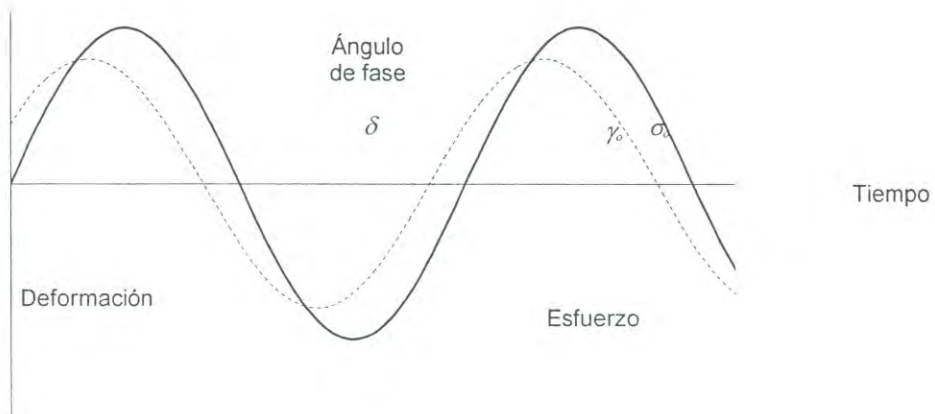


Fig. 5. Deformación oscilatoria y esfuerzo de respuesta en pruebas dinámicas.
Fuente: Goodwin y Hughes, 2000

Donde:

σ_0 : Amplitud del esfuerzo

γ_0 : Amplitud de la deformación relativa.

Por conveniencia el esfuerzo y la deformación relativa pueden expresarse en variación de variable compleja.

Módulo complejo G : relación entre el esfuerzo complejo y la deformación relativa compleja esta representado por la siguiente ecuación:

$$G^* = \sigma_0 / \gamma_0 (\cos \delta - i \operatorname{sen} \delta) \quad (3)$$

G' y G'' son los coeficientes de las componentes real e imaginaria del módulo complejo respectivamente, por lo tanto:

$$G' = \sigma_0 / \gamma_0 \cos \delta \quad (4)$$

$$G'' = \sigma_0 / \gamma_0 \operatorname{sen} \delta \quad (5)$$

Donde:

G' : Módulo de almacenamiento (Pa), y

G'' : Módulo de pérdida (Pa)

El valor absoluto del módulo complejo está dado por

$$|G^*| = \sqrt{[(G')^2 + (G'')^2]} \quad (6)$$

En la práctica pueden medirse f , d y δ a una gran variedad de frecuencias y deformaciones relativas. G' y G'' se reportan de ordinario como función de la frecuencia. Estos valores también pueden utilizarse para determinar otras propiedades viscoelásticas de materiales complejos, tales como las masas de harina de trigo. El ángulo de fase representa una medida simple de las naturalezas elástica y viscosa del material. Esta propiedad se expresa como la tangente de pérdida ($\operatorname{Tan} \delta$), es decir, la relación entre los módulos de pérdida y almacenamiento (G''/G'). Este resultado puede

obtenerse dividiendo la ecuación 5 por la ecuación 4. Puede observarse que mientras el ángulo de fase se aproxima a cero, el material se comporta más como un sólido elástico. Por el contrario, si δ se aproxima a 1.57 rad (90°), el material se comporta de manera similar a un líquido newtoniano (Faubion y col., 1985; Goodwin y Hughes, 2000).

El método dinámico da información de los cambios en las propiedades reológicas de las masas causados por factores como el contenido (Smith y col., 1970; Puppo y col., 2005) y superficie del gránulo de almidón (Larsson y Eliasson, 1997), contenido y tipo de proteína presente (Hibberd, 1970; Navickis y col., 1982; Mita y Matsumoto, 1984; Smith y col., 1970), porcentaje de humedad (Masi y col., 1998), aditivos (Berland y Launay, 1994), relación almidón-gluten obteniendo menor parte viscosa en variedades panaderas que variedades suaves (Miller y Hosenev, 1999), contenido de arabinoxilanos (Santos y col., 2004), contenido de lípidos nativos (Georgopoulos y col., 2006), dependencia de la frecuencia (Hibberd y Wallace, 1996) y efecto de la sal y lípidos en las propiedades reológicas y calidad de productos de panificación (Chiotelli y col., 2004). Sin embargo se ha visto en investigaciones anteriores (Magaña, 2005) que no se tiene una clara caracterización y diferenciación entre variedades de trigos suaves mexicanos y condiciones ambientales de crecimiento, lo que concuerda con Unbehend y col. (2004) que encontraron que en variedades croatas y alemanas se presentaron propiedades de las masas similares, aún cuando provenían de diferentes condiciones ambientales.

Safari-Ardi y Phan-Thien (1998) encontraron que si se opera en la región viscoelástica lineal y modo oscilatorio no se obtienen diferencias entre la mayoría de las masas (método dinámico) por presentar valores similares de elasticidad y viscosidad bajo estas condiciones. Recientemente Magaña (2005) evaluó las propiedades viscoelásticas de masas de trigos suaves mexicanos utilizando un reómetro y el método dinámico que consiste en aplicar pequeñas deformaciones (<1%). Se obtuvieron el módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') de las masas y tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$, G''/G'), pero los resultados no fueron satisfactorios pues el comportamiento de las masas entre variedades y condiciones ambientales de crecimiento fueron similares (no lográndose diferenciar claramente a las masas utilizadas) y mostrando en general la mayoría de sus muestras (81.82%) presentaron mayor parte viscosa que elástica al observar en valor de $\tan \delta$ ligeramente superior a 0.5 e influenciado por el número de caída; esto se pudo deber a que las deformaciones aplicadas fueron

pequeñas, por lo que recomendó ahondar más en la investigación reológica de los trigos suaves pues se carece de información al respecto. Por lo anterior explicado se sugiere la utilización de la prueba de relajación del esfuerzo.

Prueba de relajación del esfuerzo. La muestra se deforma rápidamente hasta en nivel predeterminado de alta deformación relativa manteniéndola constante y el esfuerzo resultante es medido en función del tiempo. Este método puede ser aplicado en masas pues son materiales viscoelásticos y esta representado por el modelo generalizado de Maxwell, el parámetro principal que se obtiene es el tiempo de relajación (Faubion y Hosney, 1990; Mohsenin, 1978; Steffe y col., 1996; Rao, 1999).

Esta prueba se ha utilizado por diversos investigadores (Lee y Mulvaney, 2003; Uthayakumaran y col., 2002; Rao y col., 2000; Yadav y col., 2005; Wikström y Eliasson, 1998). Safari-Ardi y col. (1997) y Safari-Ardi y Phan-Thien (1998) obtuvieron que a altas deformaciones (1-15% de deformación en 3×10^3 seg) y esfuerzos pueden distinguirse algunos tipos de harinas y encontrar diferencias intrínsecas entre las masas pues los datos de relajación del esfuerzo obtenidos a altas amplitudes son muy precisos siendo un método consistente y puede aplicarse en masas siendo capaz de caracterizarlas y distinguirlas; asimismo, si se opera en la región viscoelástica lineal y modo oscilatorio no se obtienen diferencias entre la mayoría de las masas (método dinámico) por presentar valores similares de elasticidad bajo estas condiciones. Lee y Mulvaney (2003) sugieren el considerar el tiempo de relajación para caracterizar la viscosidad lineal de proteínas de cereales y se ha obtenido de diversas investigaciones que la distribución, la cantidad de proteína (glutenina de alto peso molecular) y sus pesos moleculares están relacionados con el tiempo de relajación (Uthayakumaran y col., 2002; Rao y col., 2000); además se ha visto que el contenido de humedad y la deformación afectan las características no lineales de relajación en las masas (Yadav y col., 2005); así mismo, Smith y col. (1970) observaron que el tiempo de relajación incrementa con el mezclado y Rao y col. (2000) obtuvieron que el tiempo de relajación es menor para masas fuertes que las moderadamente fuertes. Por otra parte, se ha observado que el tiempo de relajación se relaciona con los valores de tiempo de mezclado del mixógrafo, extensiógrafo, alveógrafo, energía de mezclado y tiempo de mezclado obtenido por largos y cortos procesos de fabricación de pan y se obtuvo además que dentro de las masas extra-fuertes, que presentan tiempo de relajación cortos, el espectro de la distribución de los tiempos de relajación fue bimodal entre los diversos cultivos con diferencias en fuerza y las

moderadamente fuertes (suaves) solo presenta un pico y sus tiempos de relajación son más largos (Rao y col., 2000). Debido a lo anterior, se evaluaron las propiedades viscoelásticas de trigos suaves mexicanos mediante ésta técnica y a continuación se presenta una explicación más detallada de la misma.

Prueba de Relajación del Esfuerzo

Se ha visto que la caracterización de materiales viscoelásticos como las masas de harinas de trigos es importante para dirigir su mejor utilización, mejorar formulaciones, procesos y las características del producto final. Una manera conveniente de estudiar la viscoelasticidad es por la prueba de relajación del esfuerzo, donde el tiempo es dependiente del esfuerzo de deformación que es estudiado por etapas de incremento de deformación (Rao, 1999). Safari-Ardi y Phan-Thien (1998) observaron que la prueba de relajación del esfuerzo en harinas es segura, consistente, y colabora en la distinción y diferenciación de las propiedades intrínsecas entre las masas.

La prueba de relajación del esfuerzo se efectúa aplicando altas deformaciones (>1% hasta 60%) repentinas a una muestra y el esfuerzo resultante es medido en función del tiempo. En materiales como las masas la relajación del esfuerzo es gradual y dependerá de la estructura molecular del material por lo que su esfuerzo puede decaer hasta llegar al equilibrio ($\sigma_e > 0$). Los resultados se expresan comúnmente en términos de módulos de relajación como son los módulos de tensión o compresión dependiente del tiempo $E(t)$, corte o compresión $G(t)$ y $K(t)$, respectivamente). Uno de los principales parámetros obtenidos mediante esta prueba es el tiempo de relajación (Mohsenin, 1978; Steffe y col., 1996; Rao, 1999).

Tiempo de relajación

El tiempo de relajación (TREL) se puede visualizar en la Fig. 6 y es el tiempo requerido por el esfuerzo para caer en $1/e$ veces o a 36.8% de su valor original. En otras palabras a deformación constante un elemento de Maxwell se relaja o disipa su esfuerzo exponencialmente a una velocidad determinada por el TREL (Ramírez-Wong, 2005). Este tiempo es medido en el rango en el cual el material disipa el esfuerzo después de haber recibido repentinamente una fuerza (Mohsenin, 1978).

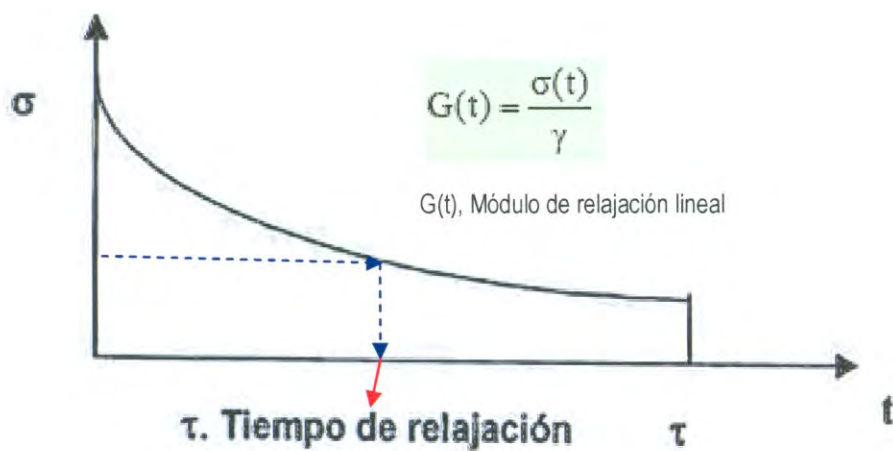


Fig. 6. Curva de esfuerzo vs tiempo de un cuerpo viscoelástico

Fuente: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/castroe09/

La ecuación que lo representa es la siguiente:

$$TREL = \eta/E \quad (7)$$

Donde

TREL: tiempo de relajación,

η : coeficiente de viscosidad del líquido en el hidráulico, viscosidad de corte, y

E: modulo del resorte representando un cuerpo elástico ideal

Cuando el valor de TREL es bajo indica que el cuerpo que esta siendo sometido a esfuerzo tiene mayor parte elástica que parte viscosa. Por ejemplo, dentro de las masas panaderas se observan tiempos de relajación más cortos en comparación con las suaves (Lee y Mulvaney, 2003) correspondiendo menor parte elástica a éstas ultimas (Edwards y col., 2001; Miller y Hosoney, 1999). El modelo reológico que representa la prueba de relajación del esfuerzo en alimentos viscoelásticos es el modelo de Maxwell ya que en la viscoelasticidad lineal, las condiciones son tales que la contribución de la viscosidad, elasticidad y elementos de inercia son aditivos (Rao, 1999).

Modelo de Maxwell

Como la masa es un material viscoelástico el modelo que comúnmente se utiliza para representarlo es el modelo de Maxwell, ya que consta de un elemento elástico (resorte) y un elemento viscoso unidos en serie y representa el comportamiento viscoelástico ideal donde a la menor fuerza aplicada el cuerpo fluirá (Fig.7). Este modelo ayuda a entender los datos que se obtienen de la relajación del esfuerzo. La deformación total del sistema, para un tiempo t es la suma de las deformaciones de los dos elementos, $\gamma(t) = \gamma_{\text{elástico}} + \gamma_{\text{viscoso}}$ y la tensión o fatiga es la suma de las tensiones del elemento elástico y viscoso $\sigma = \sigma_{\text{elástico}} + \sigma_{\text{viscoso}}$ (Steffe y col., 1996; Mohsenin, 1978). Las ecuaciones que representan la relajación del esfuerzo utilizando el modelo de Maxwell son las siguientes:

Cuando la deformación es constante, el rango de esfuerzo es igual a cero

$$\sigma + TREL (d\sigma/dt) = 0 \quad (8)$$

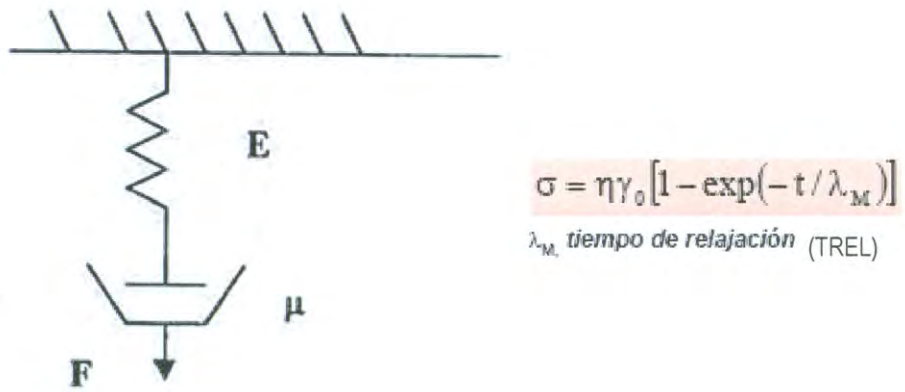


Fig. 7. Modelo de Maxwell

Fuente: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/castroe09/06.html.

La ecuación anterior puede ser integrada usando la condición inicial de $\sigma = \sigma_0$

$$\int d\sigma/\sigma = \int dt/TREL \quad (9)$$

De la integración resulta

$$\sigma = f(t) = \sigma_0 e^{(-t/TREL)} \quad (10)$$

La ecuación 10 describe la relajación del esfuerzo gradual de σ_0 a cero después de aplicada la deformación, de ésta también se puede calcular el TREL.

Datos experimentales muestran que el modelo de Maxwell no es adecuado para diversos materiales viscoelásticos porque no incluye el esfuerzo de equilibrio (Steffe y col., 1996). Por lo anterior y para obtener una descripción más general de los materiales viscoelásticos lineales se usa un número infinito de modelos paralelos de Maxwell resultando el llamado modelo generalizado de Maxwell (Mohsenin, 1978). Debido a este modelo la prueba de relajación del esfuerzo puede utilizarse para caracterizar alimentos sólidos tomando precauciones para minimizar las fricciones en la interfase del equipo y el alimento. Es utilizado para representar el esfuerzo de relajación de masas de trigo (Rao y col., 1999).

En el modelo generalizado de Maxwell el sistema esta sujeto, de igual manera que en el anterior, a deformación constante por lo que el esfuerzo resultante es la suma de los esfuerzos individuales de cada elemento:

$$\sigma_t = \sigma_1 + \sigma_2 + \dots + \sigma_n \quad (11)$$

Y el decaimiento del esfuerzo esta dado por la ecuación:

$$\Sigma (t)_t = \gamma_0 (E_{d1}e^{-t/TREL1} + E_{d2}e^{-t/TREL2} + \dots + E_{d2n}e^{-t/TRELn} + E_e) \quad (12)$$

Por lo que la ecuación del modelo generalizado de Maxwell es:

$$E_c = \sigma_d e^{-t/TREL1} + \sigma_e \quad (13)$$

Cada elemento de Maxwell tiene diferente tiempo de relajación. Este concepto puede ser generalizado para determinar el espectro de relajación de los materiales viscoelásticos (Mohsenin,

1978; Steffer y col., 1996). Una vez que las muestras se someten a la prueba de relajación del esfuerzo y se obtienen los tiempos correspondientes, el paso siguiente es su evaluación e interpretación para lo cual se encuentra una secuencia de pasos establecidos.

Análisis de datos de relajación del esfuerzo

El primer paso para analizar los datos es mediante la graficación logarítmica de esfuerzo contra deformación. Si es lineal, el material es Maxwelliano y el TREL se determina por la curva de la línea recta. Cuando la curva de Log esfuerzo vs tiempo no es lineal, el material no puede ser representado por el modelo simple de Maxwell (caso de las masas de trigo), requiriendo del generalizado. Para tal caso, se tiene que existe un espectro de tiempos de relajación, del cual se seleccionará la media de tiempo de relajación. Esto puede mostrarse cuando el espectro de los tiempos de relajación exhibe una curva de distribución normal o Gaussiana con el tiempo en base logarítmica.

Por lo anterior el análisis de los datos obtenidos de las masas de trigo se realiza de la siguiente manera: Primeramente se realiza una gráfica logarítmica de esfuerzo contra tiempo, determinando así una distribución cerrada del TREL de una distribución normal. Si el Maxwelliano existe, resulta una curva usualmente aproximada a la normal al graficar de nuevo las curvas negativas instantáneas de la gráfica con tiempo logarítmico. En éste caso solo la ordenada de la función de distribución es considerada en determinar el efecto de tales factores como el cambio en el contenido de agua. Lo que aproximadamente indica la contribución para la masa de los módulos dados por los mecanismos de Maxwell en el material dado por el tiempo de relajación es la ordenada de la curva normal (Mohsenin, 1978). Posteriormente se hace uso del teorema central del límite, pero en éste caso no es necesario llegar a tales explicaciones pues el equipo a utilizar (reómetro) cuenta con un programa computacional que realiza todas las operaciones arrojando los resultados de TREL y esfuerzos registrados en cada unidad de tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Prima

Se utilizaron 14 muestras de trigo suave de 4 variedades diferentes: Barcenas, Cortazar, Salamanca y Saturno procedentes de los estados de Guanajuato y Michoacán de la República Mexicana (Tabla 7).

Obtención de las Harinas

Limpieza

Las muestras de trigo se limpiaron con un equipo comercial (marca Blount/ferrell-ross, modelo M2BC) eliminando materia extraña como: trozos de madera, insectos, ramas, polvo y material extraño y posteriormente de manera manual. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico hasta su uso.

Acondicionamiento del trigo

Las 14 muestras de trigo fueron acondicionadas de acuerdo al método 26-95 de la A.A.C.C. (2000), a una humedad de 14% utilizando un acondicionador (marca Chopin). Las muestras se dejaron reposar por un período de 24 horas antes de elaborar las harinas.

Molienda

Esta se realizó empleando un molino experimental (marca Brabender, modelo Quadrumat Senior) y de acuerdo al 26-10 de la A.A.C.C. (2000). Para homogenizar, las harinas se mezclaron por 10 min en una mezcladora con capacidad de 20 L (marca Hobart) y se pesaron sus diferentes fracciones obtenidas. Antes de realizar alguna prueba sobre la harina, ésta se dejó reposar un período de 15 días con el objeto de que maduraran.

Evaluación de las Harinas

Análisis químico proximal

A todas las muestras de harina se les realizó un análisis químico proximal de acuerdo a las técnicas de la A.A.C.C (2000). Los análisis que se llevaron a cabo fueron: contenido de proteínas (método 46-13) por medio del determinador de nitrógeno (marca LECO, modelo FP-528) y utilizando el el factor de N x 5.7; contenido de cenizas (método 08-03) y contenido de humedad (método 44-40).

Tabla 7. Número de muestras de trigo suave utilizadas en la investigación por variedad y por estado de procedencia

Variedad	Estado	NM¹
Barcenas	Guanajuato	2
Barcenas	Michoacán	2
Cortazar	Guanajuato	1
Cortazar	Michoacán	2
Salamanca	Guanajuato	2
Salamanca	Michoacán	1
Saturno	Guanajuato	2
Saturno	Michoacán	2

¹NM: número de muestras

Contenido de gluten

La cantidad de gluten se determinó por medio del equipo denominado Glutomatic (marca Falling Number, modelo 2100), y el método 38-11 de la A.A.C.C. (2000).

Volumen de sedimentación

El valor de sedimentación indica la capacidad de hinchamiento de las proteínas del gluten presentes en la harina. Se utilizó el método 56-61A de la A.A.C.C. (2000). Esta prueba da una idea de la calidad de la proteína de cada muestra de trigo.

Número de caída

El valor del número de caída indica la viscosidad que se da por la actividad enzimática (α -amilasa) en los enlaces de almidón en las harinas. Se utilizó un aparato (marca Falling Number, modelo 1400), y el método 56-81b de la A.A.C.C. (2000).

Pruebas Reológicas

Farinogramas

El farinógrafo mide y registra la resistencia de la masa al mezclado (A.A.C.C. 2000). Los parámetros farinográficos se obtuvieron utilizando un farinógrafo (marca Brabender tipo 810143) de acuerdo al método farinográfico 54-21 de la A.A.C.C. 2000 y los parámetros que se evaluaron de los farinogramas fueron: absorción de agua, definida como la cantidad de agua requerida para centrar la curva del farinograma en la línea de las 500 unidades Brabender (UB), normalmente se denota como porcentaje en relación de la harina utilizada e indica la cantidad de agua para que la masa tenga la consistencia adecuada; estabilidad, está definida como la diferencia entre el tiempo de llegada y tiempo de salida que indica la resistencia de la masa; y el tiempo de desarrollo, que se relaciona con el tiempo de mezclado.

Alveogramas

Los alveogramas se realizaron con el alveógrafo (marca Chopin) de acuerdo al método 54-30 A.A.C.C. 2000. El alveógrafo registra la fuerza general (W) y las relaciones de la elasticidad (P/L y P/G) de las harinas de trigo.

Características Viscoelásticas de las Masas

Preparación de las muestras

Se preparó una muestra de masa con 100 g de harina de cada una de las 14 muestras y el agua destilada correspondiente al valor de la absorción que se obtuvo del farinograma. La harina y el agua destilada se mezclaron en una mezcladora de capacidad de 300 g (marca National MFG, Lincoln, Nebraska) por un periodo de tiempo de aproximadamente 30 seg en seco y 1 min al agregar el agua destilada. Después la masa se dejó reposar durante 30 minutos en una cámara de fermentación (marca National MFG) con ambiente controlado (30°C, 95% de humedad relativa). Posteriormente se pesaron dos muestras de alrededor de 2.6-2.7 g de masa para usarse en el reómetro. Una muestra de masa, se introdujo en una bolsa de plástico cerrada herméticamente y se dejó a temperatura ambiente (23-25° C), esto con el propósito de evitar pérdidas de humedad.

Método dinámico

La metodología que se utilizó para esta prueba fue la siguiente: Una vez encendido y calibrado el reómetro, primeramente se colocó la muestra de masa hasta llegar a una separación entre platos de 2 mm en el reómetro (marca Rheometrics Scientific, modelo RSF III, Piscataway, NJ) el cual estuvo equipado para esta prueba con una geometría de platos paralelos de 25 mm de diámetro y control de temperatura (peltier); posteriormente se cortaron los sobrantes de la masa por medio de un instrumento plástico, seguido a esto se aplicó vaselina (crema de petrolato) por medio de una jeringa plástica en los confines de la muestra expuesta al ambiente para evitar que pierda humedad y se reseque. Una vez colocada la muestra, se dejó reposar de 10 a 15 minutos, dependiendo del comportamiento de cada muestra, con el fin de que se relaje. Después del periodo de relajación se llevaron a cabo las determinaciones. Las pruebas de barrido de frecuencia se manejaron mediante el software de control (RSI Orchestrator, Rheometrics Scientific), para realizarse a una amplitud de deformación que se encuentre dentro del intervalo de comportamiento lineal, de acuerdo con los resultados de las pruebas preliminares, y a una temperatura controlada de 25° C. El barrido de frecuencia se realizó desde 0.1 hasta 100 rad/seg. Los resultados se obtuvieron de manera gráfica y en tablas de datos numéricos donde aparecieron los siguientes parámetros reológicos: módulo de almacenamiento (G' , Pa), módulo de pérdida (G'' , Pa) y tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$), todos en función de la frecuencia.

Prueba de relajación del esfuerzo

Primeramente se calibró el reómetro (marca Rheometrics Scientific, modelo RSF III, Piscataway, NJ), el cual operó en modo de corte y se colocó la muestra de masa hasta llegar a una separación de 2 mm entre platos; después se cortaron los sobrantes de la masa con un instrumento plástico, seguido a esto se aplicó vaselina a las orillas de los platos por medio de una jeringa plástica. Una vez colocada la muestra, se dejó reposar un período de 20 min antes de la prueba. De acuerdo a pruebas preliminares y a la bibliografía, la relajación del esfuerzo fue medida en intervalos de 0.1 seg aplicando un 15% de deformación por un lapso de tiempo de 30 min a una temperatura controlada de 25°C. Se obtuvieron curvas de $G(t)$ (Pa) y esfuerzo (Pa) vs tiempo (seg), donde $G(t)$ es el módulo de relajación (esfuerzo/deformación) a cualquier tiempo. De dichas curvas se obtuvieron los parámetros de esfuerzo máximo a 15% de deformación (G_0) y tiempo de relajación (TREL) (Li y col., 2003; Rao y col., 2000; Safari-Ardi y Phan-Thien, 1998).

Diseño de Experimentos y Análisis Estadístico

Se utilizó un diseño de dos factores: Variedad (Barcenas, Cortazar, Salamanca y Saturno) y estado de procedencia ó condiciones ambientales (Guanajuato y Michoacán). Con el fin de determinar el efecto los diferentes factores sobre las diferentes determinaciones, se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con un grado de confiabilidad del 95%. Para ver la diferencia entre tratamientos específicos se utilizó la prueba de Tukey. Además, se llevaron a cabo correlaciones simples (r) entre las distintas determinaciones. El ANDEVA se realizó en el programa Statistical Analytical System Software (SAS Institute, Inc. Cary, NC, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Evaluación de las Harinas

Análisis químico

En la Tabla 8 se muestra el análisis de varianza (ANDEVA) del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre la composición proximal de las harinas de trigos suaves. Se observa que la variedad tuvo un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en el contenido de proteína y ceniza de las harinas, mientras que el estado presentó un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en el contenido de proteína y un efecto significativo ($p < 0.05$) en cenizas.

El contenido promedio de humedad, proteína y ceniza de los trigos suaves de las variedades Barcenas, Cortazar, Salamanca y Saturno de los estados de Guanajuato y Michoacán se presentan en la Tabla 9. Se observa que la variedad Barcenas presentó los valores más altos de proteína y ceniza (11.81% y 0.84%, respectivamente), mientras que los valores más bajos los obtuvo la variedad Saturno (10.32% y 0.55%, respectivamente). El contenido de humedad fue similar para todas las variedades representado por un 14.07%. Con respecto a las condiciones ambientales (estado) se observa que las harinas del estado de Guanajuato obtuvieron los valores más altos de proteína (11.44%), ceniza (0.80%) y humedad (14.15%); por lo que las harinas del estado de Michoacán presentaron la menor cantidad de proteína (10.70%), ceniza (0.80%) y humedad (14.00%).

Para comparar la composición proximal de las variedades de trigos suaves sembradas en el Bajío en el ciclo agrícola 2003-2004 (Magaña, 2005) pueden ser comparadas con las variedades sembradas ahí mismo en el ciclo agrícola 2004-2005, y con las variedades de trigos suaves sembradas en los E.U.A. El contenido de humedad promedio (14.07%) en la harina fue mayor en un 3.48% al de la harina de trigo suave reportado por Magaña (2005). El contenido de proteína promedio (10.72%) fue más alto en 1.80% con respecto a los observados por Magaña (2005) y fue mayor en 8.28% en relación a los valores promedio del periodo de años del 2002-06 para trigos suaves blancos y rojos de invierno reportados por U.S. Wheat associates (2006). Finalmente el contenido de ceniza (0.66%) fue mayor en

Tabla 8. Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre la composición proximal, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor de F		
		HUM ⁴	PRO ⁵	CEN ⁶
Variedad (V)	3	0.03 NS ¹	81.28 ^{3**}	6.07 ^{3**}
Estado (E)	1	1.41 NS	93.78 ^{3**}	7.26 ^{2*}
Error	37			
Total	41			

¹ NS = No significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p>0.05$)

^{2*} = Significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p<0.05$)

^{3**} = Significativo a un nivel de $p=0.01$ ($p<0.01$)

⁴HUM= Humedad

⁵PRO= Proteína

⁶CEN= Cenizas

Tabla 9. Valores promedio de la composición proximal por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	HUM³ (%)	PRO^{1,4} (%)	CEN^{1,5} (%)
Variedad			
Barcenas	14.08 ± 0.33 ²	11.81 ± 0.50	0.84 ± 0.18
Cortazar	14.06 ± 0.23	10.58 ± 0.31	0.69 ± 0.21
Salamanca	14.10 ± 0.45	11.27 ± 0.49	0.76 ± 0.18
Saturno	14.05 ± 0.61	10.32 ± 0.41	0.55 ± 0.04
Estado			
Guanajuato	14.15 ± 0.44	11.44 ± 0.63	0.80 ± 0.20
Michoacán	14.00 ± 0.37	10.70 ± 0.63	0.65 ± 0.16

¹ Base seca

² Desviación estándar

³ HUM= Humedad

⁴ PRO= Proteína, factor de conversión: N x 5.7

⁵ CEN= Cenizas

33.33%, 32.57% y 22.72% que los obtenidos por Magaña (2005) y promedio del período de años del 2002-2006 para trigos suaves blancos y rojos de invierno reportados por U. S. Wheat associates (2006), correspondientemente. Por lo anterior, se puede concluir que la composición proximal de las harinas de trigos suaves del ciclo agrícola 2004-2005 fue más alta que la reportada en la literatura.

En general, el contenido de proteína y ceniza fue más alto a los reportados para trigo suave. Con respecto a la investigación anterior realizada (Magaña, 2005) se observó todas las variedades tuvieron un contenido de ceniza más alto. En relación proteína la variedad Cortazar tuvo menor contenido en aproximadamente un 3.90%; mientras que la variedad Salamanca y Saturno observaron valores más altos en un 8.15% y 1.37%, respectivamente.

Investigaciones realizadas muestran que el uso final del trigo se ve altamente influenciado por el contenido y tipo de proteína presente (Carrillo y col., 1990), en este caso el principal factor que lo afectó fue las condiciones ambientales (estado de procedencia) y en segundo término la variedad. Lo anterior coincide con los resultados obtenidos por Huebner y col. (1999), quienes encontraron que las diferencias en concentración de proteína en trigos suaves son función de la variedad y ambiente e influyen en las propiedades y uso final de los trigos. Además, se ha observado que el contenido de cenizas y proteína en variedades de trigo suave varía con las condiciones agronómicas de cultivo afectando a las propiedades reológicas de las masas (Haglund y col., 1998; Keehan y col., 2004).

En conclusión, la composición proximal fue influenciada en primer orden por las condiciones ambientales (estado de procedencia) y en segundo orden por la variedad y, se ha visto que éstos causan cambios impredecibles en la calidad del trigo (Carcea y col., 2006; Gaines, 1991). Por otro lado, a los factores evaluados en la presente investigación se les pudo haber conjugado el factor de condiciones agronómicas en las que se desarrolló el cultivo. Cabe mencionar que con las comparaciones realizadas se corroboró que el año de cosecha y condiciones ambientales (probablemente también las condiciones de cultivo) son factores que pueden y afectan las características de calidad del trigo suaves, afectando la conveniencia para diferentes usos finales (Gaines, 1991; Hou y col., 1996; Yakamamoto y col., 1996; Huebner y col., 1999; Carcea y col., 1999).

Análisis Físico

El ANDEVA del efecto de la variedad y las condiciones ambientales sobre la composición de gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída de las harinas de trigo suave se muestra en la Tabla 10. La variedad tuvo un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en todas las determinaciones mostradas: gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída de las harinas de trigo suave. El estado o condiciones ambientales presentó un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en gluten húmedo y volumen de sedimentación.

Primeramente, el valor de volumen de sedimentación da una idea de la cantidad y calidad del gluten (enlaces disulfuro) prediciendo la fuerza o funcionalidad de la harina para panificación y teóricamente resulta del hinchamiento de la red de glutenina (Eckert y col., 1993). El rango de valores que se obtuvieron del volumen de sedimentación va de 20 mL a 70 mL, donde los valores altos indican una mayor cantidad y calidad de proteína y por lo tanto mayor fuerza para panificación (Normas A.A.C.C. 2000; Pomeranz, 1988). Por otro lado, el número de caída indica la actividad amilolítica (fuerza de la α -amilasa para licuar el gel de almidón) del grano que es importante en la producción de gas para la fermentación. Si el valor de número de caída es alto (> 400 seg), muestra que la actividad es baja y por lo tanto estuvo expuesto a bajas precipitaciones pluviales siendo granos sanos (no pre-germinados) (Normas A.A.C.C. 2000; Pomeranz, 1988; Carcea y col., 2006).

El contenido promedio de gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída de los trigos suaves por variedad y por estado de procedencia se presentan en la Tabla 11. Se observa que la variedad Barcenas presentó los valores más grandes en todas las determinaciones de gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída (34.87%, 32.03 mL y 476.60 seg; respectivamente), mientras que los valores más bajos de volumen de sedimentación (22.04 mL) lo observó la variedad Cortazar y finalmente la variedad Saturno obtuvo el menor contenido de gluten húmedo y número de caída (30.86% y 409.98 seg, respectivamente). Siendo la variedad Barcenas la que obtuvo los valores más altos de gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída.

Tabla 10. Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre la composición de gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída; de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor de F		
		GH ³	SED ⁴	NC ⁵
Variedad (V)	3	6.35 ^{2**}	10.57 ^{2**}	15.81 ^{2**}
Estado (E)	1	35.73 ^{2**}	12.32 ^{2**}	0.17 NS ¹
Error	37			
Total	41			

¹ NS = No significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p>0.05$)

^{2**} = Significativo a un nivel de $p=0.01$ ($p<0.01$)

³GH= Gluten húmedo

⁴SED= Volumen de sedimentación

⁵NC= Número de caída

Tabla 11. Valores promedio del gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída; por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	GH ^{1,3} (%)	SED ^{1,4} (mL)	NC ⁵ (seg)
Variedad			
Barcenas	34.87 ± 4.82 ²	32.03 ± 1.62	476.60 ± 31.73
Cortazar	31.77 ± 2.47	22.04 ± 1.18	422.51 ± 9.51
Salamanca	33.00 ± 1.02	28.92 ± 8.66	449.67 ± 27.54
Saturno	30.86 ± 2.46	25.46 ± 1.94	409.98 ± 13.85
Estado			
Guanajuato	34.90 ± 3.39	29.60 ± 6.5	442.46 ± 31.32
Michoacán	30.73 ± 1.55	25.59 ± 4.78	443.62 ± 38.54

¹ Base seca

² Desviación estándar

³GH= Gluten húmedo

⁴SED= Volumen de sedimentación

⁵NC= Número de caída

Con respecto a las condiciones ambientales (estado) se observa que las harinas del estado de Guanajuato obtuvieron los valores más altos en todas las determinaciones de gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída (34.90%, 29.60 mL y 442.46 seg; respectivamente); por lo que las harinas del estado de Michoacán presentaron los valores menores (34.73%, 25.59 mL y 443.62.46 seg; en el orden mencionado).

De igual manera, para comparar el contenido promedio de gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída de las variedades de trigos suaves sembradas en el Bajío en el ciclo agrícola 2003-2004 (Magaña, 2005) pueden ser comparadas con las variedades sembradas ahí mismo en el ciclo agrícola 2004-2005, y con las variedades de trigos suaves sembradas en los E.U.A. El valor de gluten húmedo (32.81%) observado en ésta investigación fue más alto en 56.98% y 47.79% a los valores promedio del período de años del 2002-2006 para trigos suaves blancos y rojos de invierno reportados por U. S. Wheat associates (2006).

Para este caso el valor promedio de volumen de sedimentación (25.47 mL) fue más bajo en 4.60% a los obtenidos por Magaña (2005). Observando los valores de volumen de sedimentación se puede ver que las variedades Barcenas y Salamanca obtuvieron valores altos de éstos y se encuentran dentro de los valores bajos del rango reportado por Apodaca (2005) para trigos panaderos (26.90-42.07 mL), lo que nos puede indicar que a pesar de sus características pueden aproximarse a las harinas utilizadas para panificación.

Finalmente, el número de caída (427.37 seg) fue mayor en 26.51% a los reportados por Magaña (2005), y fue mayor en 22.80% respecto al promedio del período de años del 2002-2006 para trigos suaves blancos y suaves rojos de invierno reportados por U. S. Wheat associates (2006). Como el valor de número de caída para cada variedad supera a los 400 seg se puede asegurar que los granos no pre-germinaron, quizá por no exponerse a altas lluvias, lo que puede mostrar que el daño en el almidón es menor (Dengate, 1984) y de acuerdo a lo encontrado por Yakamamoto (1996) con este tipo de harinas se puede obtener mejor calidad en galletas. Por otro lado, una baja actividad amilolítica se relaciona con un alto valor de volumen de sedimentación, ya que la proteína no se daña por la enzima (Pomeranz, 1988). En general el contenido de gluten húmedo y número de caída fueron más altos y, el volumen de sedimentación menores, con relación a los reportados en la literatura para trigo suave.

Los investigadores han observado diferencias fisicoquímicas marcadas en variedades de trigos suaves y que el número de caída influye en las propiedades reológicas de las masas; interviniendo en el destino final (Yakamamoto y col., 1996; Carrillo y col., 1990; Chiotelli y col., 2004). Las condiciones ambientales predominaron como el principal factor que afectó las propiedades físicas de las harinas de trigos suaves y en segundo término la variedad. Lo anterior coincide con resultados de otros trabajos donde se observó que el ambiente (estado de procedencia) es el principal factor que afecta la calidad del trigo y que este influye en el valor de volumen de sedimentación en combinación con la variedad (Huebner y col., 1999; Carter y col., 1999). Las condiciones agronómicas pudieran ser otro factor que afecte a la calidad de la proteína presente (volumen de sedimentación) (Haglund y col., 1998; Keehan y col., 2004; García y col., 2007).

Las propiedades físicas del trigo suave se vieron influenciadas en primer lugar por las condiciones ambientales (estado de procedencia) y en segundo lugar por la variedad y, se ha visto que éstos causan cambios impredecibles en la calidad del trigo (Carcea y col., 2006; Gaines, 1991). Al comparar los resultados obtenidos de las evaluaciones físicas de esta investigación con los resultados observados por Magaña (2005) se mostró que el año de cosecha y las condiciones ambientales afectan a las características de calidad de los trigos suaves, y éstos influyen en el destino final de sus harinas (Gaines, 1991; Hou y col., 1996; Yakamamoto y col., 1996; Huebner y col., 1999; Carcea y col., 1999).

Pruebas Reológicas

Farinogramas

El ANDEVA del efecto de la variedad y las condiciones ambientales sobre las propiedades reológicas con el farinograma en las masas de trigo suave se muestra en la Tabla 12. La variedad tuvo un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en el porcentaje de absorción de agua y el tiempo de desarrollo y, un efecto significativo ($p < 0.05$) en la estabilidad. El estado o condiciones ambientales presentó un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en absorción de agua.

El valor de los parámetros reológicos de absorción de agua (ABS), estabilidad (EST) y tiempo de desarrollo (TD) de las masas de trigos suaves obtenidos del farinograma por variedad y por estado de procedencia se presentan en la Tabla 13. En general se considera una harina de calidad óptima y de

Tabla 12. Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre las propiedades reológicas con el farinograma, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor de F		
		ABS ³	EST ⁴	TD ⁵
Variedad (V)	3	11.83 ^{3**}	3.58 ^{2*}	5.94 ^{3**}
Estado (E)	1	75.06 ^{3**}	0.37 NS ¹	21.53 ^{3**}
Error	37			
Total	41			

¹ NS = No significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p>0.05$)

^{2*} = Significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p<0.05$)

^{3**} = Significativo a un nivel de $p=0.01$ ($p<0.01$)

³ABS= Absorción de agua

⁴EST= Estabilidad

⁵TD= Tiempo de desarrollo

Tabla 13. Valores promedio de las propiedades reológicas con el farinograma por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	ABS² (%)	EST³ (min)	TD⁴ (min)
Variedad			
Barcenas	54.04 ± 3.84 ¹	4.28 ± 2.01	3.70 ± 0.66
Cortazar	56.16 ± 1.48	1.96 ± 0.59	3.39 ± 0.39
Salamanca	56.39 ± 1.70	3.75 ± 2.14	4.54 ± 1.67
Saturno	53.28 ± 1.51	3.51 ± 0.68	3.14 ± 0.54
Estado			
Guanajuato	57.07 ± 1.30	3.21 ± 1.74	4.35 ± 1.24
Michoacán	52.93 ± 2.09	3.73 ± 1.83	3.16 ± 0.54

¹ Desviación estándar

²ABS= Absorción de agua

³EST= Estabilidad

⁴TD= Tiempo de desarrollo

calidad baja aquellas con estabilidad superior a 10 min y menor a 2 min, respectivamente. Se observa que la variedad Salamanca presenta el ABS y TD mayor (56.39% y 4.54 min, correspondientemente) y la variedad Saturno los menores (53.28% y 3.14 min, en ése orden). La variedad Barcenás obtuvo el valor más alto de EST (4.28 min) y el menor la presentó la variedad Saturno (1.96 min). Siendo así la variedad Salamanca la que presentó valores más altos de ABS y TD. Con respecto a las condiciones ambientales (estado) se observa que las masas de harinas procedentes del estado de Guanajuato obtuvieron los valores más altos en ABS y TD (57.07% y 4.35 min, respectivamente) y las del estado de Michoacán presentaron los valores menores (52.93% y 3.16 min, en ése orden), con respecto a la estabilidad las masas de las harinas del estado de Michoacán obtuvieron el valor mayor (3.73 min) y las de Guanajuato el menor (3.21 min).

Los investigadores reportan que un valor alto de ABS y TD indican buena calidad panadera. El ABS, TD y EST están relacionados positivamente la proteína; por otro lado, ABS es directamente proporcional al diámetro de galleta (Farrand, 1969; Triples y col., 1978; Bloksma, 1990; Bloksma y Bushuk, 1988; Yakamamoto y col., 1996). Lo anterior puede explicar que las variedades Barcenás y Salamanca probablemente obtuvieron los valores más altos de ABS, TD >2 a 3 min (Guo-quin y col., 2006) y EST por presentar mayor cantidad de proteína (Tabla 9) y, a su vez expone porque la variedad Saturno presentó los valores más bajos de ABS y TD. A causa de esto, las variedades Barcenás y Salamanca pueden ser harinas de buena calidad panadera y con las que se puedan obtener diámetros de galleta grande; por ejemplo superior al promedio de 8.6 cm obtenido por Yakamamoto y col. (1996) para trigos suaves con ABS, TD y EST promedio de 50.0 %, 1.0 min y 2.7 min, respectivamente.

Para comparar los parámetros farinográficos de las variedades de trigos suaves sembradas en el Bajío en el ciclo agrícola 2003-2004 (Magaña, 2005) pueden ser comparadas con las variedades sembradas ahí mismo en el ciclo agrícola 2004-2005, y con las variedades de trigos suaves sembradas en los E.U.A. La ABS promedio (55.27 %) en las masas fueron mayores en comparación con los obtenidos por Magaña (2005) y a los valores promedio de ABS del periodo de años del 2002-2006 para trigos suaves blancos y rojos de invierno reportados por U. S. Wheat associates (2006), (en 1.20%, 8.47% y 5.07%; respectivamente); se puede atribuir al bajo número de caída (actividad amilolítica) de las harinas lo que se sabe que afecta inversamente a la ABS, así mismo se puede deber a que tienen más

contenido de proteína (Pomeranz, 1988; Farrand, 1969; Tripples y col., 1978; Bloksma y Bushuk, 1988). Con respecto al valor de EST (3.07 min) fue menor en 13.76% al obtenido por Magaña en el 2005, pero comparándolo con los valores promedio de EST del período de años del 2002-2006 para trigos suaves blancos y rojos de invierno reportados por U. S. Wheat associates (2006) fueron mayores en 22.8% y 2.33%, en ése orden.

Contrastando los resultados obtenidos de la investigación anterior realizada (Magaña, 2005) se observó que las variedades Cortazar y Salamanca tuvieron valores más altos en su ABS en un 0.77% y 4.02% y la variedad Saturno presento un valor menor en un 1.15%. Todas las variedades observaron valores menores de EST en un 27.94% y 6.01% y 12.03% (Cortazar, Salamanca y Saturno; respectivamente). Por lo que fue la variedad Salamanca la que conservó valores altos de ABS. En el anexo A-1 se observan los farinogramas que representan a cada una de las variedades de trigo suave manejadas en la presente investigación.

En general, las propiedades reológicas de las masas con el farinograma probablemente sean diferentes porque las harinas tuvieron diferente número de caída, lo que se ha visto que influye en las mismas (Chiotelli y col., 2004). Resumiendo, el ambiente fue el principal factor que varió los parámetros farinográficos y se ha visto que causa cambios impredecibles en la calidad del trigo (Gaines, 1991). Además, dichas diferencias en las propiedades reológicas de las masas pueden atribuirse también a las condiciones agronómicas (Carcea y col., 2006). Las comparaciones realizadas con los ciclos agrícolas 2003-2004 y 2004-2005 de las variedades de trigo sembradas en el Bajío y las variedades sembradas en E.U.A. en el 2002-2006 muestran que el año de cultivo, condiciones ambientales, variedades y condiciones agronómicas afectan las características de calidad de los trigos, por lo que su uso final es específico (Gaines, 1991; Morris y col., 1997; Huebner y col., 1999).

Alveogramas

En la Tabla 14 se muestra el ANDEVA del efecto de la variedad y las condiciones ambientales sobre las propiedades reológicas de las masas obtenidas con el alveograma. Se observa que la variedad tuvo un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en la extensibilidad (P/L) y el índice de hinchamiento (P/G) de las masas de trigo suave y un efecto significativo ($p < 0.05$) en la fuerza general (W). Sin embargo, las condiciones ambientales (estado) tuvieron un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en (P/G).

Tabla 14. Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre las propiedades reológicas con el alveograma, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor de F		
		W ⁴	P/L ⁵	P/G ⁶
Variedad (V)	3	3.84 ^{2*}	9.56 ^{3**}	19.36 ^{3**}
Estado (E)	1	3.08 NS	1.93 NS	12.03 ^{3**}
Error	37			
Total	41			

¹ NS = No significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p>0.05$)

^{2*} = Significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p<0.05$)

^{3**} = Significativo a un nivel de $p=0.01$ ($p<0.01$)

⁴W= Fuerza general

⁵P/L= Extensibilidad de la masa

⁶P/G= Índice de hinchamiento

En la Tabla 15 se muestran los valores de los parámetros alveográficos por variedad y por estado de procedencia. Una harina es considerada buena para panificación si tiene una W entre 140-160 x 10⁴J (relacionado con el contenido de proteína o fuerza de la harina), y una relación P/L entre 0,5 y 0,6 (calidad o uso potencial de la harina), ambos parámetros se ha visto que son influenciado principalmente por las subunidades de gluteninas de bajo peso molecular (Unbehend y col., 2000; Peña y col., 2005; Yakamamoto y col., 1995). En la Tabla 15 se observa que la variedad Salamanca presentó los valores más altos de W, P/L y P/G (139.62 x 10⁴J, 0.70 y 2.83, respectivamente); el alto valor de W y de P/L probablemente se deba al hecho de tener un alto contenido de proteína, factor que se justifica también al presentar un porcentaje de absorción de agua alto (Unbehend y col., 2000; Yakamamoto y col., 1995). Los valores más bajos W (85.50 x 10⁴J), P/L (0.46) y P/G (1.99) los obtuvieron las variedades Cortazar, Barcnas, y Saturno; en ése orden. En general, Salamanca es la variedad que más se aproxima al estándar de buena calidad y el resto registraron valores de W inferior a 110, por lo que se deben destinar a usos distintos a la panificación y por sus valores altos de P/L la variedad Salamanca pudiera ser buena candidata para emplearse en elaboración de galletas donde lo importante es la extensibilidad de las masas.

Referente a las condiciones ambientales (estado) se observa que las masas de las harinas del estado de Guanajuato obtuvieron los valores más altos de W, P/L y P/G (122.07 x 10⁴J, 0.59 y 2.47, respectivamente); siendo así las del estado de Michoacán las que observaron los valores de W, P/L y P/G menores (105.50 x 10⁴J, 0.54 y 2.11, respectivamente) y se pueden deber estos valores al contenido proteico, siendo probablemente las harinas del estado de Guanajuato aptas para galletas (Bloksman y Bushuk, 1988; Yakamamoto y col., 1995).

Para comparar los parámetros alveográficos de las variedades de trigos suaves sembradas en el Bajío en el ciclo agrícola (2004-2005) pueden ser cotejadas con el promedio de las variedades de trigos suaves sembradas en los E.U.A en el período de 2002-06. El valor de W promedio (113.78 x 10⁴J) fue mayor en 60.25% y 25.03% a los valores promedio del período de años del 2002-06 para trigos suaves blancos y rojos de invierno reportados por U. S. Wheat associates (2006), respectivamente. Por último, la extensibilidad P/L promedio (0.57) de la masa de trigos suaves fue mayor en 58.33% promedio del período de años del 2002-2006 para trigos suaves blancos y rojos de invierno reportados

Tabla 15. Valores promedio de las propiedades reológicas con el alveograma por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	W ² 10 ⁻⁴ J	P/L ³	P/G ⁴
Variedad			
Barcenás	114.75 ± 14.25 ¹	0.46 ± 0.11	2.00 ± 0.33
Cortazar	85.50 ± 10.22	0.57 ± 0.05	2.25 ± 0.18
Salamanca	139.62 ± 66.88	0.70 ± 0.15	2.83 ± 0.51
Saturno	106.33 ± 17.58	0.52 ± 0.10	1.99 ± 0.10
Estado			
Guanajuato	122.07 ± 53.80	0.59 ± 0.09	2.47 ± 0.50
Michoacán	105.50 ± 22.06	0.54 ± 0.18	2.11 ± 0.42

¹ Desviación estándar

²W= Fuerza general

³P/L= Extensibilidad de la masa

⁴P/G= Índice de hinchamiento

por U. S. Wheat associates (2006), en ambos casos. La explicación de valores altos de W y P/L se pueden deber a que los trigos suaves utilizados en la presente investigación presentan mayor contenido de proteína respecto a los comparados. Los parámetros alveográficos no fueron evaluados en la investigación anterior (Magaña, 2005) por lo que no se realiza dicha comparación. En anexos se observa la Fig. B-1 donde se tienen los alveogramas que representan a cada una de las variedades de trigo suave manejadas en la presente investigación.

En general, las propiedades reológicas de las masas con el alveograma probablemente sean diferentes por presentar sus harinas diferente número de caída y contenido de proteína, lo que se ha observado que influyen en las mismas (Chiotelli y col., 2004; Peña y col., 2005). Resumiendo, la variedad fue el principal factor que afectó los parámetros alveográficos. Además, dichas diferencias en las propiedades reológicas pueden deberse también a las condiciones agronómicas (Carcea y col., 2006). Nuevamente se coincide en que el año de cultivo, condiciones ambientales, variedades y condiciones agronómicas afectan las características de calidad y destino final de los trigos suaves (Gaines, 1991; Morris y col., 1997; Huebner y col., 1999).

Características Viscoelásticas de las Masas

Para caracterizar la viscoelasticidad de las masas de trigo suave se emplearon dos técnicas: 1) Método dinámico y 2) Prueba de relajación del esfuerzo, las cuales se realizaron en un reómetro bajo condiciones previamente establecidas. Los resultados de dichas determinaciones se discuten a continuación.

Método dinámico

Para caracterizar las propiedades viscoelásticas de las variedades de trigo suave, a las masas de sus harinas se les aplicó el método dinámico en un reómetro bajo las siguientes condiciones: rango de frecuencia de 0.10 a 100 rad/seg, deformación relativa de 0.10% (región lineal) y la separación entre platos fue de 2 mm (diámetro de 25 mm). Las propiedades viscoelásticas evaluadas fueron: el módulo de almacenamiento (G'), el módulo de pérdida (G'') y la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$).

Los valores utilizados para el ANDEVA (Tabla 16) y los promedios mostrados en la Tabla 17 de los parámetros viscoelásticos obtenidos aplicando el método dinámico: el módulo de almacenamiento (G'), el módulo de pérdida (G'') y la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) son los correspondientes a la frecuencia de 5 rad/seg, que fueron extraídos de las curvas que se observan en la Fig. 8 y que más adelante se discutirán. Con el propósito de conocer si los factores estudiados (variedad y condiciones ambientales) afectaron los parámetros viscoelásticos de las masas de harinas de trigos suaves se realizó un ANDEVA el cual se presenta en la Tabla 16. Se puede observar las condiciones ambientales de crecimiento (estado) tuvo un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en G' y significativo en G'' ($p < 0.05$).

Comparación de valores numéricos. En la Tabla 17 se muestran los valores promedio de los parámetros de el módulo de almacenamiento (G'), el módulo de pérdida (G'') y la tangente del ángulo de fase ($\tan \delta$) por variedad y por estado, de las masas de harinas de trigo suave. En general se ve que los valores de módulo de almacenamiento (G') fueron mayores a los valores del módulo de pérdida (G'') y que la relación de ambos ($\tan \delta$) fue superior a 0.50, por lo que todas las muestras de las diferentes variedades y estados presentaron mayor parte viscosa que parte elástica. Se puede observar que la variedad Saturno presentó los valores más altos de G' , G'' y $\tan \delta$ (29750 Pa, 17121 Pa y 0.57; respectivamente). El valor más bajo de G' (28246 Pa) lo observó la variedad Salamanca y la variedad Cortazar presentó los valores más bajos de G'' (15621 Pa) y $\tan \delta$ (0.54). El valor bajo de G'' de la variedad Salamanca probablemente se deba a que presenta un alto valor de volumen de sedimentación, ya que la literatura reporta que este parámetro viscoelásticos es inversamente proporcional a la calidad de la proteína (Faubion y Hosenev, 1990). Por otro lado, los altos valores de G' de las variedades Salamanca y Barcnas se pueden deber a que presentan un alto contenido de gluten (Chiotelli y col., 2004). Con respecto a las condiciones ambientales (estado) se observa que los valores más altos de G' (30595 Pa) y G'' (17088 Pa) fueron para las masas elaboradas con harinas del estado de Michoacán y las del estado de Guanajuato presentaron el valor más alto de $\tan \delta$ (0.56); siendo así las masas procedentes del estado de Guanajuato las que observaron los valores menores de G' y G'' (27103 Pa y 15450 Pa, respectivamente) y las de Michoacán el valor más bajo de $\tan \delta$ (0.55). De igual forma, el valor bajo de G' y G'' de las masas del estado de Guanajuato pudieran deberse a que presentan un alto valor de volumen de sedimentación y contenido de gluten, ya que la literatura reporta que estos parámetros viscoelásticos son inversamente proporcional a la calidad de la proteína y

Tabla 16. Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre los parámetros viscoelásticos utilizando el método dinámico medidos a una frecuencia de 5 rad/seg, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor de F		
		G' ⁴	G'' ⁵	Tan δ ⁶
Variedad (V)	3	0.60 NS ¹	1.09 NS	2.13 NS
Estado (E)	1	15.61 ^{3**}	6.46 ^{2*}	4.06 NS
Error	37			
Total	41			

¹ NS = No significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p>0.05$)

^{2*} = Significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p<0.05$)

^{3**} = Significativo a un nivel de $p=0.01$ ($p<0.01$)

⁴G' = Módulo de almacenamiento

⁵G'' = Módulo de pérdida

⁶Tan δ = Tangente del ángulo de fase

Tabla 17. Valores promedio de los parámetros viscoelásticos utilizando el método dinámico medidos a una frecuencia de 5 rad/seg por variedad y por estado, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	G'² (Pa)	G''³ (Pa)	Tan δ⁴
Variedad			
Barcenas	29080 ± 3384 ¹	16378 ± 1926	0.5639 ± 0.03
Cortazar	28445 ± 11489	15621 ± 1114	0.5487 ± 0.02
Salamanca	28246 ± 4174	16007 ± 2714	0.5649 ± 0.01
Saturno	29750 ± 2967	17121 ± 1524	0.5763 ± 0.02
Estado			
Guanajuato	27103 ± 2784	15450 ± 2054	0.5687 ± 0.02
Michoacán	30595 ± 1429	17088 ± 1566	0.5585 ± 0.02

¹Desviación estándar

²G' = Módulo de almacenamiento

³G'' = Módulo de pérdida

⁴Tan δ = Tangente del ángulo de fase

directamente proporcional al gluten (Faubion y Hosenev, 1990; Chiotelli y col., 2004). En general, los valores de G' , G'' y $\text{Tan } \delta$ de las masas de las harinas de variedades Salamanca y Barcenas y del estado de Guanajuato; probablemente se deban a que presentan alta calidad y cantidad proteica, así como alto contenido de gluten.

Los intervalos donde se encuentran los valores de los parámetros viscoelásticos de las diferentes variedades son muy estrechos por lo que son muy similares en su viscoelasticidad, por hacer una pequeña diferenciación y tomando como referencia el valor de $\text{Tan } \delta$, la variedad con ligeramente mayor parte viscosa fue la variedad Saturno y la de ligeramente menor fue la Cortazar. En los estados el rango de las masas fue ligeramente más amplio, por lo que las del estado de Guanajuato observaron mayor parte viscosa y las de Michoacán menor.

Las variedades de trigos suaves sembradas en el Bajío en el ciclo agrícola 2003-2004 (Magaña, 2005) pueden ser comparadas con las variedades sembradas ahí mismo en el ciclo agrícola 2004-2005. Contrastando los resultados obtenidos de ambas investigaciones se observó que todas las variedades presentaron valores más bajos de G' y G'' en el 2004-05. A causa de lo mencionado, el valor de $\text{Tan } \delta$ fue más alto en las variedades de Cortazar (5.18%), Salamanca (8.25%) y Saturno (8.06%) en los trigos ahora evaluados. Con respecto a las condiciones ambientales (estado) en el presente ciclo evaluado, se observa que las masas de las harinas de los estados de Guanajuato y Michoacán presentaron valores menores de G' (17.91% y 15.67%, respectivamente) y G'' (12.94% y 5.41%, correspondientemente) y por lo tanto aumentaron su $\text{Tan } \delta$ (1.07% y 7.51%, en ése orden). El valor de $\text{Tan } \delta$ promedio del ciclo 2004-05 fue de 0.562 y el del 2003-04 fue de 0.525, siendo en un 7.04% más grande el valor de $\text{Tan } \delta$ de los trigos en la actualidad evaluados. Por lo anterior, en general todas las muestras analizadas en esta investigación (sin importancia de variedad y condición ambiental) presentaron mayor parte viscosa que las evaluadas por Magaña (2005).

Las condiciones ambientales fueron el principal factor que afectó a los parámetros viscoelásticos de G' , G'' y $\text{Tan } \delta$ de las masas de las harinas de trigos suaves. Lo anterior coincide con resultados de otros trabajos donde se observó que el ambiente (estado de procedencia) es el principal factor que afecta la calidad del trigo (Huebner y col., 1999). Además, como el contenido y calidad de proteína y el contenido de gluten fueron factores que influyeron en los parámetros obtenidos mediante

el método dinámico, los cuales también se afectan por las condiciones ambientales de crecimiento (Huebner y col., 1999; Yakamamoto y col., 1996). Las condiciones agronómicas pudieran ser otro factor que afecte a la calidad de la proteína presente (volumen de sedimentación) (Haglund y col., 1998; Keehan y col., 2004).

En conclusión, parámetros viscoelásticos de G' , G'' y $\text{Tan } \delta$ del trigo suave se vieron influenciados por las condiciones ambientales (estado de procedencia) y, afectan la calidad del trigo (Carcea y col., 2006; Gaines, 1991). Por otro lado, a los factores evaluados en la presente investigación se les pudo haber conjugado el factor de condiciones agronómicas en las que se desarrolló el cultivo. Cabe mencionar que con las comparaciones realizadas se corroboró que el año de cosecha y condiciones ambientales (probablemente también las condiciones de cultivo) son factores que pueden y afectan las características de calidad del trigo suave, afectando la conveniencia para diferentes usos finales (Gaines, 1991; Hou y col., 1996; Yakamamoto y col., 1996; Huebner y col., 1999; Carcea y col., 1999).

Comparación de gráficas. En ésta sección se hace una comparación de los parámetros viscoelásticos entre las diferentes variedades de trigo suave. En la Fig. 8 se presenta (a) Módulo de almacenamiento (G'), (b) Módulo de pérdida (G'') y (c) Tangente del ángulo de fase ($\text{Tan } \delta$) en función de la frecuencia de las cuatro variedades manejadas: Barcenás, Cortazar, Salamanca y Saturno. Comparando las alturas de las curvas en (a) y (b) se puede ver a simple vista que el valor de G' es mayor a G'' . En las mismas curvas de (a) y (b) (para todas las variedades) conforme el valor de la frecuencia aumenta también lo hace el valor de G' y G'' , respectivamente; por lo tanto son dependientes de la frecuencia (Hibber y Wallace, 1966). Lo anterior indica que los valores de ambos parámetros van incrementando al crecer la frecuencia, esto podría reflejar que la fuerza de la masa va creciendo, y se puede deber a que el contenido de gluten (Chiotelli y col., 2004) y la calidad de la proteína son altos. Por consiguiente, el gluten de las masas de trigos suaves en realidad puede ser fuerte y no tan débil como se esperaba. En la curva (c) se observa el comportamiento del valor de $\text{Tan } \delta$: inicialmente presenta un ligero descenso, en los valores intermedios (1-10 rad/seg) su valor a una frecuencia dada son muy similares y a altas frecuencias se presenta el mismo fenómeno inicial de bajar su valor; por lo que el valor de $\text{Tan } \delta$ se considera que permanece constante. En las masas los tres parámetros viscoelásticos presentaron un

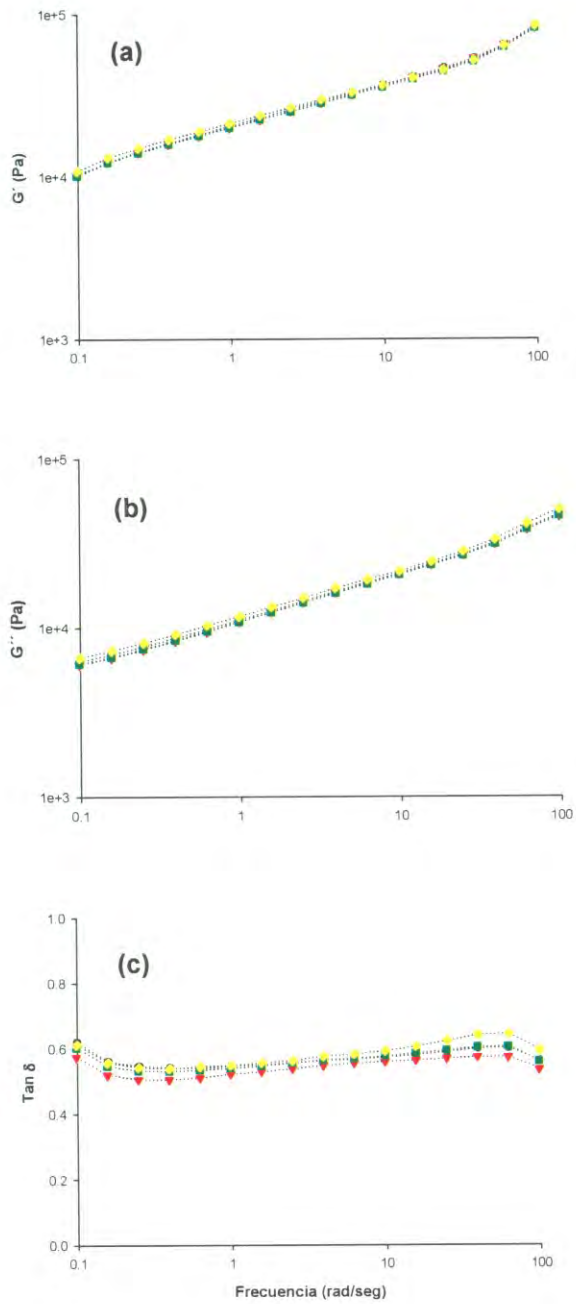


Fig. 8. (a)Módulo de almacenamiento, (b)Módulo de pérdida y (c)Tangente del ángulo de fase en función de la frecuencia para las variedades de trigo suave

comportamiento igual al observado por Magaña (2005). En las curvas (a) y (b) se ve claramente que todas las variedades tienen valores similares de G' y G'' . Es en la curva (c) se aprecia una ligera diferenciación en las curvas, siendo la curva más alta la de la variedad Saturno seguida de Cortazar, Salamanca y finalmente Barcenás con el valor más bajo teniendo así de mayor a menor parte viscosa, en ese orden. Las masas de variedades Barcenás y Salamanca probablemente presentan menor parte viscosa que parte elástica porque son las variedades que tienen mayor contenido de proteína, gluten húmedo y volumen de sedimentación. El método dinámico se aplicó a las masas para ver que con éste se tiene una baja diferenciación entre las mismas; lo cual se corroboró pues los datos extraídos de las curvas (a una frecuencia dada) fueron muy similares, esto coincidió con los resultados obtenidos por Magaña (2005). La evaluación principal de este trabajo es la aplicación de la prueba de relajación del esfuerzo para caracterizar a las masas de trigos suaves mexicanos, logrando con ello obtener una herramienta reológica para diferenciar sus masas y poder dirigir mejor su destino final. En el siguiente apartado se explican a detalle cada uno de los resultados obtenidos aplicando la prueba de relajación del esfuerzo en las masas de trigos suaves.

Prueba de relajación del esfuerzo

Con el fin de obtener una herramienta reológica más eficaz para caracterizar y diferenciar las masas de trigo suave se usó la prueba de relajación del esfuerzo, donde las masas fueron sujetas a deformaciones mayores a las del método dinámico ($>1\%$ de deformación) y el esfuerzo se monitoreó a través del tiempo. En este caso, y de acuerdo a trabajos preliminares y la literatura las condiciones de operación manejadas en el reómetro fueron: la prueba de relajación del esfuerzo fue medida en intervalos de 0.1 seg aplicando un 15% de deformación por un lapso de tiempo de 30 min a una temperatura controlada de 25°C y la separación entre platos fue de 2 mm (diámetro de 25 mm). Se obtuvieron curvas de módulos de relajación ($G(t)$, esfuerzo/deformación a cualquier tiempo) y esfuerzo vs tiempo (Li y col., 2003; Rao y col., 2000).

Los parámetros tomados fueron el esfuerzo máximo inicial a 15% de deformación (G_0) y el tiempo de relajación (TREL). El tiempo de relajación se relaciona con el proceso de flujo ocurrido cuando la masa se relaja y se define como el tiempo requerido por el esfuerzo para caer en $1/e$ veces o a 36.8% de su valor original (Smith y col., 1970; Ramírez-Wong, 2005). Cuando el valor de TREL es

bajo indica que el cuerpo que esta siendo sometido a una alta deformación tiene mayor parte elástica que parte viscosa. La importancia de la prueba de relajación del esfuerzo y del parámetro de tiempo de relajación es que sirve para caracterizar a las masas y sus propiedades comerciales (Bagley y Christianson, 1986) dando una idea del uso final adecuado. Por ejemplo, para panificación se requiere de mayor elasticidad requiriendo tiempos de relajación cortos (Lee y Mulvaney, 2003); y en galletas la elasticidad no es importante sino la viscosidad, por lo que se presume que tiempos de relajación largos son los más adecuados. Con los trigos suaves se obtienen tiempos de relajación largos en sus masas lo que indica que la viscosidad es mayor pudiendo tener mejor extensibilidad y se presume estos son aptos para la elaboración de galletas (Bloksman y Bushuk, 1988; Edwards y col., 2001; Miller y Hosney, 1999). Una vez definida la importancia y significado de los parámetros de módulo de relajación y el tiempo de relajación, a continuación se describen los resultados obtenidos al aplicar la prueba de relajación del esfuerzo a las masas de trigos suaves mexicanos.

Los valores utilizados para el ANDEVA (Tabla 18) y los promedios mostrados en la Tabla 19 de los parámetros viscoelásticos obtenidos aplicando la prueba de relajación del esfuerzo a las masas de trigos suaves (esfuerzo máximo inicial a 15% de deformación (G_0) y tiempo de relajación (TREL)) fueron extraídos de las curvas que se observan en la Fig. 9 y que más adelante se discutirán. El análisis de varianza (ANDEVA) del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre las propiedades viscoelásticas aplicando la prueba de relajación del esfuerzo, de las harinas de trigo suave se muestran en la Tabla 18. La variedad tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en TREL y el estado de procedencia (condiciones ambientales) presentó un efecto muy significativo ($p < 0.01$) en G_0 .

Comparación de valores numéricos. El valor promedio de los parámetros viscoelásticos de esfuerzo máximo inicial (G_0) y el tiempo de relajación (TREL) de las masas de los trigos suaves obtenidos de la prueba de relajación del esfuerzo por variedad y por estado se presentan en la Tabla 19. En general se observa mayor diferencia en los valores de G_0 que los expuestos por el TREL. Evaluando los valores de ambos parámetros viscoelásticos con relación a las variedades se puede ver que la variedad Barcenas presentó el G_0 mayor y la variedad Saturno el menor (510.42 Pa y 462.45 Pa, respectivamente). Con respecto al TREL, la variedad Saturno tuvo el valor más alto y la variedad Salamanca el más bajo (0.41 seg y 0.33 seg, respectivamente). En relación a las condiciones ambientales (estado de procedencia) se

Tabla 18. Análisis de varianza, valor F, del efecto de la variedad y las condiciones ambientales (estado de procedencia) sobre las propiedades viscoelásticas utilizando la prueba de relajación del esfuerzo, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Valor de F	
		G ₀ ⁴	TREL ⁵
Variedad (V)	3	0.80 NS ¹	3.34 ^{2*}
Estado (E)	1	24.46 ^{3**}	2.62 NS
Error	37		
Total	41		

¹ NS = No significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p>0.05$)

^{2*} = Significativo a un nivel de $p=0.05$ ($p<0.05$)

^{3**} = Significativo a un nivel de $p=0.01$ ($p<0.01$)

⁴G₀ = Esfuerzo máximo inicial

⁵TREL = Tiempo de relajación

Tabla 19. Valores promedio de las propiedades viscoelásticas utilizando la prueba de relajación del esfuerzo por estado y por variedad, de las harinas de trigo suave

Fuente de Variación	G₀² (Pa)	TREL³ (Seg)
Variedad		
Barcenas	510.42 ± 119.61 ¹	0.36 ± 0.07
Cortazar	466.00 ± 55.61	0.38 ± 0.02
Salamanca	484.28 ± 130.50	0.33 ± 0.07
Saturno	462.45 ± 56.50	0.41 ± 0.02
Estado		
Guanajuato	423.69 ± 60.11	0.35 ± 0.06
Michoacán	542.62 ± 97.42	0.38 ± 0.06

¹ Desviación estándar

² G₀= Esfuerzo máximo inicial

³TREL= Tiempo de relajación

observó que las masas elaboradas con harinas del estado de Guanajuato obtuvieron los valores menores en G_0 (423.69Pa) y TREL (0.35 seg), siendo las masas del estado de Michoacán las que presentaron los valores mayores (542.62 Pa y 0.38 seg, en ése orden). Por lo anterior, las masas elaboradas con harinas de la variedad Saturno y procedentes del estado de Michoacán las que tardan mayor tiempo en relajarse y las masas de la variedad Salamanca y del estado de Guanajuato las que se relajan más rápido, podría deberse a que las masas de la variedad Saturno y del estado de Michoacán tienen más parte viscosa que las de la variedad Salamanca y estado de Guanajuato (que no tiene relación estadística con $\tan \delta$, por lo que los métodos son independientes). Además, se presume que tiempos largos de relajación son mejores para elaborar productos finales como las galletas (ya que éste nos indicaría que tiene mayor parte viscosa y por lo tanto mayor extensibilidad), pero no existe un estudio previo donde se indique que valor de TREL es el adecuado para un producto específico por lo que no se puede decir cual de las variedades ó condiciones ambientales analizadas en el presente estudio son las más apropiadas para elaborar un producto final.

La literatura muestra que en general el módulo de relajación y el tiempo de relajación dependen del contenido y tipo de proteínas del trigo y el contenido de humedad. Lo anterior mencionado se ha observado en diversas investigaciones donde se ha encontrado que la humedad, las propiedades del gluten (como la fuerza del gluten) y su interacción con el mismo y con el almidón afectan a los parámetros mencionados (Fu y col., 1997; Larsson y Eliasson, 1996; Li y col., 2003; Yadav y col., 2006). A causa de lo expuesto, se puede explicar porque las masas de las variedades Barcenas y Salamanca y del estado de Michoacán tuvieron los valores más altos en los parámetros viscoelásticos de G_0 y menores de TREL; ya que estos presentaron los valores más altos de humedad, contenido de proteína, gluten húmedo y volumen de sedimentación y, esto probablemente se provocó que presenten mayor fuerza en su gluten; aunado a lo anterior presentaron los valores de número de caída mayores, por lo que hay cierta cantidad alta de almidón que esta disponible para interaccionar con el gluten. Por el contrario; las masas del estado de Guanajuato y de las variedades Cortazar y Saturno presentaron los valores más bajos de G_0 y más altos de TREL, pudiera deberse a que sus harinas tuvieron los valores más bajos de contenido de humedad, contenido proteico, gluten húmedo, volumen de sedimentación y número de caída.

Investigaciones realizadas muestran que el uso final del trigo se ve altamente influenciado por el contenido y tipo de proteína presente y que el número de caída influye en las propiedades reológicas de las masas; interviniendo en el destino final (Yakamamoto y col., 1996; Carrillo y col., 1990; Chiotelli y col., 2004). En este caso no se puede recaer el efecto de los parámetros de esfuerzo inicial G_0 y el tiempo de relajación TREL en un sólo factor, ya que el G_0 fue más afectado por el factor variedad y el TREL por las condiciones ambientales (estado de procedencia). Lo anterior se puede deber al contenido de proteína, que se ha visto que es función de la variedad y ambiente e influyen en las propiedades de los trigos y su uso final (Huebner y col., 1999). Por otro lado, otro parámetro importante es el de volumen de sedimentación que indica la fuerza del gluten y se ha encontrado cierta influencia en el por las condiciones ambientales (estado de procedencia) en combinación con la variedad (Huebner y col., 1999; Carter y col., 1999). Además, las condiciones agronómicas pudieran ser otro factor que afecte a la calidad y cantidad de la proteína presente (Haglund y col., 1998; Keehan y col., 2004).

Comparación de gráficas. A continuación se compararán los módulos de relajación ($G(t)$) respecto al tiempo y el TREL entre las diferentes variedades de trigo suave. En la Fig. 9 se presentan los módulos de relajación ($G(t)$) y los TREL respecto al tiempo de las variedades (a)Barcenás, (b)Cortazar, (c)Salamanca y (d)Saturno de trigo suave. En primer lugar el módulo de relajación está representado por los valores de las ordenadas y el esfuerzo máximo inicial por la altura de la curva. En segundo lugar para obtener el tiempo de relajación este se hace calculando el 36.8% del valor original del módulo de relajación a 15% de deformación (G_0) y ese valor se ubica en las ordenadas trazando una línea paralela a las abscisas hasta llegar a la curva, una vez ubicado el punto dentro de la curva de ahí mismo se traza una línea perpendicular al eje de las abscisas obteniendo el valor del tiempo de relajación; en realidad en el reómetro se consiguen las tablas de valores de datos referidos a G_0 y TREL, de ahí se toman los valores e interpolan (en caso de requerirse) para obtener los datos exactos. En general para todas las muestras de las variedades se observó el mismo comportamiento en las curvas, en los tiempos iniciales las curvas presentaron un pequeño incremento del esfuerzo hasta llegar a un máximo (G_0) el cual fue disminuyendo respecto al tiempo y en un tiempo t tomó un valor constante. Para entender mejor lo anterior se puede decir que cuando la masa fue inicialmente sujeta a una alta deformación (15%) esta tuvo como respuesta un alto esfuerzo inicial y conforme el tiempo transcurría la masa se relajaba o fluía

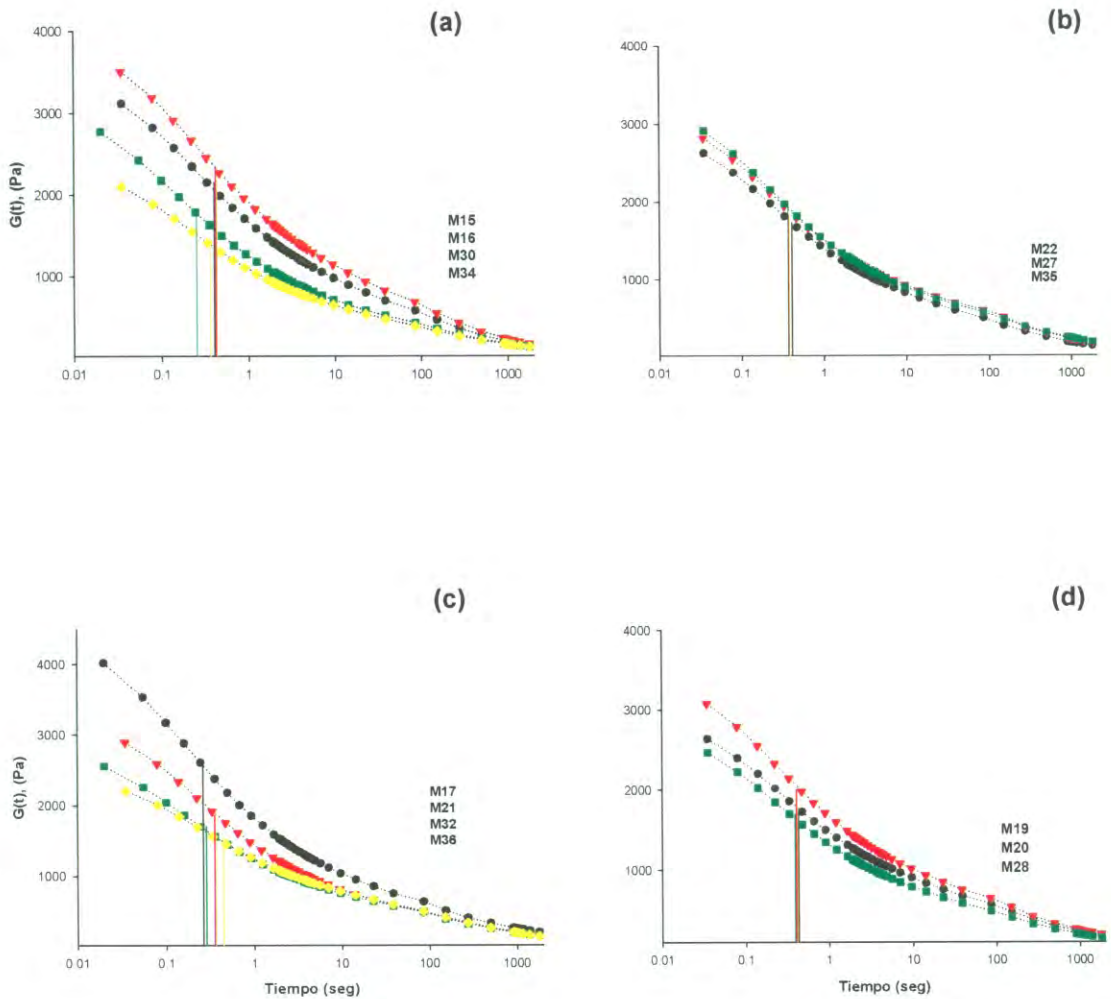


Fig. 9. Modulo de relajación, $G(t)$ contra tiempo de las muestras de las variedades (a)Barceñas, (b)Cortazar, (c)Salamanca y (d)Saturno, a una deformación constante de 15%

lentamente por lo que la respuesta (esfuerzo) decayó. Otro aspecto frecuente en las curvas es que todas presentaron únicamente un máximo; lo que coincide con lo encontrado por Rao y col. (2000), quienes observaron que masas moderadamente fuertes presentan un sólo máximo (o pico) y en las masas fuertes aparecen dos máximos. El hecho de que las masas débiles sólo presentaran un pico se puede deber a lo reportado en la literatura. Li y col. (2003), encontraron que el proceso de relajación ocurre en dos etapas (representado por dos picos): 1)El primer pico se puede deber al incremento de la distribución de polímeros de menor tamaño molecular (gliadinas y gluteninas de bajo peso molecular) y 2)El segundo se atribuye a la distribución de los polímeros de mayor tamaño molecular (gluteninas de alto peso molecular) que representan una estructura de cadena más fuerte la cual probablemente se encuentran más unidas entre sí. Lo anterior se resume al contenido de proteína; es decir, como los trigos suaves presentan menor contenido de proteína (9.9%) y tienen mayor fracción de proteínas de peso molecular bajo (gliadinas (36.35-52.10% del total) y gluteninas de bajo peso molecular) que gluteninas de alto peso molecular el balance de glutenina/gliadina es diferente a los otros trigos. Por consiguiente, se tienen propiedades reológicas de las masas de trigo suave distintas a las de las masas de trigos fuertes y en éste caso se reflejó en que sus masas sólo presentaron un pico en el proceso de relajación (Larsson y Eliasson, 1995; Serna-Saldivar, 1996; Hou y col., 1996; Edwards y col., 2001; Uthayakumaran y col., 2002; Peña y col., 2005).

Igualmente, la Fig. 9 muestra un factor importante que se ha venido mencionando en cada una de las mediciones anteriormente discutidas, esto es el efecto de las condiciones ambientales en las características de los trigos. A simple vista se observan las diferencias entre las curvas de una misma variedad, lo que da evidencia del efecto de las condiciones ambientales (estado de procedencia) en las propiedades viscoelásticas de sus masas. Las curvas (a) y (c) fueron las que presentaron mayor diferencia entre ellas, por lo que el intervalo de sus valores de módulo de relajación G_0 fueron mayores así como el efecto de las condiciones ambientales, caso contrario observado en las curvas de (b) y (d). Por otro lado se presentó el mismo comportamiento entre variedades con relación al tiempo de relajación (representado por la línea perpendicular al tiempo), sólo que en éste caso el intervalo general de los tiempos de relajación (0.33-0.41 seg) fue más pequeño que el del módulo de relajación G_0 (462-510 Pa), presentándose mayores diferencias en éste último. En general, las masas de las variedades Barcenas y Salamanca fueron las que presentaron los valores más diferentes de G_0 y de TREL debido a las condiciones ambientales de desarrollo del trigo suave y ambas variedades tuvieron los valores más

altos de G_0 y más bajos de TREL sugiriendo que tienen más parte elástica que el resto de las variedades y se puede deber al número de caída, contenido de humedad y al contenido y calidad de la proteína presente, que se discutió anteriormente.

Se revela que hay diferencias en las propiedades viscoelásticas de las masas en los parámetros de TREL y G_0 , lo que puede indicar la conveniencia de ciertas regiones con características ambientales propias y de algunas variedades procedentes de esos mismos ambientes para utilizarlas en productos finales particulares. Lo anterior posiblemente se deba a que sus harinas presentaron diferencias en el contenido y calidad de la proteína, la actividad amilolítica y el contenido de humedad (afecta las propiedades de relajación de las masas); lo cual se ha observado en otras investigaciones que están función de las condiciones ambientales y la variedad (Gaines, 1991; Hou y col., 1996; Yakamamoto y col., 1996; Huebner y col., 1999; Carrillo y col., 1990; Chiotelli y col., 2004; Yadav y col., 2006).

En la Fig. 10 se presenta el comportamiento del módulo de relajación ($G(t)$) y el tiempo de relajación (TREL) de las masas de las harinas de cada variedad respecto al tiempo, surgiendo así la comparación de las variedades por un solo gráfico. El objetivo principal de ésta figura fue mostrar el efecto que tiene la variedad en las características viscoelásticas de las masas de trigos suaves al aplicar la prueba de relajación del esfuerzo. En general se tuvo el mismo comportamiento en todas las variedades: 1) En los tiempos iniciales las curvas presentaron un pequeño incremento del esfuerzo hasta llegar a un máximo (G_0) el cual fue decayendo respecto al tiempo y llegó a tomar un valor constante en un tiempo t y 2) Todas las curvas presentaron únicamente un máximo; lo que coincide con lo encontrado por Rao y col. (2000) y se puede deber a los factores que se explicaron en la discusión de la figura anterior (Fig. 9).

La variedad con mayor G_0 fue Barcenas seguido de Salamanca, Saturno y Cortazar; y concerniente al TREL el orden decreciente fue Salamanca, Barcenas, Cortazar y Saturno. Se puede decir que aquellas variedades que registraron esfuerzos mayores al deformarse constantemente (15% de deformación) se pueden deber a que tuvieron mayor comportamiento elástico, por lo que sus tiempos de relajación del esfuerzo o recuperación de la deformación fueron menores a los que presentaron flujo

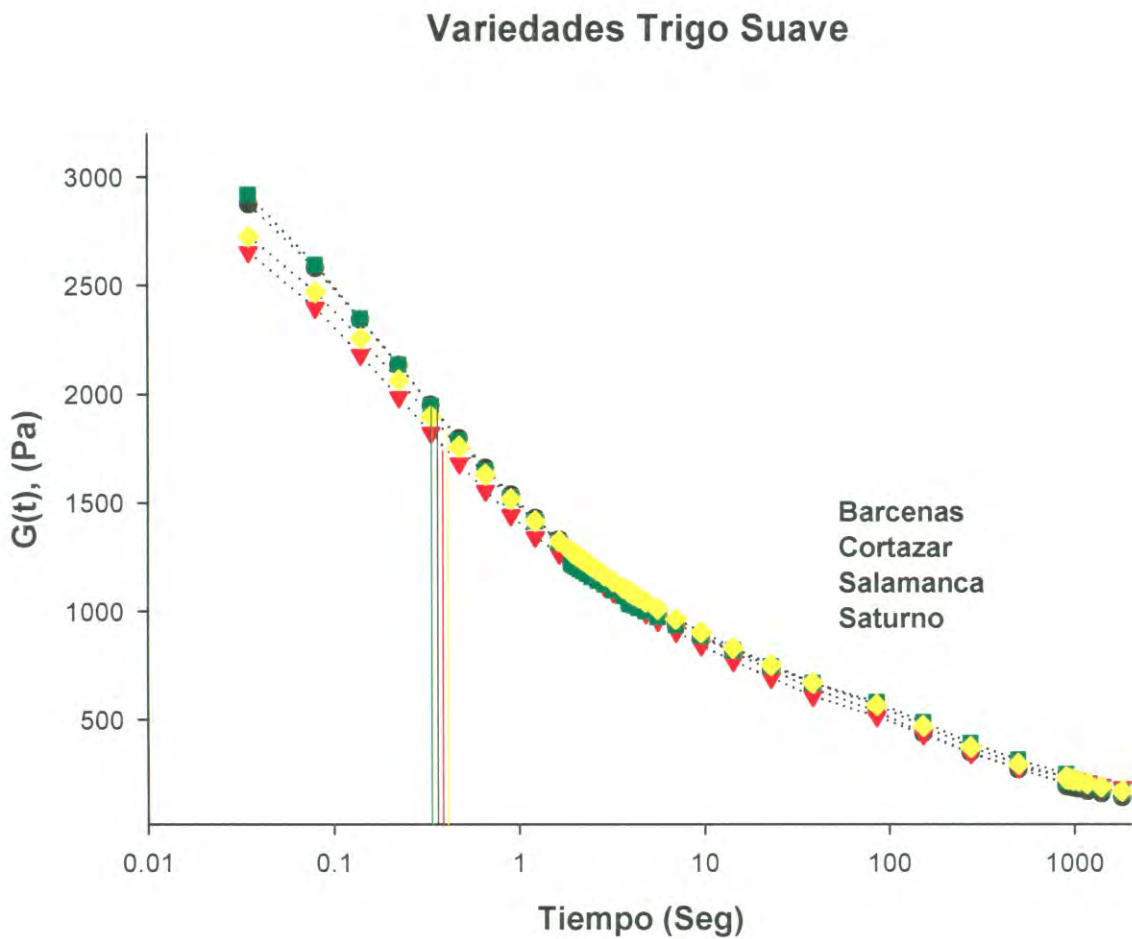


Fig. 10. Modulo de relajación, $G(t)$ contra tiempo de las variedades de trigo suave, a una deformación constante de 15%

más viscoso. Un claro ejemplo de lo anterior son las variedades Barcenas y Salamanca, y este comportamiento probablemente se debe a lo anteriormente explicado de tener un alto número de caída, así como altos valores de contenido y calidad de la proteína presente y contenido de humedad que afecta a las propiedades de relajación a las masas. En general el efecto de la variedad fue mayor en el valor de TREL y menor en el G_0 en las masas de trigo suave, sin embargo éste último se ha visto que varía entre variedades de diferentes condiciones ambientales y puede ser causada por el tipo y cantidad de proteína presente, la cual también es diferente de una variedad a otra (Larsson y Eliasson, 1996; Huebner y col., 1999; Li y col., 2003; Yadav y col., 2006).

De los resultados obtenidos aplicando la prueba de relajación del esfuerzo y el método dinámico se deduce que la caracterización y diferenciación con la primera técnica fue mejor a la obtenida con el método dinámico. Cabe aclarar que el método dinámico sólo se utilizó para asegurar que los resultados obtenidos en ésta investigación fueran consistentes con los que logró Magaña (2005), donde se consiguió una baja caracterización viscoelástica de los trigos suaves mexicanos, y además para realzar que con la prueba de relajación del esfuerzo se logra una mejor diferenciación y caracterización de las masas de trigo suave y que esta es una herramienta reológica adecuada y sencilla para saber que factor (variedad o condiciones ambientales) influye más en las propiedades viscoelásticas de las masas, lo que probablemente las hace específicas en su uso final (Mohsenin, 1978; Faubion y Hosney, 1990; Rao, 1999; Safari-Ardi y Phan-Thien, 1998, Lee y Mulvaney, 2003; Uthayakumaran y col., 2002; Rao y col., 2000; Yadav y col., 2005; Wikström y Eliasson, 1998).

El parámetro de tiempo de relajación (TREL) se esperaba que mostrara mayores diferencias entre las masas de las diferentes variedades y condiciones ambientales (estados de procedencia), sin embargo fue el esfuerzo máximo G_0 quien más se afectó. Por otro lado, a pesar de encontrar diferencias entre las masas al aplicar la prueba de relajación del esfuerzo, se esperaba que dichas diferencias fueran más grandes. Lo anterior se puede deber a que aún con tener diferente contenido de proteína (parámetro que influyó en las propiedades viscoelásticas y uso final) el intervalo del mismo entre las muestras fue reducido (10-12%, aproximadamente) y además la fracción de gliadina y glutenina de bajo peso molecular es aproximadamente la misma en todas las muestras (70% gliadina y 30% glutenina de bajo peso molecular) (Huebner y col., 1999; Reporte interno no publicado, 2007). Huebner y col. (1999) observaron que un reducido intervalo de contenido de proteínas entre diferentes

variedades procedentes de condiciones ambientales distintas, hace que el efecto de dichos factores decrezca. Finalmente, otra razón pudiera ser que las muestras evaluadas eran procedentes de de cuatro diferentes variedades, dos estados diferentes (condiciones ambientales) y a su vez las muestras fueron obtenidas de regiones diferentes de cada estado.

En conclusión, la prueba de relajación del esfuerzo es un método sencillo y rápido de realizar y se considera una técnica adecuada para caracterizar y diferenciar a las masas de trigos suaves mexicanos; lo que es importante para dirigir su uso final ya que una harina ideal para un producto no lo es para otro (Finney, 1989). Los parámetros que más afectaron al esfuerzo máximo inicial y el tiempo de relajación fueron el número de caída, contenido de humedad, el contenido y calidad de la proteína presente. En este caso, el esfuerzo máximo inicial (G_0), brindó más información que el TREL, pudiendo ser un parámetro importante para caracterizar a las masas y fue afectado por las condiciones ambientales en las que se desarrolló el cultivo.

Correlaciones Entre las Características Viscoelásticas y Otras Determinaciones

Con la finalidad de determinar si existe alguna relación significativa entre la composición proximal, contenido de gluten húmedo, volumen de sedimentación, número de caída, parámetros farinográficos y alveográficos con los parámetros viscoelásticos de la masa medidos con la prueba de relajación del esfuerzo y el método dinámico de las harinas de trigo suave, se llevaron a cabo correlaciones simples (r). Los datos de las características viscoelásticas que se utilizaron para el análisis fueron los correspondientes a la frecuencia de 5 rad/seg. Se consideró una correlación débil si $|r| < 0.5$, moderada si $0.5 \leq |r| \leq 0.75$ y fuerte si $|r| > 0.75$ (Ramírez-Wong y col., 1994).

En la Tabla 20 se muestra el análisis de correlación. Se puede observar que en total se encontraron 11 correlaciones significativas entre las características viscoelásticas de las masas y las otras determinaciones. De las 11 correlaciones encontradas, 9 fueron positivas y 2 negativas. De las 9 correlaciones positivas se tuvieron 3 correlaciones fuertes significativas a un nivel de $p < 0.01$ (NC-PRO, NC-GH y GH-PRO) y 6 correlaciones fuertes significativas a un nivel de $p < 0.05$ (G_0 -PRO, G_0 -GH, G_0 -NC, P/G-P/L, TD-HUM y GH-CEN). Las 2 correlaciones restantes fueron negativas fuertes significativas a un nivel de $p < 0.05$ (TREL-TD y G' -ABS). Todas las correlaciones que se encontraron fueron fuertes.

Tabla 20. Correlaciones simples (r) entre los parámetros viscoelásticos de las masas de harinas de trigos suaves y otras determinaciones físicas y químicas

Determinación	TREL	G ₀	Tan δ	G''	G'	P/G	P/L	W	TD	EST	ABS	NC	SED	GH	PRO	CEN	HUM
HUM ³	-0.982	0.627	-0.081	0.410	-0.664	0.760	0.570	0.831	0.975 ^{1*}	0.478	0.537	0.726	0.651	0.672	0.754	0.757	1
CEN ⁴	-0.796	0.895	-0.389	-0.518	-0.542	0.262	0.005	0.384	0.612	0.389	0.345	0.949	0.687	0.953 ^{1*}	0.948	1	
PRO ⁵	-0.735	0.981 ^{1*}	-0.083	-0.227	-0.304	0.160	-0.101	0.537	0.593	0.657	0.089	0.999 ^{2**}	0.880	0.991 ^{2**}	1		
GH ⁶	-0.665	0.957 ^{1*}	-0.144	-0.241	-0.269	0.056	-0.206	0.422	0.494	0.606	0.051	0.995 ^{2**}	0.844	1			
SED ⁷	-0.546	0.905	0.398	0.234	0.068	0.048	-0.168	0.714	0.508	0.936	-0.262	0.874	1				
NC ⁸	-0.710	0.986 ^{1*}	-0.096	-0.224	-0.286	0.122	-0.140	0.502	0.559	0.647	0.069	1					
ABS ⁹	-0.661	-0.090	-0.717	-0.906	-0.975 ^{1*}	0.819	0.785	0.141	0.626	-0.481	1						
EST ¹⁰	-0.325	0.709	0.695	0.540	0.332	-0.037	-0.188	0.740	0.371	1							
TD ¹¹	-0.959 ^{1*}	0.443	-0.067	-0.424	-0.711	0.879	0.733	0.844	1								
W ¹²	-0.718	0.457	0.472	0.126	-0.226	0.636	0.518	1									
P/L ¹³	-0.591	-0.280	-0.145	-0.450	-0.709	0.965 ^{1*}	1										
P/G ¹⁴	-0.781	-0.023	-0.195	-0.531	-0.801	1											
G ¹⁵	0.783	-0.129	0.725	0.928	1												
G'' ¹⁶	0.573	-0.088	0.928	1													
Tan δ ¹⁷	0.265	0.001	1														
G ₀ ¹⁸	-0.594	1															
TREL ¹⁹	1																

^{1*} = Significativo a un nivel de p=0.05 (p<0.05), ^{2**} = Significativo a un nivel de p=0.01 (p<0.01), ³HUM= Humedad, ⁴CEN= Ceniza, ⁵PRO= Proteína, ⁶GH= Gluten húmedo, ⁷SED= Sedimentación, ⁸NC= Número de caída, ⁹ABS= Absorción de agua, ¹⁰EST= Estabilidad, ¹¹TD= Tiempo de desarrollo, ¹²W= Fuerza General, ¹³P/L= Extensibilidad de la masa, ¹⁴P/G= Índice de hinchamiento de la masa, ¹⁵G= Módulo de almacenamiento, ¹⁶G''= Módulo de pérdida, ¹⁷Tan δ= Tangente del ángulo de fase, ¹⁸G₀= Esfuerzo máximo inicial, ¹⁹TREL= Tiempo de relajación

En éste trabajo se consideró analizar principalmente las correlaciones encontradas entre las características viscoelásticas evaluadas y las químicas y físicas, las cuales se seleccionaron y se presentan en la Tabla 21. Con respecto a la prueba de relajación del esfuerzo se encontraron 4 correlaciones fuertes significativas a un nivel de $p < 0.05$, de las cuales sólo se obtuvo una negativa en relación a TREL y 3 positivas referentes al G_0 . El TREL tuvo una correlación fuerte con el TD ($r = -0.959$), donde éste valor indica que a mayor tiempo de desarrollo se tiene menor TREL. Lo anterior se puede deber a que como el TD es el tiempo requerido para que se hidraten las proteínas, entonces este indica indirectamente un alto contenido proteico y por lo tanto mayor fuerza del gluten, por lo que al deformarse la respuesta sea casi inmediata probablemente por tener mayor parte elástica y en consecuencia el tiempo de relajación sea menor. Además el TD, se ve afectado por la humedad y el número de caída (almidón). La literatura reporta que el tiempo de desarrollo es directamente proporcional al contenido proteico y es función también de la humedad y la calidad de la proteína; además estos parámetros y la interacción de las proteínas con el almidón, influyen en las propiedades de relajación de las masas (Fu y col., 1997; Larsson y Eliasson, 1996; Li y col., 2003; Yadav y col., 2006; Gaines, 1991; Hou y col., 1996; Yakamamoto y col., 1996; Huebner y col., 1999; Carrillo y col., 1990; Chiotelli y col., 2004).

Posteriormente, a continuación se explican las tres correlaciones positivas fuertes a un nivel de $p < 0.05$ que presentó el esfuerzo máximo G_0 . El G_0 tuvo una correlación fuerte con PRO ($r = 0.984$), lo que indica que entre mayor fue el contenido de proteína mayor fue el G_0 . Esto podría deberse a que si se tiene mayor contenido de proteína la fuerza del gluten puede ser mayor y por lo tanto la masa tenga más parte elástica teniendo como respuesta un esfuerzo más alto al deformarse. Lo anterior concuerda con diversos investigadores que encontraron que el módulo de relajación se relaciona con el contenido de proteína y por consiguiente con las propiedades del gluten (Li y col., 2003; Huebner y col., 1999). La segunda correlación relacionada a G_0 fue con el GH ($r = 0.987$), a mayor contenido de gluten húmedo mayor es el valor de G_0 , lo cual se puede deber a que si se tiene mayor cantidad de gluten este ofrezca mayor oposición al deformarse y esto concuerda con la literatura (Li y col., 2003). Por último la tercera correlación positiva de G_0 fue con el NC ($r = 0.986$); a mayor número de caída mayor fue G_0 . Posiblemente la baja actividad amilolítica no intervenga en las uniones proteicas y además el almidón disponible para interactuar con las proteínas es alto, esto coincide con Larsson y Eliasson (1996), quienes encontraron que el módulo de relajación varía con las interacciones entre el almidón y el gluten.

Tabla 21. Correlaciones simples (r) entre parámetros viscoelásticos de la prueba de relajación del esfuerzo y método dinámico y otras determinaciones

Determinación	TREL ²	G ₀ ³	Tan δ ⁴	G'' ⁵	G' ⁶
PRO ⁷	-----	0.9841*	-----	-----	-----
GH ⁸	-----	0.9871*	-----	-----	-----
NC ⁹	-----	0.9861*	-----	-----	-----
ABS ¹⁰	-----	-----	-----	-----	-0.9751*
TD ¹¹	-0.9591*	-----	-----	-----	-----

*= Significativo a un nivel de p=0.05 (p<0.05), ²TREL= Tiempo de relajación, ³G₀= Esfuerzo máximo inicial, ⁴Tan δ= Tangente del ángulo de fase, ⁵G''= Módulo de pérdida, ⁶G'= Módulo de almacenamiento, ⁷PRO= Proteína, ⁸GH= Gluten húmedo, ⁹NC= Número de caída, ¹⁰ABS= Absorción de agua, ¹¹TD= Tiempo de desarrollo

Con respecto al método dinámico sólo se obtuvo una correlación negativa fuerte significativas a un nivel de $p < 0.05$. La única correlación encontrada se refiere al parámetro viscoelástico de G' (módulo de almacenamiento) con ABS ($r = -0.975$), mientras mayor sea el porcentaje de absorción de agua (ABS) menor será G' . Esto se puede deber a que un valor alto de ABS puede dar evidencia indirecta de tener un alto contenido de humedad, la cual se ha observado que afecta negativamente a G' (Faubion y Hosene, 1990).

Por otro lado de las correlaciones donde participan las pruebas viscoelásticas, se obtuvieron mayor cantidad de correlaciones con la prueba de relajación del esfuerzo que con el método dinámico en relación de 4 a 1, lo que pudiera indicar que la prueba de relajación del esfuerzo fue más sensible para medir las propiedades viscoelásticas de las masas que el método dinámico. Por las correlaciones que se obtuvieron se podría concluir que las propiedades viscoelásticas probablemente dependan de la cantidad y calidad de proteína, contenido de gluten y contenido de almidón. Como lo mencionan diversas investigaciones el contenido y tipo de proteína, las propiedades del gluten, la interacción proteína-proteína del gluten e interacciones gluten-almidón afectan las propiedades reológicas de las masas y su proceso de relajación (Fu y col., 1997; Larsson y Eliasson, 1996; Li y col., 2003; Peña y col., 2005; Chiotelli y col., 2004; Huebner y col., 1999).

En investigaciones anteriores se evaluaron las mismas características y factores en los mismos tipos de trigos mexicanos (grupo III), obteniendo a la variedad como principal factor que afectó las características de calidad de los trigos suaves y el factor de condiciones ambientales afectó en menor grado. En el presente trabajo el efecto en las pruebas de calidad fue el opuesto; es decir, las condiciones ambientales fue el factor principal, mientras que la variedad afectó en menor grado. Esto podría deberse a que en el presente estudio las condiciones a las que estuvo expuesto el grano en su desarrollo fueron distintas (temperatura, lluvia, luz, condiciones de labranza, fertilización) lo que afectó la calidad física y tecnológica del trigo (Carcea y col., 2006). La harina ahora analizada presentó valores más bajos de volumen de sedimentación (25.47 mL) probablemente por estar expuestos a una fertilización pobre y número de caída mayores pudiéndose deber a que estuvieron expuestos a menos condiciones de humedad o lluvias reduciendo la actividad de la α -amilasa por lo que probablemente el almidón, las uniones de las proteínas e interacción almidón-proteína no fueron alteradas causando que las muestras presentaran propiedades reológicas distintas (Larsson y Eliasson, 1996; Fu y col., 1997; Li

y col., 2003; Carcea y col., 2006). Otra causa por lo que cambio el efecto del estado pudiera deberse al número de muestras recolectadas y que ahora se obtuvieron de dos estados del Bajío y en la investigación anterior de los tres estados (Guanajuato, Michoacán y Jalisco).

El método de relajación del esfuerzo se considera que fue apropiado para caracterizar a las masas de trigo y probablemente las pequeñas diferencias y cantidad de correlaciones encontradas se deban a que a pesar de haber presentado diferencias en el contenido proteico, el intervalo del mismo entre las muestras fue reducido (10-12%, aproximadamente). Además podría deberse a que la fracción de gliadina y glutenina de bajo peso molecular es aproximadamente la misma en todas las muestras (70% gliadina y 30% glutenina de bajo peso molecular) (Huebner y col., 1999; Reporte interno no publicado, 2007). Huebner y col. (1999) observaron que un reducido intervalo de contenido de proteínas entre diferentes variedades procedentes de condiciones ambientales distintas causa que las diferencias sean pequeñas y los efectos de los factores decrezcan (Huebner y col., 1999). Además, las muestras evaluadas en éste trabajo eran de cuatro diferentes variedades (Barcenas, Cortazar, Salamanca y Saturno), se obtuvieron de dos condiciones ambientales distintas (Guanajuato y Michoacán) y, al mismo tiempo las muestras fueron obtenidas de regiones diferentes de cada estado donde probablemente mostraban condiciones ambientales propias, teniendo diferente número de muestras de trigo suave de cada variedad y estado de procedencia evaluados. Lo anterior concordó con la literatura que reporta que muestras de diferentes variedades procedentes de diversas condiciones ambientales y probablemente para múltiples destinos finales provocan que se obtengan pocas correlaciones; por lo que recomiendan tomar una sola variedad con suficiente número de muestras para obtener efectos mayores (Huebner y col., 1999).

CONCLUSIONES

1. Las condiciones ambientales fueron el principal factor que afectó a la mayoría de las evaluaciones realizadas a los trigos suaves mexicanos; es decir, la calidad de los trigos suaves esta determinada por las características extrínsecas más que por las características intrínsecas. De las evaluaciones que más afectaron las condiciones ambientales de donde provenían las muestras de trigos fueron el contenido de proteína, absorción de agua, contenido de gluten húmedo y esfuerzo máximo inicial, en orden de importancia. El trigo sembrado en el estado de Guanajuato tuvo los valores más altos en la composición química, calidad del gluten y características reológicas; mientras que presentó los valores más bajos en los parámetros viscoelásticos obtenidos aplicando la prueba de relajación del esfuerzo y método dinámico.
2. La variedad de trigo afectó en segundo término a las determinaciones de proteína, índice de hinchamiento, número de caída y absorción de agua; y fue el factor que más afectó al tiempo de relajación. En general las variedades Barcenas y Salamanca obtuvieron los valores más altos en diez de los diecisiete parámetros evaluados; destacándose por tener los esfuerzos máximos iniciales más grandes y los tiempos de relajación más cortos.
3. Las masas de las diferentes variedades de trigos suaves utilizadas presentaron un rango de tiempos de relajación de 0.33-0.41 seg, siendo menores de 1 seg. Por otro lado, las muestras evaluadas obtuvieron valores del esfuerzo máximo inicial en un intervalo de 462.4-510.4 Pa. En este caso el esfuerzo máximo inicial fue más significativo que el tiempo de relajación.
4. El módulo de almacenamiento y el módulo de pérdida de las masas fueron dependientes de la frecuencia, ya que incrementan sus valores. Se observó que la magnitud del módulo de almacenamiento fue mayor que el valor del módulo de pérdida, la tangente del ángulo de fase (0.562) muestra que en la masa ligeramente predominó la parte viscosa sobre la parte elástica, lo cual es una característica de los trigos suaves.

5. Las propiedades viscoelásticas de las masas tuvieron 4 correlaciones fuertes con la prueba de relajación del esfuerzo y las cuales fueron: TREL-TD, G_0 -PRO, G_0 -GH y G_0 -NC. Mientras que con el método dinámico se obtuvo únicamente una correlación fuerte: G' -ABS. Esto podría indicar que las propiedades viscoelásticas probablemente dependan de la cantidad y calidad de proteína, contenido de gluten y contenido de almidón.
6. La prueba de relajación del esfuerzo logró una mejor diferenciación y caracterización de las masas de trigo suave, es un método adecuado, sencillo y rápido de realizar. Ayuda a revelar el factor (variedad o condiciones ambientales) más importante que influye en las propiedades viscoelásticas de las masas, lo que probablemente las hace específicas en su uso final. En este caso el parámetro esfuerzo máximo inicial fue más significativo que el tiempo de relajación.
7. Se encontraron diferencias en las variedades de trigos suaves mexicanos lo cual pudiera ser información para productos finales particulares.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con la caracterización de los trigos suaves mexicanos aplicando la prueba de relajación del esfuerzo y buscar nuevos parámetros de calidad que correlacionen con las características viscoelásticas de sus masas, logrando obtener mayor información de las mismas y de la relación con sus parámetros de calidad y los parámetros de calidad propios de los productos específicos elaborados a partir de ellas. Con lo anterior se pudiera lograr una mejor comprensión de las propiedades viscoelásticas de las masas y su relación con la especificidad de sus productos.
2. Aplicar técnicas para determinar las proporciones de las subunidades de gliadinas y gluteninas presentes en sus harinas. Por las particularidades de los trigos suaves mexicanos evaluados, probablemente las diferencias en las proporciones de subunidades de proteína sean mayores a las mostradas por el contenido proteico, pudiéndose encontrar mayores correlaciones entre los parámetros de calidad de la harina y factores evaluados, logrando una mejor caracterización viscoelástica de las masas.
3. Evaluar la influencia del tipo y contenido de almidón presente en las harinas de trigo suave y la relación almidón-gluten sobre las propiedades viscoelásticas de las masas y las características de los productos obtenidos a partir de sus harinas. Esto debido a que se observó que el almidón es el segundo parámetro principal de calidad que influye en las propiedades reológicas de las masas de trigos suaves.
4. Seleccionar una variedad procedente de cierta condición ambiental y elaborar productos con ella, como galletas dulces y pasteles. Con esto se logrará deducir cuales son las características de calidad de la harina aptas para elaborar productos finales específicos ya que una harina que es ideal para un producto final no lo es para otro, lo que sería adecuado realizar por no tener estándares de calidad establecidos para la elaboración de ciertos productos finales.

LISTA DE REFERENCIAS

- A.A.C.C. 2000. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10a. Edición. St. Paul, Minnesota. Am. Assoc. Cereal Chemists.
- Apodaca Leal Dolores Antonia. 2005. Tesis de licenciatura: "Calidad Reológica y de Panificación de Harinas de Diferentes Variedades de Trigos Mexicanos del Ciclo Agrícola 2003-2004".
- Bagley, E. B. and Christianson, D. D. 1986. Response of Chemically Leavened Doughs to Uniaxial Compression. Pp: 27-36 in: Fundamentals of Dough Rheology. Faridi, H. and Faubion, J. Eds Am. Assoc. Cereal Chem: St. Paul, MN.
- Berland, S. and Launay, B. 1994. Rheological Properties of Wheat Flour Doughs in Steady and Dynamic Shear: Effect of Water Content and Some Additives. Cereal Chem. 72(1):48-52.
- Bloksma, A. H., 1990. Dough Structure, Dough Rheology, and Baking Quality. Cereal Foods World. 35:237-245.
- Bloksma, A. H. and Bushuk, W. 1988. Rheology and Chemistry of Dough. In Wheat: Chemistry and Technology, 3^a ed. Pomeranz, Y., ed Am. Assoc. Cereal Chem: St Paul, MN.
- Blumenthal, C., Batey, I. L.; Bekes, F.; Wrigley, C. W. and Barlow, E. W. R. 1990a. Gliadin Genes Contain Heat-Shock Elements: Possible Relevance to Heat-induced Changes in Grain Quality. J. Cereal Sci. 11:185-187.
- Blumenthal, C.; Batey, I. L.; Wrigley, C. W. and Barlow, E. W. R. 1990b. Involvement of a Novel Peptide in the Heat shock Response of Australian Wheats. Aust. J. Plant Physiol. 17: 441-449.
- Blumenthal, C.; Batey, I. L.; Bekes, F.; Wrigley, C. W. and Barlow, E. W. R.. 1991. Seasonal Changes in Wheat Grain Quality Associated with High Temperatures During Grain Filling. Aust. J. Agr. Res. 42: 21-30.
- Blumenthal, C.; Wrigley, C. W.; I. L. Batey, and E. W. R. Barlow. 1994. The Heatshock Response Relevant to Molecular and Structural Changes in Wheat. Yield and Quality. Aust. J. Plant Physiol. 21: 901-909.

- Bozzini, A. 1988. Origin, Distribution, and Production of Durum Wheat in the World. Cap. 1. En: Durum Wheat: Chemistry and Technology. G. Fabriani y C. Lintas. Eds. Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul, Minnesota (U.S.A.). 332pp.
- Briggle, L.W and Curtis, B.C..1987. Wheat Worldwide. Cap. 1 En: Wheat and Wheat Improvement. 2nd. Ed. E.G. Heyne. Editor. Madison, Wisconsin (U.S.A.). 765pp.
- Bushuk, W. 1985. Rheology: Theory and Application to Wheat Flour Doughs. In Rheology of Wheat Products, editado por H. Faridi,. St. Paul. Minnesota.Am. Assoc. Cereal Chemists. Cap. 1.
- Carcea, M.; Salvatorelli, S.; Turfany Valeria and Mellara F. 2006. Influence of Growing Conditions on the Technological Performance of Bread Wheat (*Triticum aestivum L.*) International Journal of Food and Science and Technology. 41(2):102-107.
- Carter, B. P.; Morris, C. F. and Anderson, J. A. 1999. Optimizing the SDS Sedimentation Test for End-Use Quality Selection in a Soft White and Club Wheat Breeding Program. Cereal Chem. 76(6):907-911.
- Carrillo, J. M.; Rousset, M.; Qualest, C. O. and Kasarda, D. D. 1990. Use of Recombinant Inbred Lines of Wheat for Study of Associations of High-molecular-weight Glutenin Subunit alleles to Quantitative Traits, Theor. Appl. Genet. 79:321-330.
- Chiotelli, E. Rolée, A. And Le Meste, M. 2004. Rheological Properties of Soft Wheat Flour Doughs: Effect of Salt and Triglycerides. Cereal Chem. 81(4): 459-468.
- Dengate, H. N. 1984. Swelling, Pasting and Gelling of Wheat Starch. Pp 49-82 en: Advances in Cereal science and Technology, Vol. VI. Pomeranz, Y., ed., Am Assoc. Cereal Chem: St Paul, MN.
- Duffus, C. y Slaughter C. 1985. Las Semillas y sus Usos. Editor AGT, S. A. México. Pp. 28, 29, 57-61, 11-114 y 143-152.
- Echeverria, HE y Studdert, GA. 1998. El Contenido de Nitrógeno en la Hoja Bandera de Trigo como Predictivo del Incremento de Proteína en Grano por Aplicaciones de Nitrógeno en Espigazón. Rev. Fac. Agron. La Plata. 103:27-36.

- Eckert, B.; Amend, T. and Belitz, H.D. 1993. The Course of the SDS and Zeleny Sedimentation Test for Gluten Quality and Related Phenomena Studied using the Light Microscopic. *Z. Lebensm Unters Forsch* 196:122-125.
- Edwards, N. M.; Peressini, D; Dexter, J. E. and Mulvaney, S. J. 2001. Viscoelastic Properties of Durum Wheat and Common Wheat Dough of Different Strengths. *Reological Acta*. 40(2): 142-153.
- Faridi, H and Finney, J. W. 1989. Improved Wheat for Baking. *CRC Critical Reviews of Food Science and Nutrition* 228: 175-209.
- Farrand, E. A. 1969. Starch Damage and α -amilase as bases for Mathematical Models Relating to four Water-Absortion. *Cereal Chem*. 46:103-116.
- Faubion, J. M., Dreese, P. C. and Diehl, K.C. 1985. Dynamic Rheological Testing on Wheat Flour Doughs. In *Rheology of Wheat Products*, editado por H. Faridi. St. Paul, Minnesota. Am. Assoc. Cereal Chemists. Pp. 9116.
- Faubion, J. M. and Hosoney, R. C. 1990. The Viscoelastic Properties of Wheat Flour Doughs. In *Dough Rheology and Baked Product Texture*, editado por H. Faridi y J.M. Faubion. New York. Van Nostrand Reinhold. Pp. 42-62.
- Finney, K. F.; Yamazaki W. T.; Youngs, V. L. and Rubenthaler, G. L.. 1987. Quality of Hard, Soft, and Durum Wheats. Cap. 10. En *Wheat and wheat improvement*, 2nd. Ed. E.G. Heyne Editor. Madison, Wisconsin (U.S.A.) 765pp.
- Finney, P. L. 1989. Soft What: View from the Eastern United States. *Cereal Foods Woerld*. 34:682-687.
- Fu, J.; Mulvaney, S. J. and Cohen, C. 1997. Effect of Added Fat on the Rheological Properties of Wheat Flour Doughs. *Cereal. Chem* 74(3):304-311.
- Gaines, C. S. 1991. Associations Among Quality Attrubutes of Red and White Soft Wheat Cultivars Across Locations and Crop Years. *Cereal Chem*. 68(1):56-59.
- Garcia del Moral, L. F.; Rharrabti, Y.; Martos, V. and Royo, C. 2007. Environmentally Induced Changes en Amino Acid Composition in the Grain of Durum Wheat Grown under Different Water and Temperature Regimes in a Mediterranean Enviroment. *J. Agric. Food Chem*. En prensa.

- Georgopoulos, T.; Larsson, H. and Eliasson, A. C. 2006. Influence of Native Lipids on the Rheological Properties of Wheat Flour Dough and Gluten *Journal of Texture Studies*. 37(1):49.
- Guo-qin, L.; Lin, Li.; Jie, C.; Qi-yu, L. and Wei-li, L.. 2006. The Correlation Between Gluten Protein Composition and Rheological Properties of Wheat Dough. *Journal of Shaanxi University of Science and Technology (Natural Science Edition)*.
- Goodwin, J. W. and Hughes, R. W. 2000. *Rheology for Chemists: An Introduction*. Cambridge. The Royal Society of Chemistry. Pp. 121-125.
- Grayboschh, R. A.; Peterson, C. J.; Shelton, D. R. and Baenziger, P.S. 1995. Environmental Modification of Hard Red Winter Wheat Flour Protein Composition. *Journal of Cereal Science* 22: 45-51.
- Haneklaus, S.; Evans, E. and Schnug, E. 1992. Baking Quality and Sulphur Content of Wheat. I. Influence of Grain Sulphur and Protein Concentrations on Loaf Volume. *Sulphur in Agriculture*. 16:31-34
- Haglund, Å.; Johansson, L. and Dahlstedt, L. 1998. Sensory Evaluation of Wholemeal Bread from Ecologically and Conventionally Grown Wheat. *Journal of Cereal Science*. 27:199-207.
- Hibberd, G. E. 1970. Dynamic Viscoelastic Behavior of Wheat Flour Doughs. Part III: The influence of the starch granules. *Rheol. Acta* 9:501-505.
- Hibberd, G. E., and Wallace, W. J. 1966. Dynamic Viscoelastic Behavior of Wheat Flour Doughs. Part I: Linear aspects. *Rheol. Acta* 5:193-198.
- Hou, G.; Yamamoto, H. and NG, P. K. W. 1996. Relationships of Quantity of Gliadin Subgroups of Selected U.S. Soft Wheat Flours to Rheological and Baking Properties. *Cereal Chem.* 73(3):352-357.
- Hoseney, R. C. 1991. *Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales*. Zaragoza, España. Editorial Acribia, S. A. Pp. 1-16, 74-79, 87-106, 131-146 y 239-265.
- Hoseney, R. C. 1994. *Principles of Cereal Science and Technology*. 2a. Edición. St. Paul, Minnesota. Am. Assoc. Cereal Chemists.

- Huebner, F. R.; Bietz, J. A.; Nelson, T.; Bains, G. S. and Finney, P. L. 1999. Soft Wheat Quality as Related to Protein Composition. *Cereal Chem.* 76(5):650-655.
- Janssen, A. 1992. A Study of Factors Determining Bread Making Performance. PhD thesis. Wageningen Agricultural University: The Netherlands.
- Keehan, D.; Gallagher, E.; Gormely, T. R. and Butler, F. 2004. Evaluating the baking potential of organic flours (in italian). *Tecnica Molitoria.* 55:151-153.
- Kibite, S., and Evans; L. E.. 1984. Causes of the Negative Correlations Between Grain Yield and Grain Protein Concentration in Common Wheat. *Euphytica* 33:801-810.
- Larsson, H. and Eliasson, C. 1996. Phase Separation of Wheat Flour Dough Studied by Ultracentrifugation and Stress Relaxation. I. Influence of Water Content. *Cereal Chem.* 73(1):18-24.
- Larsson, H. and Eliasson, C. 1997. Influence of Starch Granule Surface on the Rheological Behavior of Wheat Flour Dough. *Cereal Chem.* 28(5):487-501.
- Lee, C. C. and Mulvaney S. J. 2003. Dynamic Viscoelastic and Tensile Properties of Gluten and Glutenin Gels of Common Wheats of Different Strength. *J. Agric. Food Chem.*, 51 (8): 2317 -2327.
- Li, W; Dobraszczyk, B. J., and Schofield, J. D. 2003. Stress Relaxation Behavior of Wheat Dough, Gluten, and Gluten Protein Fractions. *Cereal Chem.* 80(3):333-338.
- Lindborg, K. M. 1995. Rheological Studies of Wheat Flours Doughs: The Development of Structure During Mixing. PhD thesis. University of Lund: Sweden.
- Loochhart G.L. and Finney, K.F.. 1984. Polyacrylamide Electroforesis of Wheat Gliadins: The Effect of Environment and Germination. *Cereal Chemistry* 61: 496-499.
- Magaña Barajas Elisa. 2005. Tesis de licenciatura: "Caracterización del Comportamiento Viscoelástico de Masas Elaboradas con Harinas de Variedades de Trigos Suaves (*Triticum Aestivum*) Mexicanos".

- Masi, D.; Cavella, S. and Sepe, M. 1998. Characterization of Dynamic Viscoelastic Behavior of Wheat Flour Doughs at Different Moisture Contents. *Cereal Chem.* 75(4):428-432.
- Mellado Z. Mario. 2001. Mejoramiento de Trigos Harineros (*Triticum aestivum* L.) en la Zona Centro Sur de Chile. III. Contenido y Producción de Proteína y Volumen de Sedimentación en Trigos INvernales, Alternativos y Primaverales. *Agricultura Técnica.* 61:120-128.
- Menjívar, J. A. 1990. Fundamental aspects of dough rheology. In *Dough Rheology and Baked Product Texture*, editado por H. Faridi y J. M. Faubion. Nueva York. V an Nostrand Reinhold. Pp. 1-14.
- Miller, K. A. and Hosoney, R. C. 1999. Dynamic Rheological Properties of Wheat-Starch-Gluten Doughs. *Cereal Chem.* 76(1): 105-109.
- Mita, T. and Matsumoto, H. 1981. Flow Properties of Aqueous Gluten and Gluten Methyl Ester Dispersions. *Cereal Chem.* 58:57-61.
- Mohsenin, Nuri N. 1978. *Physical Properties of Plant and Animals Materials: Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties.* Gordon and Breach Science Publishers. New York. Pp: 99, 114-116, 123-143.
- Morris, C. F.; Shackley, B. J.; King, G. E. and Kidwell, K. K. 1997. Genotypic and Enviromental Variation for Flour Swelling Volume in Wheat. *Cereal Chem.* 74(1):16-21.
- Muller, H. G. 1977. *Introducción a la Reología de los Alimentos.* Zaragoza España. Editorial Acribia. Pp: 14-27, 42-46, 74-76, 119-125, 131 y 136-144.
- Navickis, L. L., Anderson, R. A., Bagley, E. B. and Jasberg, B. K. 1982. Viscoelastic Properties of Wheat Flour Doughs: Variation of Dynamic Moduli with Water and Protein Content. *J. Texture Stud.* 13:249-264.
- Norma Oficial Mexicana NOM-EF-36-1984.
- Papakosta, D. K. and Gagianas, A. A. 1991. Nitrogen and Dry Matter Accumulation, Remobilization, and Losses of Mediterranean Wheat During Grain Filling. *Agronomy Journal, Madison.* 83:864-870.

- Peña, E.; Bernardo, A.; Soler, C. and Jouve, N. 2005. Relationship Between Common Wheat (*Triticum aestivum* L.) Gluten Proteins and Dough Rheological Properties. *Journal Euphytica*. 143:169-177.
- Peterson, C. J.; Graybosch, R. A.; Shelton, D. R. and Baenziger, P. S. 1998. Baking Quality of Hard Winter Wheat: Response of Cultivars to Environment in the Great Plains. En: *Wheat Prospects for Global Improvement*. H.J. Braun et al. Eds. Kluwer Academic Publishers.
- Puppo, M. C.; Calvelo, A. and Anon, M. C. 2005. Physicochemical and Rheological Characterization of Wheat Flour Dough. *Cereal Chem.* 82(2):173-181.
- Pomeranz, Y. 1988. *Wheat Chemistry and Technology* American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA.
- Quaglia, G. 1991. *Ciencia y Tecnología de la Panificación*. Editorial Acribia. Pp. 31-36 y 51.
- Ramírez-Wong, B., Sweat, V.E., Torres, P.I. and Rooney, L.W. 1994. Cooking Time, Grinding, and Moisture Content Effect on Fresh Corn Masa Texture. *Cereal Chem.* 71:337-343.
- Ramírez-Wong, B. 2005. *Notas del curso de Fisicoquímica y Reología de Alimentos*. Semestre 2005-02. DIPA. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora, México.
- Randall, P. J. and Moss, H.J.. 1990. Some Effects of Temperature Regime During Grain Filling on Wheat Quality. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 603-617.
- Rao, M. A. 1999. *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*. Gaithersburg, Maryland. Aspen. Pp. 1-19, 127-134.
- Rao, V. K., Mulvaney, S. J. and Dexter, J. E. 2000. Rheological Characterisation of Long and Short-Mixing Flour Based on Stress Relaxation. *J. Cereal Sci.* 39:159-171.
- Safari-Ardi, M.; Phan-Thien, N. and Oliver, J. 1997. Stress Relaxation Measurements of Wheat Flour Doughs at varying Shear Strains. En: Safari-Ardi, M., and Phan-Thien, N. 1998. Stress Relaxation an Oscillatory Test to Distinguish Between Dough Prepared from Wheat Flours of Different Varietal Origin. *Cereal Chem.* 75(1):80-84.

- Safari-Ardi, M. and Phan-Thien, N. 1998. Stress Relaxation an Oscillatory Test to Distinguish Between Dough Prepared from Wheat Flours if Different Varietal Origin. *Cereal Chem.* 75(1):80-84.
- Santos, D. M. J.; Monteiro, S. R. and Lopes da Silva, J. A. 2004. Small Strain Viscoelastic Behaviour of Wheat Gluten – Pentosan Mixtures. *European Food Research and Technology.* 221(3-4): 398-405.
- Serna-Saldivar, S. O. 1996. *Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales.* A.G.T. Editor, S.A. Pp. 3, 4, 36, 49, 84-89, 185-193 y 229-264.
- Smith, J. R.; Smith, T. L. and Tschoegl, N. W. 1970. Rheological Properties of Wheat Flour Doughs. III. Dynamic Shear Modulus and its Dependence on Amplitude, Frequency, and Dough Composition. *Rheol. Acta* 9:239-252.
- Steffe, J. F; Ph. D. and P. E. 1996. *Rehological Methods in Food Process Engineering.* 2ª ed. Freeman Press. USA. Pp: 294-348.
- Terman, G. L. 1979. Yields and Protein Content of Wheat Grain as Affected by Cultivar, N, and Environmental Growth Factors. *Agron. J.* 71:437-440.
- Tortosa, M. 1982. *Cereales.* En *Química Agrícola III: Alimentos*, editado por Primo. Y. Alhambra. Pp28-31, 45, 46 y 52.
- Tripples, K. H.; Meredith, J. O. and Holas, J. 1978. Factors Affetcing Farinograph and Baking Absorption. II. Relative Influence of Flours Components. *Cereal Chem.* 55:652-660.
- Unbehend, Lj.; Unbehend, G. and Kersting H. J. 2004. Rheological Properties of Some Croatian and German Wheat Varieties and Their Relation to Protein Composition. *CODEN ACALDI del alimentaria del acta (aliment.).* 33(1): 19-29.
- U.S. Wheat Associates. *Crop Quality Reports 2002-2006.* U.S. Wheat Associates: Whashington, DC.
- Uthayakumar, S., Beasley, H. L., Stoddard, F. L., Keentkot, M., Patien, N., Tanner, R. I. and Bekers, F. 2002. Synergistic and Aditive Effect of Three High Molecular Weight Glutenin Subunit Loc. I. Effect on Dough Rheology. *Cereal Chem.* 79:294-230.

- Villar, Jorge. 2006. Factores Ambientales Relacionados con la Productividad del Trigo en las Campañas 2004 y 2005 en el Centro de Santa Fé. En Información técnica de cultivos de trigo Campaña 2006 Publ. Misc. N°105. INTA EEA Rafaela. Pp 11-19.
- Villar, J. y Astegno, E. 2004. Evolución de Algunos Parámetros Climáticos Durante las Campañas Trigueras 2002-2003 como Condicionantes de los Rendimientos. En Información Técnica de Cultivos de Trigo Campaña 2004 Publ. Misc. N°103. INTA EEA Rafaela. Pp 8-14.
- Wardlaw I. F. and Wrigley, C. W.. 1994. Heat Tolerance in Temperate Cereals: an Overview. Australian Journal of Plant Physiology 21: 695-703.
- White, G. W. 1970. Rheology in Food research. J. Food Technol. 5:1-32.
- Wikström, K. and Eliasson, A. Effects of Enzymes and Oxidizing Agents on Shear Stress Relaxation of Wheat Flour Dough: Additions of Protease, Glucose Oxidase, Ascorbic Acid, and Potassium Bromate. Cereal Chem. 75(3):331-337.
- Yadav, N.; Roopa, B. S. and Bhattacharya, S. 2005. Viscoelasticity of a Simulated Polymer and Comparison with Chickpea Flour Doughs. Journal of Food Science. 70(4):273.
- Yakamamoto, H.; Worthington, S. T.; Hou, G. and NG, P. K. W. 1996. Rheological Properties and Baking Qualities of Selected Soft Wheats Grown in the United States. Cereal Chem 73(2):215-221.
- Zhao, F. J.; Salmon, S. E.; Whifers, P. J.A.; Monaghan, J. M.; Evans, E. J.; Shewry, P. R. and McGrant. 1999. Variation in the Breadmaking Quality and Rheological Properties of Wheat in Relation to Sulphur Nutrition under field Condition. J. Cereal Sci. 30: 19-31.
- Zdzislaw, E. Sokorski. 2001. Chemical and Fuctional Properties of Food Proteins. Techomic Publishing CO., INC. U.S.A. Pp 72-97, 141-153 y 383-388.

ANEXOS

ANEXO A

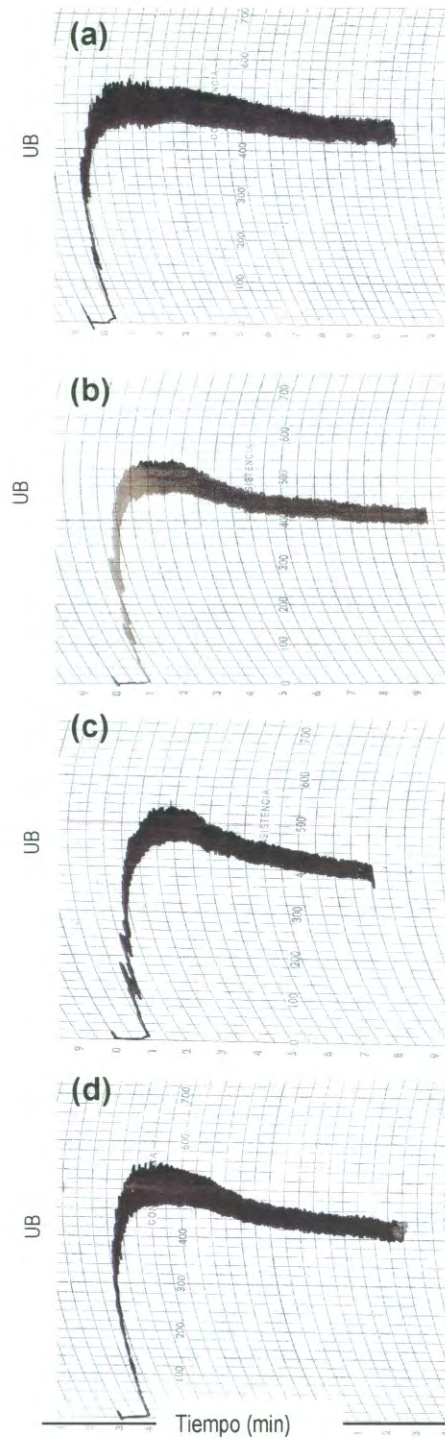


Fig. A-1. Farinogramas de las muestras de las variedades (a)Barcenas, (b)Cortazar, (c)Salamanca y (d)Saturno

ANEXO B

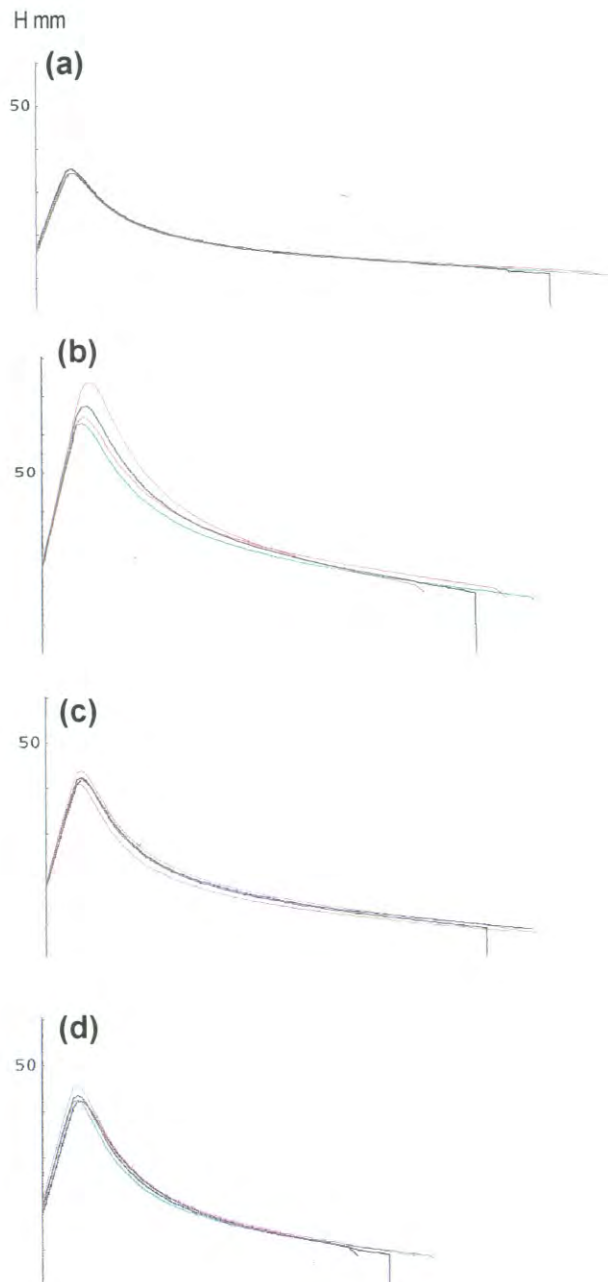


Fig. B-1. Alveogramas de las muestras de las variedades (a)Barcenas, (b)Cortazar, (c)Salamanca y (d)Saturno