



EL SABER DE MIS HIJOS  
HARÁ 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**

**Relación del Diámetro de la Galleta con las Características  
Físicas, Químicas y Reológicas de las Harinas de Trigo Suave,  
Fuerte y una Mezcla de Ambas**

**TESIS**

**Que para obtener el Grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**Presenta:**

***José Roberto Huerta Hernández***

# 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

## INDICE DE CONTENIDO

	Pág
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
REVISION DE LITERATURA.....	5
Definición de Galletas.....	5
Características Funcionales de la Harina para Galleta.....	5
Análisis Físico y Químico de las Harinas para Galleta.....	6
Contenido de Humedad de la Harina.....	6
Contenido de Proteínas.....	7
Contenido de Cenizas.....	7
Lípidos de la Harina.....	9
Tamaño de Partícula de la Harina.....	10
Capacidad de Retención de Agua Alcalina (CRAA).....	11
Número de Caída.....	12
Contenido de Gluten.....	12
Funcionalidad de los Ingredientes de la Formulación.....	14
Azúcar.....	14
Tamaño de Partícula del Azúcar.....	15
Manteca.....	15
Leudantes.....	16
Pruebas Reológicas en la Masa para Galleta.....	17
Farinógrafo.....	17
Alveógrafo.....	19
Prueba de la Compresión Uniaxial con Lubricación.....	20

Prueba de Horneado de la Galleta.....	22
Tiempo en que se Fija la Estructura de la Galleta.....	23
Factor de Expansión.....	24
MATERIALES Y METODOS.....	26
Materias Primas.....	26
Acondicionamiento.....	26
Proceso de Obtención de las Harinas de Trigo.....	26
Análisis Físico de las Harinas.....	26
Análisis Químico de las Harinas.....	27
Análisis Fisicoquímico de las Harinas.....	27
Análisis Reológico.....	27
Farinogramas.....	27
Alveogramas.....	28
Compresión Uniaxial con Lubricación.....	27
Preparación de las Masas.....	27
Moldeo de las Masas.....	28
Medición de la Viscosidad Extensional Biaxial.....	29
Prueba de Horneado de la Galleta.....	30
Elaboración de la Galleta.....	30
Evaluación de la Galleta.....	31
Diseño Experimental y Análisis de Datos.....	31
Análisis de Regresión.....	32
RESULTADOS Y DISCUSION.....	34
Análisis Físico de las Harinas.....	34
Tamaño de Partícula de la Harina.....	34
Análisis Químico de las Harinas.....	36
Humedad.....	36
Cenizas.....	36
Proteína.....	39
Contenido de Gluten.....	41



Análisis Fisicoquímico de las Harinas.....	45
Capacidad de Retención de Agua Alcalina.....	45
Número de Caída.....	47
Análisis Reológico.....	48
Farinogramas.....	48
Alveogramas.....	50
Compresión Uniaxial con Lubricación.....	52
Prueba de Horneado de la Galleta.....	58
Correlaciones simples.....	64
Análisis de Regresión.....	64
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS.....	70

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
1	Tipos de trigo y requerimientos de proteína para elaborar productos específicos.....	8
2	Diseño de Experimento Completamente al Azar .....	33
3	Distribución del tamaño de partícula de las diferentes harinas de trigo.....	35
4	Contenido de humedad, cenizas y proteína de las harinas de trigo.....	37
5	Contenido de gluten seco, gluten húmedo de las harinas de trigo.....	42
6	Capacidad de retención de agua alcalina (CRAA) y número de caída de las harinas de trigo.....	46
7	Propiedades reológicas de las masas de harina de trigo medidas con el farinógrafo.....	49
8	Propiedades reológicas de las masas de harina de trigo obtenidas con el alveógrafo.....	51
9	Viscosidad extensional biaxial de las masas de harina de trigo para galleta.....	55
10	Diámetro, grosor y factor galletero de las galletas elaboradas con las masas de las harinas de trigo.....	61
11	Correlaciones simples entre el diámetro de la galleta con las propiedades físicas, químicas y reológicas de las harinas de trigo.....	65

12	Análisis de regresión por pasos para las diferentes harinas de Trigo.....	67
----	---	----

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Contenido de cenizas de las harinas y su relación con el diámetro de la galleta .....	38
2	Contenido de proteína de las harinas y su relación con el diámetro de la galleta.....	40
3	Contenido de gluten seco de las harinas y su relación con el diámetro de la galleta.....	44
4	Viscosidad extensional biaxial de las masas de harina de trigo para galleta contra la velocidad de deformación radial.....	53
5	Viscosidad extensional biaxial de las masas de harina y su relación con el diámetro de la galleta.....	56
6	Tipo de harina de trigo utilizada en la elaboración de galletas y el diámetro obtenido.....	60
7	Evaluación del diámetro de las galletas elaboradas de las masas de harinas de trigo .....	62
8	Evaluación del grosor de las galletas elaboradas con las masas de harinas de trigo.....	63



## RESUMEN

El propósito de este trabajo fue evaluar física, química y reológicamente a las harinas de trigo suave, fuerte y su mezcla y relacionar sus parámetros con el diámetro de la galleta y obtener las variables respuestas que definan la calidad de la galleta elaborada con la mezclas de harinas. El diámetro depende de la calidad de la harina empleada en la elaboración de las galletas. Se encontró, que las pruebas importantes en la evaluación de la calidad de la harina para galleta fueron: el contenido de proteína, extensibilidad y la viscosidad extensional biaxial de la masa.

La harina de trigo suave presentó el mejor diámetro en la galleta, sin embargo, el diámetro obtenido con la mezcla de harinas que contiene trigo fuerte fue similar al obtenido con la harina de trigo suave. De acuerdo a lo anterior, es recomendable utilizar mezclas con harina de trigo fuerte para obtener una galleta con características similares a las elaboradas con harina de trigo suave.

El valor de la viscosidad extensional biaxial de las masas para galleta hechas de harina de trigo suave fue de  $2.68 \times 10^6 \pm 1.05 \times 10^4$  Pa. s en comparación con  $3.25 \times 10^6 \pm 1.01 \times 10^5$  Pa. s para la mezcla de harinas y  $5.19 \times 10^6 \pm 3.52 \times 10^5$  Pa. s para la masa hecha con harina de trigo fuerte. Se observó que el diámetro de la galleta correlaciona negativamente con la viscosidad extensional biaxial de la masa.

La técnica de compresión uniaxial con lubricación fue capaz de diferenciar entre las masas para galletas hechas de diferentes tipos de harinas. Además, de ser un método simple y apropiado para medir diferencias en la viscosidad de la masa y puede ser útil para predecir el comportamiento del diámetro de la galleta durante el horneado. El diámetro de la galleta presentó una correlación negativa con el contenido de proteína, contenido de cenizas, contenido de gluten, el número de caída, tenacidad, trabajo de deformación, la absorción de agua y la viscosidad extensional biaxial de la masa.

## INTRODUCCION

El trigo es uno de los cultivos más importantes en el mundo, junto con el maíz y el arroz (Pomeranz, 1988), se cosechan 618.8 millones de toneladas anualmente. En México, se cosechan aproximadamente 3 millones de toneladas, siendo los principales estados productores en el ciclo Primavera-Verano: Tlaxcala y el Estado de México; y en el Ciclo Otoño-Invierno son: Sonora, Baja California, Guanajuato, Jalisco y Sinaloa (FAO, 2005).

Aunque el trigo se produce en casi todo el país, los estados de la región Noroeste de México (Sonora, Sinaloa y Baja California) aportaron durante el ciclo Otoño-Invierno año 2006 alrededor del 57% de la producción nacional (incluida la producción de trigo cristalino y panadero) en superficie de riego. Los Estados de Guanajuato, Michoacán y Jalisco contribuyen con el 15% de la producción nacional (trigo suave y panadero). Entre los seis estados aportan el 73% de la producción nacional de trigo (SAGARPA, 2006).

En México, los trigos mexicanos son clasificados en base a la funcionalidad del gluten, en cinco grupos. El grupo I cuyo gluten es fuerte y elástico apto para la industria mecanizada de panificación, utilizados para mejorar la calidad del trigo débil, el grupo II tiene un gluten medio fuerte apto para la industria artesanal de panificación, el grupo III tiene un gluten débil o suave pero extensible, apto para la industria galletera, el grupo IV se utiliza para mejorar las propiedades reológicas de trigos tenaces y el grupo V es de gluten corto y tenaz, apto para la industria de pastas y sopas (Serna, 1996).

Los productos elaborados con harinas de trigo del grupo III (trigo suave) son: galletas, pasteles, saladas y pretzels. Las harinas de trigo suave utilizadas para elaborar galletas deben tener un bajo contenido de proteína (8.5 – 9.0%), menor granulometría y un bajo contenido de cenizas. La harina de trigo suave absorbe menos agua, requiere menos tiempo de amasado, posee un gluten débil y



una baja resistencia a la deformación, estas son las características deseables en las harinas para galletas (Serna, 1996; Pedersen *et al.*, 2004). Las pruebas físicas y químicas para evaluar la calidad de las harinas de trigo suave son: contenido de humedad, cenizas, proteína, viscosidad de la masa, capacidad de retención de agua alcalina y el factor de expansión (Pomeranz, 1988).

Las galletas son clasificadas en función de la consistencia de la masa quien determina el método de formación de la pieza (ya sea; moldeo rotatorio, corte de alambre o deposito), del enriquecimiento con grasa y azúcar o por nombre (galleta salada y dulce) (Manley, 2000).

Las harinas para la elaboración de galletas dulces se prefieren con una baja absorción de agua, bajo contenido de proteína y un gluten débil (Serna, 1996). Muchos productos de galletería son elaborados con trigos suaves y fuertes cuyos contenidos de proteína oscilan entre un 9 a un 11% (Pomeranz, 1988). Los trigos fuertes se caracterizan por tener un alto contenido de proteínas, lo cual los hace aptos para la panificación. En muchas ocasiones los cambios ambientales y prácticas de siembra afectan significativamente el contenido proteico del trigo limitando su uso en panificación. Bajo este panorama, los trigos fuertes con bajo contenido de proteína pueden ser usados para la elaboración de galletas o ser usados en mezclas con trigos suaves para obtener un producto específico según lo demande el mercado (Pomeranz, 1988; Almond, 1988; Manley, 2000).

Es importante conocer si el contenido de proteína es el que define la calidad de una harina para galleta o existe otro parámetro determinante. Además, del contenido de proteína otra prueba de gran importancia la cual refleja la calidad de una harina para galleta es la prueba de horneado. La prueba del horneado es la mejor técnica empleada para determinar la calidad de una harina para galleta. Sin embargo, el horneado de la galleta implica tiempo, requiere equipo especializado y personal entrenado (Gaines, 1985; Miller y Hosenev, 1997a).

El diámetro de la galleta esta en función de la velocidad de expansión de la masa y el tiempo en que cual se fija la estructura de la galleta. Debido a que todas

las galletas expanden al mismo tiempo durante el horneado, la velocidad de expansión se incrementa más rápido en galletas elaboradas con harina de buena calidad (Abboud, 1983). Debido a que la gravedad y la cantidad de leudante en la formulación son constantes, la viscosidad de la masa parece controlar la velocidad a la cual las galletas expanden durante el horneado. Las masas elaboradas con harina de trigo suave tienen una baja viscosidad y son capaces de expandir a una velocidad más rápida en comparación con una masa elaborada con harina de trigo fuerte (Kaldy y Rubenthaler, 1987; Miller y Hosenev, 1997b).

Para evaluar la viscosidad de las masas se requiere de una prueba rápida y simple que sirva como medio para predecir la calidad de la harina para galleta, la cual sería útil para los fitomejoradores de trigo, molineros y empresas elaboradoras de galletas. Una alternativa es el método de compresión uniaxial con lubricación, el cual es un método sencillo y confiable, cuyos resultados pueden ser expresados como viscosidad extensional biaxial de la masa (Chatraei, 1981; Bagley y Christianson, 1986). La ventaja que presenta el método de compresión uniaxial con lubricación es que tiene la capacidad de diferenciar entre masas para galletas hechas con harinas de trigo fuerte y suave (Miller y Hosenev, 1997a).

El objetivo de este estudio fue caracterizar física, química y reológicamente a las harinas de trigo fuerte (Rayón), suave (Salamanca) y su mezcla (50% de harina de trigo fuerte y 50% de harina de trigo suave) para relacionar sus parámetros con el diámetro de la galleta y obtener las variables respuestas que definan la calidad de la galleta elaborada con mezclas de harinas de trigo.



## OBJETIVOS

### Objetivo General

Relacionar el diámetro de la galleta con las características físicas, químicas y reológicas de las harinas de trigo suave, fuerte y su mezcla.

### Objetivos Específicos

Caracterizar física, química y reológicamente a las harinas de trigo suave, fuerte y su mezcla.

Evaluar el diámetro de las galletas elaboradas con las harinas de trigo suave, fuerte y su mezcla.

Evaluar la relación entre los parámetros físicos, químicos y reológicos de las harinas de trigo con el diámetro de la galleta.

## REVISION DE LITERATURA

### Definición de Galleta

Es el producto elaborado con harinas de trigo, avena, centeno, harinas integrales, azúcar, grasa vegetal y/o aceites comestibles, agentes leudantes, sal yodada; adicionados o no de ingredientes y aditivos alimenticios autorizados por la Secretaría de Salud, los que se someten a un proceso de amasado, moldeado y horneado (SCFI, 1983).

Las galletas son productos elaborados con harinas de trigo y se caracterizan por incluir en sus formulaciones elevados contenidos de azúcar, materia grasa y relativamente poca cantidad de agua (Hoseney *et al.*, 1988). Las galletas elaboradas con harinas de buena calidad cuyos diámetros oscilan de 8 a 9 cm, son delgadas y con agrietamientos bien definidos en la superficie (Gaines, 1985).

### Características Funcionales de la Harina para Galleta

Las galletas pueden ser elaboradas de cualquier tipo de harina de trigo ya sea suave o fuerte las cuales cambian las propiedades funcionales de la masa. La expansión, la forma, el color, la frescura, el sabor, textura y la vida de anaquel de los productos horneados son el resultado de factores como: el grado de fuerza impartido por el tipo de harina, la consistencia de la masa, retención de humedad e ingredientes que propician endurecimiento y la manera como es manejada la masa durante el proceso de elaboración. Las variaciones en el desempeño de las harinas de trigo suave para galletas son atribuibles a cuatro variables; la mezcla de variedades de trigo, el grado de extracción, la granulometría de la harina y el tratamiento químico o su ausencia en la harina (Minor, 1966).

Los molineros de trigo producen harinas diseñadas especialmente para la producción de pays, repostería y galletas. El molinero requiere conocer ciertas especificaciones por parte de los productores de galletas y que características desean en la harina y con esto lograr un producto de buena calidad. Esas especificaciones están basadas en una serie de pruebas, mismas que el molinero puede aplicar para controlar las propiedades y la uniformidad de las harinas para galletas (Minor, 1966).

### **Análisis Físicos y Químicos de la Harina para Galleta**

Diversas técnicas han sido empleadas para determinar la calidad de una harina de trigo para galleta, estas técnicas se pueden dividir en tres categorías, es decir; analítica, fisicoquímica y la prueba de horneado de la galleta (Minor, 1966). Las pruebas analíticas incluyen la determinación de humedad, cenizas, y proteínas (Minor, 1966). En general, el molinero requiere conocer ciertas especificaciones de la harina que los galleteros consideran esencial para hacer eficiente la producción y la calidad del producto. Las pruebas usadas para este propósito y su relación significativa son las siguientes:

### **Contenido de Humedad en la Harina**

Un alto contenido de humedad en la harina incrementa el flujo de la masa, por lo tanto afecta la plasticidad e incrementa el diámetro de la galleta (Gaines y Donelson, 1985; Gaines *et al.*, 1988) incluso cuando el agua de la formulación es ajustada en base a un 14% de humedad. Una cantidad menor de islas –porción de material bien definido por grietas- son formadas en las galletas elaboradas con harinas cuyo contenido de humedad es alto, obteniéndose galletas más simétricas. El agrietamiento en la superficie de la galleta aumenta cuando se incrementa la humedad de la harina, sin embargo, el agrietamiento no está presente en galletas elaboradas con harinas cuyo contenido de humedad es extremadamente alta (16.2%) (Doescher y Hosenev, 1985). La humedad de la



harina juega un papel más importante en el agrietamiento de la superficie de la galleta que el agua de la formulación. Además, humedades relativas altas afectan el agrietamiento de la superficie desde el momento en que la harina absorbe humedad del aire (Gaines y Kwolek, 1982).

### **Contenido de proteína**

El contenido de proteína de la harina es generalmente tomado como una medida de la fuerza de su gluten. Las harinas para galleta con un bajo contenido de proteína usualmente producen galletas con una gran expansión en comparación con harinas que tienen un alto contenido de proteína (Minor, 1966). Las harinas de trigo fuerte se caracterizan por tener alto contenido de proteína comparado con las harinas de trigo suave. Sin embargo, las harinas de trigo fuerte y suave que contienen aproximadamente el mismo contenido de proteína producen galletas con diferentes diámetros (Cole *et al.*, 1960). Yamazaki (1954) observó que conforme el contenido de proteína de una harina se incrementa la capacidad de retención de agua alcalina (CRAA) aumenta mientras que la expansión de la galleta disminuye. En general, el contenido de proteína correlaciona pobremente con el diámetro de la galleta (Yamazaki, 1954; Abboud, 1983; Doescher *et al.*, 1987b). El contenido de proteína del trigo oscila entre el 6% y 20%, dependiendo de las variedades y de las condiciones ambientales durante el crecimiento del trigo (Pomeranz, 1988). Los requerimientos de proteína para la elaboración de productos en específico se muestran en la tabla 1.

### **Contenido de cenizas**

La determinación de cenizas sirve como un índice de la extracción o grado de la harina, el cual indica cuanto material fibroso de las porciones externas del grano de trigo ha contaminado a la harina (Wichser y Shellenberger, 1948; Minor, 1966). La determinación de la materia mineral en la harina por la prueba de cenizas sirve como un indicador para conocer bajo que condiciones fue procesada



**Tabla I.** Tipos de trigo y requerimientos de proteína para elaborar productos específicos.

<b>Tipos de trigo</b>	<b>Contenido de proteína (14% base húmeda)</b>	<b>Producto Final</b>
Durum	13	Macarrones
Fuerte de invierno	11.5-13	Pan
Suave/ Fuerte	10 – 11	Crackers
Suave/ Fuerte	9.0 – 11	Biscuits
Suave	8.0 -10.0	Pasteles, pays y galletas

Fuente: Pomeranz, 1988.

la harina de trigo. La determinación de las cenizas como un criterio de calidad de la harina ignora dos consideraciones importantes: primero, es el hecho de que la calidad de panificación no necesariamente está relacionada al contenido de cenizas de la harina. Segundo, el contenido mineral del trigo varía dependiendo de las condiciones climáticas bajo las cuales creció (Wichser y Shellenberger, 1948).

El contenido de minerales (cenizas) de la harina se considera un parámetro importante en la calidad de la harina. Algunos minerales en el grano de trigo son concentrados en áreas adyacentes a la cubierta de salvado y del mismo salvado. Los productos de harina que contienen más cenizas son oscuras y se asume que contienen más partículas de salvado. El contenido mineral recomendado como límite máximo en una harina para galleta debe estar entre 0.42 y 0.5 % (Pomeranz, 1988).

### **Lípidos de la harina**

Las harinas desgrasadas producen galletas con menor expansión y agrietamiento que las galletas elaboradas con harina que contiene sus lípidos (Cole *et al.*, 1960; Kisell *et al.*, 1971; Clements, 1980; Clements y Donelson, 1981). A las harinas que se le han extraído los lípidos, su ausencia provoca la formación de espacios internos y como consecuencia una estructura porosa, lo cual limita la expansión de la galleta durante el proceso de horneado (Clements, 1980; Clements y Donelson, 1981). El agregar agua a la harina provoca enlazamiento de los lípidos de la harina (hidrofóbicos) y tienden a asociarse con el endospermo almidonoso (hidrofílico) (Yamazaki y Donelson, 1976). Sin embargo, cuando una menor cantidad de lípidos está presente en la harina o cuando la harina es integral, la harina o masa es más hidrofílica, por lo tanto, una cantidad mayor de agua es absorbida por el almidón o por el salvado. Por otro lado, una menor cantidad de azúcar va a la solución disminuyendo el factor de expansión (Cole *et al.*, 1960; Clements y Donelson; 1981).



Cuando los lípidos son adicionados a las harinas o masas, la expansión de la galleta se incrementa y la superficie se mejora (Kisell *et al.*, 1971, Yamazaki *et al.*, 1979). Sin embargo, si un lípido se adiciona a la harina desgrasada, las galletas horneadas exhiben drásticamente diferencias en el patrón de la superficie y en la textura (Clements y Donelson, 1981). Esto demuestra que hay diversas maneras en que los lípidos libres, las fracciones polares y no polares de la harina contribuyen a la apariencia de la galleta. Cada uno de los lípidos son responsables de la superficie y la expansión, pero la ausencia de los diferentes lípidos pueden tener un gran impacto en las características de las galletas (Kisell *et al.*, 1971).

### **Tamaño de partícula de la harina**

Durante el proceso de molienda, son formadas partículas de diferentes tamaños. Las partículas más finas son separadas las más gruesas y son enviadas a otros rodillos para ser reducidas. El máximo tamaño de partículas de harinas puede variar de un molino a otro molino y este es útil para conocer los efectos del tamaño de partícula de la harina en los parámetros de la galletas (Manley, 2000). Las harinas obtenidas de diferente equipo de molienda pueden tener significativamente diferentes patrones de agrietamiento (Yamazaki y Donelson, 1976). Esto puede ser parcialmente relacionado al tamaño de partícula de la harina. Hay una correlación negativa entre el tamaño de partícula de la harina y el diámetro de la galleta. Las harinas con partículas más gruesas producen galletas con una menor expansión. Esas galletas también tienen una superficie firme con una distribución desnivelada con islas grandes y poco agrietamiento. Un tamaño de partícula pequeño en la harina produce galletas con una excelente superficie, teniendo un agrietamiento distribuido uniformemente a lo largo de la superficie (Yamazaki, 1959a; Gaines, 1985 y Yamamoto *et al.*, 1996). Cuando un tamaño de partícula es reducido por medio de una molienda severa, el almidón dañado se incrementa y la expansión de la galleta decrece (Brenneis, 1965 Sollars y MacLeod Bowie, 1966; Gaines, 1985; Gaines *et al.*, 1988; Yamamoto *et al.*, 1996).

Las harinas de trigo fuerte tienen partículas gruesas con las cuales se obtienen masas fuertes tienden a dar galletas con una densidad grande y un menor desarrollo durante el horneado. Mientras, que las harinas finas son utilizadas en la elaboración de masas cortas para galletas, dan galletas con una baja densidad y tienen una mayor expansión durante el proceso de horneado. El promedio de tamaño de partícula de la harina galleta es alrededor de 50  $\mu\text{m}$  con menos del 10% de 130  $\mu\text{m}$  (Manley, 2000).

### **Capacidad de retención de agua alcalina (CRAA)**

La capacidad de retención es el peso del solvente retenido por la harina después de ser sometido a un proceso de centrifugación y cuyo resultado se expresa como el porcentaje del peso de la harina (14% base húmeda) (Gaines, 2004). En esta prueba, cuatro diferentes soluciones de ácido láctico, sacarosa, agua y bicarbonato de sodio son utilizados para proveer información acerca de los aspectos físicos y químicos de las muestras de harina. La retención de esos solventes produce un perfil de funcionalidad de la harina y se utiliza para predecir su desempeño en la elaboración de galleta. Las harinas para galletas salada y dulce se desean con una baja capacidad de retención de agua (por lo tanto habrá más agua disponible para disolver el azúcar y formar jarabe). Las harinas con alta capacidad de retención de agua requieren más tiempo de horneado durante la elaboración de las galletas y producen un producto menos blando e incrementan los costos de energía (Gaines, 2004).

De las cuatro diferentes soluciones, probablemente la prueba fisicoquímica más útil para evaluar las harinas de trigo suave es la prueba de la capacidad de retención de agua alcalina debido a que mide la capacidad de retención de agua de la harina bajo condiciones alcalinas simula el comportamiento de una masa leudada químicamente (Pomeranz, 1988; Ram *et al.*, 2004; Gaines, 2004). Siendo los valores aceptables de la retención de agua alcalina en una harina para galleta del 50-54 %. Si los valores son altos, estos indicarán que serán obtenidas galletas



con diámetros pequeños. (Pomeranz, 1988). Gaines *et al.* (1988) demostró que incrementando el almidón dañado incrementa la rigidez de la masa para galleta y disminuye el diámetro de la galleta.

### **Número de Caída**

El trigo almacenado todavía respira, y adicionalmente la humedad libera las enzimas del salvado y del germen. Las enzimas metabolizan el almidón, incrementando el contenido de proteína total relativo y el cambio de la composición de los aminoácidos (Lorenz y Valdano, 1981). La harina obtenida de trigos dañados por germinación produce galletas con relaciones de expansión altos y mejores superficies. Adicionalmente, la conversión de carbohidratos complejos a azúcares simples permite a la porción del azúcar absorber agua antes que el almidón y así incrementar el agrietamiento (Lorenz y Valdano, 1981). Las proteasas mejoran la superficie de las galletas producidas con harinas de trigo suave y fuerte clorinadas (Gaines y Finney, 1989).

Kaldy y Rubenthaler (1987) encontraron que el diámetro de la galleta no se afectó por la variación en el número de caída. Sin embargo, en su estudio respecto a la calidad de harina para galleta, encontraron que algunas variedades producían galletas grandes lo cual fue provocado por la licuefacción del almidón por acción enzimática. Para la elaboración de galletas se requiere un número de caída mínimo de 250 segundos (Mailhot y Patton, 1988; Pomeranz, 1988; Nemeth, 1994).

### **Contenido de Gluten**

Las proteínas del gluten, también llamadas proteínas de almacenamiento, consisten de dos tipos de proteínas: gliadinas y gluteninas. Ellas conforman cerca del 70% del total de las proteínas del gluten (Hoseney, 1988). El gluten es

formado cuando la harina de trigo humedecida con agua y la interacción ocurre entre las gliadinas y las gluteninas (Wrigley y Bietz, 1988).

Las proteínas del gluten son importantes en la determinación del uso final de la harina, porque de ellas depende la formación de masas viscoelásticas. En general, las gliadinas contribuyen a la extensibilidad de la masa y las gluteninas a la fuerza y elasticidad de la masa (Wall, 1979).

Las características de mezclado mecánicas, la extensibilidad y la elasticidad de la masa son determinadas primeramente por el gluten. La fuerza del gluten requerida varía dependiendo del producto que se quiera elaborar. Por ejemplo, la galleta salada y pan plano se requiere un gluten fuerte y para galleta dulce se requiere gluten débil. Para la elaboración de galletas se desean harinas con bajo contenido de gluten y una fuerza de gluten débil (Gaines y Finney, 1989; Kulp y Olewnik, 1989; Gaines, 1990). La fuerza del gluten está en función de la concentración de proteínas y la composición proteica.

Hou *et al.* (1996a) estudiaron el efecto de la proteína de la harina, la reología de la masa para galleta y su comportamiento. Mencionan que las pequeñas diferencias en contenido de proteína por sí sólo, no es capaz de explicar completamente la calidad de la galleta. Encontraron, que los contenidos de glutenina y de gliadina, así como sus respectivas subunidades difieren dependiendo de los diferentes grupos de trigos. Estas fracciones afectan la reología de la masa y la calidad de horneado de la galleta. Una cantidad de subunidades de bajo peso molecular, específicamente las  $\beta$ -gliadinas correlacionaron positivamente con el diámetro de la galleta y pueden ser benéficas en la calidad de horneado de la galleta.

Hou *et al.* (1996b) encontró que la presencia de subunidades de glutenina de alto peso molecular (HMW-GS) tiene efectos benéficos y detrimentales en la calidad de la galleta. La presencia de HMW-GS1 correlaciona positivamente con el



diámetro de la galleta, mientras que las subunidades HMW-GS2 correlacionan negativamente. Por lo tanto, el contenido de proteína y el peso molecular de las subunidades de proteína de la harina varían dependiendo de las subunidades que afectan la expansión de la galleta.

## **Funcionalidad de los ingredientes**

**Azúcar.** Cuando el agua es limitada, como en la formulación de la galleta, el azúcar en solución con el agua forma jarabe supersaturado durante el horneado y se cristaliza durante el enfriamiento. El grado de expansión de las galletas durante el horneado es directamente proporcional a la cantidad de azúcar en la formulación (Finney *et al.*, 1950a; Fuhr, 1962; Abboud, 1983). La adición de ingredientes hidrofílicos que absorban agua o inhiban a la fracción azúcar absorber primeramente el agua disponible afectará a la galleta reduciendo la expansión (Fuhr, 1962; Doescher *et al.*, 1987b). El aumento en el contenido del azúcar disminuye la viscosidad de la masa caliente incrementando la expansión de la galleta. Por lo tanto, altos niveles de azúcar incrementan la expansión de la galleta (Fuhr, 1962; Cunningham y Lemon, 1964; Doescher, 1987a). Adicionalmente, son formadas una mayor cantidad de islas y bien definidas el cuál es resultado del incremento del contenido del azúcar sobre el contenido de manteca (Finney *et al.*, 1950a; Abboud, 1983).

Los azúcares exhiben una variedad de propiedades físicas, tales como la solubilidad y la temperatura de fusión. Por ejemplo, las galletas preparadas con glucosa tienen una superficie más fina comparándola a la apariencia gruesa de la fructosa, sacarosa y maltosa. La superficie de las galletas elaboradas con sacarosa no seca rápidamente como aquellas que fueron elaboradas con glucosa o fructosa. Además, el alto punto de fusión y baja solubilidad de la glucosa previenen la expansión lateral de las galletas y no se formen grietas. Las galletas elaboradas con glucosa tienen una superficie rugosa, esto es resultado de la solubilidad y punto de derretido del azúcar (Nishibori y Kawasaki, 1992). Las



galletas preparadas con glucosa (dextrosa) son muy gruesas comparadas con aquellas elaboradas con edulcorantes como son: la fructosa o sacarosa. Las galletas cuya formulación incluye fructosa cristalina expanden similarmente a las galletas elaboradas con sacarosa (Nishibori y Kawasaki, 1992).

**Tamaño de partícula del azúcar.** Al usar un tamaño de partícula el azúcar más fino se obtiene un diámetro más grande (Kisell *et al.*, 1973; Abboud, 1983) o la relación de expansión. Sin embargo, algunos reportes indican que el azúcar de tamaño más grande incrementa la expansión.

En la etapa de cremado, la manteca cubre a los gránulos del azúcar con una capa de manteca. El azúcar con tamaño de partícula pequeño tiene un área de superficie grande, por lo tanto, la cubierta de manteca es delgada. Sólo una pequeña porción de sacarosa cristalina se disuelve durante el mezclado, el resto ocurre durante el proceso de horneado (Abboud, 1983). Durante el proceso de horneado, la capa de lípidos delgada que cubre al gránulo de azúcar es más fácil de ser derretida, permitiendo al azúcar incorporarse a la solución e incrementar la expansión de la galleta. Lo opuesto, es verdadero para gránulos de azúcar más gruesos; la cubierta de lípidos inhibe al azúcar absorber el agua (Kisell *et al.*, 1973).

**Manteca.** La disminución de la cantidad de grasa (de 52% a 35% o 26%) incrementa significativamente la expansión de galleta (Fulton y Hogbin, 1993). En otro estudio, la reducción de la grasa (de 30% a 25%) incrementa la expansión de la galleta y se reduce la simetría de la galleta, mientras que el incremento del nivel de grasa a 35% no tuvo efecto significativo en el diámetro de la galleta (Abboud, 1983). Sin embargo, la disminución del nivel de grasa de 32% a un 12% reduce significativamente la relación del factor expansión. La superficie se ve afectada por la relación de azúcar y manteca. Las Islas bien definidas fueron obtenidas con 60% de azúcar y 25% de manteca. Asimismo, cuando la cantidad de manteca se incrementa, la superficie se vuelve más suave en apariencia (Finney *et al.*, 1950a).

El uso de varios tipos de mantecas vegetales hidrogenadas afecta el factor de expansión de la galleta. Una manteca muy manejada incrementa el factor de expansión, probablemente debido a la aireación. Las mantecas con variaciones en el índice de grasa sólida (SFI) expanden diferente con cambios en la elevación de la galleta durante el horneado. El uso de mantecas viejas produce galletas más grandes y más delgadas que cuando se usa una manteca nueva (Gaines *et al.*, 1992).

Abboud (1983) analizó el efecto de varios estados de las grasas y sus efectos en los diámetros de las galletas. Las mantecas emulsificadas con monoglicéridos, mantecas no emulsificadas, mantecas no emulsificadas derretidas o aceite no emulsificados fueron utilizadas. Cuando cada lípido es acreamado con el azúcar y los componentes menores, no se encontraron diferencias significativas, las cuales no se reflejaron en el factor de expansión. Sin embargo, la masa acreamada en la cual incluyó aceite no fue satisfactoria y se observó, que las galletas tuvieron el mismo diámetro en galletas donde el acreamado no se llevó a cabo.

El uso de emulsificantes incrementa el diámetro de la galleta (Tsen *et al.*, 1975) especialmente a valores altos de balance hidrofílico/lipofílico (HBL) y a altos niveles usados (Breyer y Walker, 1978).

**Leudantes.** Se puede compensar a las harinas con pobre calidad de panificación mediante el uso de leudantes químicos. Incrementando el contenido de bicarbonato de amonio se puede incrementar el diámetro de la galleta. Por lo tanto, niveles altos de bicarbonato de amonio pueden permitir la reducción de azúcar en harinas de buena calidad, mientras alcanza expansiones similares (Finney *et al.*, 1950a).

El diámetro de la galleta se incrementa cuando se incrementan los niveles de bicarbonato. El bicarbonato de amonio ejerce el primer efecto sobre el factor de



expansión, seguido del bicarbonato de potasio y al final del bicarbonato de sodio (Lajoie y Thomas, 1994). El patrón de agrietamiento de la superficie se incrementa con altos niveles de bicarbonato. La naturaleza del agrietamiento varía de la cantidad de los bicarbonatos, de agrietamientos gruesos a delgados, la menor cantidad de agrietamientos ocurren cuando actúa el bicarbonato de amonio, seguido del bicarbonato de potasio y la mayor cantidad de agrietamientos ocurren cuando actúa el bicarbonato de sodio (Lajoie y Thomas, 1994). Por lo tanto, cambiando el nivel o el tipo de leudante afectará la expansión de la galleta.

### **Pruebas Reológicas de las Masas para Galletas**

Las propiedades reológicas de la masa juegan un papel importante en la calidad del producto. Para este fin se han utilizado varios aparatos. Para el trigo suave los que fundamentalmente se utilizan son el farinógrafo y el alveógrafo (Quaglia, 1991). En general, estos aparatos no pueden ser usados como un indicativo de control en el proceso de la elaboración de galletas. Sin embargo, son útiles para monitorear los cambios que ocurren en la materia prima (Manley, 2000).

**Farinógrafo.** El farinógrafo mide la fuerza necesaria para mezclar la harina a una velocidad constante y alcanzar una consistencia determinada (500 UB) así como la cantidad de agua necesaria para alcanzar la consistencia (Quaglia, 1991). El principio de esta prueba se basa en el registro de la resistencia de la masa durante toda la prueba. El criterio esencial del farinograma es la determinación exacta de la absorción de agua basada en la consistencia específica de la masa (Quaglia, 1991). Es también el principio fundamental usado en la generación de un farinograma. La absorción óptima del farinograma es definida como la cantidad de agua requerida al centro del área pico de una curva del farinograma en la línea de las 500 UB para una masa harina-agua. La absorción esperada de una harina esta basada en la humedad y el contenido de proteína, pero el primer intento raramente



es exitosa. El farinógrafo es usado para obtener además de la absorción de agua, la estabilidad de la masa y la tolerancia al amasado, así como para diferenciar las harinas de trigo (Ram *et al.*, 2004).

Los valores del farinógrafo incluyen el tiempo de llegada cuando el tope de la curva se intersecta a las 500 unidades (UB) como el agua es absorbida rápidamente. Tiempos de llegada cortos resultan cuando los niveles de proteína (dentro de una variedad de trigo) se incrementan. El tiempo requerido para alcanzar el punto de consistencia máxima de la masa, antes de que alguna indicación del rompimiento, es considerado el desarrollo de la masa o tiempo pico (B). El tiempo de salida (C) es el tiempo al cual la curva cae abajo la línea de las 500 U. B. Un tiempo de salida largo sugiere que se trata de una harina fuerte. La estabilidad es la diferencia en tiempo en el punto de llegada donde la parte superior de la curva intercepta la línea de las 500 U. B. (tiempo de llegada) y el punto donde la parte superior de la curva sale de las 500 U. B. (punto de salida) además, de ser un indicador de la tolerancia de la harina al mezclado. Este valor indica la velocidad de rompimiento y la fuerza de la masa, con valores altos denotando harinas débiles y valores bajos para harinas de trigo fuerte. El índice de tolerancia al mezclado (ITM) es la diferencia en unidades Brabender entre la altura máxima del farinograma y se consideran 5 minutos como tiempo adicional para evaluar la velocidad de rompimiento de la masa (Walker *et al.*, 1996).

Las curvas de mezclado obtenidas por medio del farinógrafo no proveen información acerca de las habilidades de las harinas para producir ciertos tipos de galletas (Minor, 1966). La consistencia de la masa para galleta depende de los ingredientes que conforman a la formulación, lo cual demuestra que no hay gluten presente en las masas para galletas. Por lo tanto, el papel de las proteínas en la masa para galleta es limitado desde el momento en que las masas son preparadas con una baja cantidad de agua y cuya acción de mezclado es mínima (Kulp y Olewnik, 1989). Nemeth (1994) encontró que las harinas de trigo suave de Canadá, Australia y Estados Unidos presentan valores de absorción de agua de

alrededor del 45.5% y 57.5% y una estabilidad de 1.5-5 minutos. Pedersen *et al.* (2004) encontró variaciones en las características de mezclado, pero en general, todas las harinas mostraron un comportamiento de harinas débiles como la absorción de agua la cual oscilo de 52.3 a 59%, tiempos de mezclado cortos, estabilidad pobre y un alto grado de rompimiento.

**Alveógrafo.** El alveógrafo fue inventado por Chopin en los años 20 como un instrumento empírico para medir la calidad de la harina. El instrumento infla la masa y mide la presión durante la operación del inflado. La masa es mezclada, laminada en una pieza plana y guardada en una pequeña cámara dentro del instrumento en condiciones controladas de humedad relativa y temperatura después se mide la presión de aire necesario para inflar la masa hasta romperla. Presumiblemente, la prueba al inflar la burbuja, se relaciona la expansión de burbujas durante la fermentación de la masa. Las mediciones que comúnmente se obtienen del alveograma son la altura de la curva (P), longitud (L) y área debajo de la curva (W).

La gráfica obtenida del alveógrafo muestra el valor P (tenacidad) es la altura de la curva multiplicado por una constante. El promedio de la longitud para la ruptura (L) es una medida de la extensibilidad de la masa. Otros parámetros importantes obtenidos de los alveogramas son el área bajo la curva o trabajo de deformación (W). W es normalmente considerado como una medida de la fuerza de la harina y por lo tanto el valor más importante derivado del alveograma (Quaglia, 1991).

El valor P esta relacionado a la tenacidad de la masa y a la resistencia elástica como un predictor de la habilidad de la masa para retener gas. El valor L esta relacionada a la extensibilidad de la masa y predice las características de manejo de la masa.



El valor  $W$  es la cantidad de trabajo requerido para la deformar la masa y está relacionada a la fuerza de horneado de la harina. Las características de las harinas débiles presentan valores  $P$  y  $W$  bajos, generalmente con valores largos de  $L$ . Asimismo, valores altos de  $W$  y  $P$  con valores cortos o medianos de  $L$  son característicos de harinas fuertes.

La relación  $P/L$  (relación de configuración de la curva) también sirve como un indicativo de cantidad. Por ejemplo, un valor alto de  $P$  y un valor corto de  $L$  pueden denotar una masa muy elástica. Es posible predecir los valores  $P$ ,  $L$  y  $W$  para mezclas por el conocimiento de las propiedades de las harinas iniciales (Walker, 1996).

Rasper *et al.* (1986) encontró una alta correlación entre el valor de deformación ( $W$ ), la viscosidad y el contenido de proteína. Bettge *et al.* (1989) sugiere un modelo para predecir el diámetro de la galleta usando el valor de presión ( $P$ ) del alveografo y el contenido de proteína.

Nemeth *et al.* (1994) encontró que las mediciones del alveografo sirven como medio predictor de la calidad de la galleta y como un indicativo por la correlación de los parámetros del alveógrafo y la expansión de la galleta. El parámetro de mayor importancia es la relación existente entre la tenacidad y extensibilidad ( $P/L$ ) el cual está relacionado con el factor de expansión de la galleta. En harinas de trigos suaves procedentes de Canadá, Australia y Estados Unidos se encontraron valores de  $P/L$  de alrededor de 0.099-0.657 para este tipo de harinas.

### **Compresión Uniaxial con Lubricación**

Las masas de harina de trigo son materiales viscoelásticos que muestran atributos de sólidos elásticos y líquidos viscosos. Las propiedades reológicas de las masas describen como se deforma, fluye y se rompe, dando una información



valiosa sobre la calidad de las harinas y las características texturales de los productos que con ellas se elaboran (Faridi, 1985). El conocimiento del comportamiento de la viscosidad, elasticidad y la ruptura en la caracterización de la masa conlleva al desarrollo de aparatos para evaluar masa a nivel industrial.

Hay una necesidad de desarrollar una comprensión más fundamental de la relación estructura-composición-procesamiento en las masas para formular principios generales que sirvan de guía para el diseño de nuevos procesos y formulaciones (Bagley y Christianson, 1986). El comportamiento reológico de las masas en deformación uniaxial es de especial interés porque este relaciona directamente a las deformaciones que ocurren en el procesamiento, formación y crecimiento de las burbujas en la masa.

Un procedimiento experimental que puede evitar lo necesario de calcular una masa efectiva, el cuál sugiere un experimento extensional, es la compresión uniaxial. Las muestras son lubricadas con un líquido de baja viscosidad. La importancia de lubricación apropiada no puede ser menospreciada. Las muestras no lubricadas requieren más fuerza para lograr la deformación en comparación con las muestras lubricadas (Christianson *et al.*, 1986). Este es incluso cierto en materiales alimenticios, tales como la mantequilla, que tienen un alto contenido de grasa y pueden parecer ser que el mismo se lubrica. La fuerza extra es necesaria para sobreponerse a la fricción introducida por el esfuerzo de deformación que ocurre en pruebas no lubricadas. Las pruebas perfectamente lubricadas experimentan solo deformación extensional (Steffe, 1992).

La compresión de fluidos de polímeros viscoelásticos ha sido estudiado por Chatraei *et al.* (1981) cuyos resultados fueron interpretados en términos de viscosidad extensional biaxial. Usando esta técnica, Bagley y Christianson (1986) estudiaron la formación de burbujas ya sea por fermentación con levaduras o mediante el uso de leudantes químicos como las masas leudadas químicamente por medio de la compresión uniaxial con lubricación.

El esfuerzo de relajación fue determinado y usado como un medio para evaluar la viscosidad extensional biaxial de la masa, la compresión uniaxial con lubricación ha sido adaptada para ser usada en productos leudados de masa de harina de trigo para galletas (Janssen *et al.*, 1996).

Diversos autores han descrito el uso de métodos para evaluar la viscosidad de la masa para galleta. Sin embargo, la técnica de compresión uniaxial ha sido usada para medir la viscosidad elongacional biaxial de las harinas de trigo suave (Bagley y Christianson, 1986; Cullen-Refall *et al.*, 1988; Lin *et al.*, 1993; Miller y Hosney, 1997a). Estos últimos autores, encontraron que la técnica de compresión uniaxial con lubricación puede ser usada para medir diferencias en la viscosidad de las masas para galletas hechas con harinas de trigo suave y fuerte.

### **Prueba de horneado de la galleta**

La prueba de horneado de la galleta permanece todavía como el mejor medio disponible para evaluar las harinas de trigo para galleta (Minor, 1966; Gaines *et al.*, 1989). Esta prueba considera en su totalidad a la apariencia y dimensiones de la galleta. Las galletas elaboradas con harina de trigo suave varían en sus dimensiones, agrietamientos abiertos y bien definidos. Las galletas elaboradas con harinas de trigo fuerte son de expansión reducida, apariencia lisa, líneas delgadas, además de incrementar la dureza de la galleta (Gaines, 1985).

Las reacciones fisicoquímicas y bioquímicas durante el horneado son muy complejas, los cuales involucran; desnaturalización de proteína, pérdida de la estructura granular del almidón, derretido de la grasa, reacciones de Maillard y oscurecimiento, expansión de la masa por evaporación del agua, producción y expansión térmica de los gases. La expansión es un evento relevante en la formación de la textura, es un límite de las propiedades reológicas de la masa, el cual depende del comportamiento y las interacciones de sus componentes (Chevallier *et al.*, 2002).



La expansión de la galleta es afectada por muchos factores como: la hidratación de los azúcares, la hidratación de las partículas de las harinas, incluyendo almidón, proteínas, pentosanas hidrofílicas (en harinas de alta extracción), almidón dañado (en harinas de alta extracción), ingredientes hidrofílicos (almidón pregelatinizado, gomas o fibras), la humedad disponible sobre los componentes y la presencia de lípidos o de otros materiales insolubles en agua (Finney *et al.*, 1950).

**Tiempo en que se Fija la Estructura de la Galleta.** Durante el horneado, el diámetro de la galleta se incrementa linealmente entonces repentinamente se vuelve una estructura firme (Yamazaki, 1959b; Abboud, 1983). Las galletas elaboradas con harinas de baja calidad son de expansión reducida y generalmente su estructura se detiene a temperaturas más bajas en comparación con aquellas galletas elaboradas con harinas de buena calidad. La estructura firme de la galleta no es provocada por la gelatinización del almidón, pérdida de humedad de la masa, diferencias en la temperatura interna o el secado de la superficie (Yamazaki 1959b; Abboud, 1983; Doescher *et al.*, 1987a).

Yamazaki (1959c) observó un incremento rápido de la viscosidad de las masas para galletas durante el calentamiento el cual cercanamente corresponde al tiempo en que se fija la estructura de la galleta durante el proceso de horneado. Las galletas elaboradas con harinas de buena calidad tienen una menor viscosidad al comienzo del horneado permitiendo que la galleta expanda rápidamente, antes de que alcance la alta temperatura del proceso de horneado y ocurra un rápido incremento en la viscosidad evitando la expansión de la galleta. Yamazaki (1959b) concluyó que la viscosidad de la masa en que se fija la estructura de la galleta fue suficientemente grande para contrarrestar la fuerza de la gravedad de modo que la masa no puede fluir extensamente. Por lo tanto, el tiempo en que se fija la estructura de la galleta es controlado por un gradiente de temperatura que ocurre en la viscosidad de la masa durante el proceso de horneado.



Doescher *et al.* (1987) observó que las masas elaboradas sin leudantes mostraron una expansión repentina durante el proceso de horneado, el cual se llevó a cabo en un horno de resistencia eléctrica. Encontró que, la temperatura a la cual ocurrió la expansión de la masa para galleta correspondió con el tiempo en el cual se fija la estructura de la galleta en el horneado convencional. Esta expansión no es provocada por la hidratación de la harina, la presión de vapor o la vaporización del agua (Doescher *et al.*, 1987a). Es bien conocido, que los polímeros incrementan en volumen cuando ellos pasan por una transición vítrea. A un contenido de humedad común usado en el horneado, la temperatura de transición vítrea aparente ( $T_g$ ) de las harinas corresponde a la temperatura a la cual la expansión ocurre durante el horneado (Doescher *et al.*, 1987a). Doescher *et al.* (1987a) concluyeron que la estructura fija de la galleta fue provocada por una transición vítrea aparente de la proteína del gluten.

Otra teoría acerca de cómo se fija la estructura de la galleta fue propuesta por Levine y Slade (1994). Ellos sugieren que las galletas hechas con harinas de pobre calidad exhiben una expansión controlada a un diámetro máximo y entonces elásticamente se contrae. Las galletas hechas con harinas de buena calidad exhiben una expansión viscosa acompañada por un deslizamiento a un diámetro máximo entonces se colapsa dramáticamente. Sin embargo, ellos no ofrecen una explicación de cómo se fija la estructura de la galleta.

**Expansión de la galleta.** Todas las galletas comienzan a expandirse al mismo tiempo durante el horneado, sin embargo, la velocidad de expansión de la masa se incrementa rápidamente en galletas elaboradas con harina de buena calidad (Abboud, 1983). Debido a que la gravedad y la cantidad de leudante en la formulación son constantes, la viscosidad de la masa parece controlar la velocidad de expansión de la galleta. Hoseney *et al.* (1988) sugiere que la viscosidad de la masa está determinada por la cantidad de agua que actúa como un solvente. Los valores bajos de la viscosidad inicial de la masa, son los responsables de que la galleta se expanda a una velocidad más rápida durante el calentamiento inicial.



Los componentes de la harina que absorben grandes cantidades de agua reducen la cantidad disponible para disolver azúcar, aumentando la viscosidad inicial de la masa y disminuyendo la expansión de la galleta (Yamazaki, 1955; Hosney y Rogers, 1994).

Yamazaki (1959) sugiere que un cambio en la limitada cantidad de agua y una intensa competencia por la cantidad de agua entre los componentes de la harina puede contribuir a las diferencias entre las harinas de buena o mala calidad. En general, las harinas con baja capacidad de retención de agua alcalina son consideradas superiores para la elaboración de galletas. Este sugiere que el potencial que muestran las harinas puede ser determinada por la suma de los componentes hidrofílicos, a pesar de su composición química (Yamazaki, 1955; Yamazaki *et al.*, 1977).

El factor de expansión se incrementa con 1) La selección de la mejor variedad (Finney *et al.*, 1987), 2) el uso de harinas de bajo contenido de proteína, 1954), 3) un menor tamaño de partícula del azúcar en la formulación (Kissell *et al.*, 1973), 4) el uso de surfactantes (Tsen *et al.*, 1975), 5) el uso de metabisulfito de sodio (Wade, 1972), 6) la relación azúcar/manteca (Finney *et al.*, 1950), 7) el incremento de la humedad en la harina (Gaines *et al.*, 1988), 8) la reducción del contenido de almidón dañado (Gaines *et al.*, 1988), 9) el uso de azúcar granular en la formulación, (Doescher *et al.*, 1987b), 10) el incremento de leudante (Finney *et al.*, 1950) y 11) el uso de lecitina (Kissell y Yamazaki, 1975). Las proteasas y las enzimas celulósicas pueden ser también agregadas a la lista.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Materias Primas**

Se utilizaron trigos de la variedad Rayón, la variedad Salamanca y una mezcla de sus harinas al 50% que fueron donados por Molino La Fama y Harinera de Puebla S.A de C.V.

### **Acondicionamiento**

El trigo se limpió (Clipper) y posteriormente se acondicionó al 14% de humedad de acuerdo al método 26-10 de la AACCC (2001).

### **Proceso de Obtención de las Harinas de Trigo**

El grano acondicionado se molió en un molino Quadrumat Brabender Senior (Duisburg, Germany). La harina obtenida fue reposada por 15 días a temperatura ambiente y posteriormente fue analizada.

### **Análisis Físico de las Harinas**

La distribución del tamaño de partícula de la harina cuyo tamaño de las partículas de las harinas puede variar de molino a molino y este es útil para conocer los efectos del tamaño de partícula de la harina sobre los parámetros de las galletas (Manley, 2000). Para determinarla se tomó una muestra de harina (50 g), se colocó en una pila de 5 mallas con abertura de 160  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$ , 100  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$  y fondo. Las mallas se colocaron en un equipo de rotación Rotachoc (Chopin, Francia). Después de someter a agitación durante 5 min, se separó cada fracción de las mallas con ayuda de una brocha y se pesaron las fracciones retenidas en las diferentes mallas. La distribución obtenida se reportó como el por ciento de



retención en cada malla en base a la muestra inicial de harina, como se indica a continuación.

$$\%DTP = \frac{\text{g retenidos en cada malla}}{\text{Muestra inicial de harina}} \times 100$$

### **Análisis Químico de las Harinas**

Los métodos que se utilizaron para la caracterización química de la harina de trigo fueron los recomendados por la AACC (2001). Los análisis realizados fueron: contenido de humedad (método 44-40), contenido de proteína (método microkjeldahl 46-13), contenido de cenizas (método 08-03) y el contenido de gluten húmedo y seco (método 38-12A) fue determinado utilizando el Glutomático (Glutomatic Falling Number modelo 2100).

### **Análisis Fisicoquímico de las Harinas**

El número de caída fue evaluado utilizando el método 56-81B y la capacidad de retención de agua alcalina (CRAA) de acuerdo al método 56-10 (AACC, 2001).

### **Análisis Reológicos**

#### **Farinogramas**

En este análisis se determinó la absorción de agua de la harina, tiempo de mezclado, estabilidad de la masa e índice de tolerancia al mezclado (ITM) en un farinógrafo marca Brabender. Los valores son derivados de una curva de mezclado para 300 g de harina (14% base humedad) y suficiente agua destilada para dar una consistencia máxima de la masa centrada en las 500 UB (método 54-21 AACC, 2001).

## **Alveogramas**

El alveógrafo proporciona información sobre los valores de: Extensibilidad (L), trabajo de deformación (W) y la tenacidad (P) de la masa de harina de trigo. Los alveogramas se hicieron en un alveógrafo marca Chopin usando el método 54-40 (AACC, 2001).

### **Compresión Uniaxial con Lubricación.**

#### **Preparación de las Masas**

Para elaborar las masas se utilizaron 100 g de harina (en base a un 14% de humedad), agua, manteca, bicarbonato de sodio, sal y azúcar de acuerdo a la formulación 10-50 de la AACC. Estos se mezclaron en una amasadora (marca Kitchen Aid) con el 25% de agua con respecto al peso de la harina. La masa fue extendida hasta una altura de 1.9 cm y cortada en discos de diámetro de 4.6 para obtener muestras de  $32 \pm 05$  g.

#### **Moldeo de las Masas**

Para eliminar el problema de formar discos no apropiados (variación en la altura) en la prueba de compresión uniaxial con lubricación, se utilizó un aro de hierro con un diámetro interior de 6.9 cm diseñado por Salazar-García *et al.* (2003). El aro fue colocado sobre el plato inferior donde se realizó la prueba de compresión uniaxial. El plato inferior previamente a usarse se lubricó con vaselina. Después se colocó un peso de 5 kg sobre la masa contenida en el anillo durante 1 min, esto con la finalidad de obtener un disco de masa de 6.9 cm y una altura de 7 mm (Salazar-García *et al.*, 2003).



## Medición de la Viscosidad Extensional Biaxial

Se utilizó el método de compresión uniaxial con lubricación descrito por Bagley y Christianson (1986) para medir la viscosidad extensional biaxial en masas para galletas leudadas químicamente.

Obtenido el disco de masa se procedió a realizar la compresión uniaxial con lubricación. El plato con muestra fue colocado en la parte inferior del texturómetro (Instron modelo 4465 Canton, Massachusetts USA). Por otro lado, el plato superior (previamente lubricado con vaselina) fue conectado al cabezal del texturómetro y se movió hacia abajo sobre la muestra de masa a una velocidad de 0.2 mm/min. La viscosidad extensional fue calculada usando el tratamiento matemático desarrollado por Chatraei *et al.*, (1981) y modificado por Campanella y Peleg, (1987).

Para obtener la viscosidad extensional se utilizó la siguiente ecuación:

$$\eta_b = 2F(t) h(t) / (\pi R^2 V_z)$$

donde:

$\eta_b$  = viscosidad extensional, Pa.s

F (t) = Fuerza compresiva momentánea, N.

h (t) = cambio de altura de la muestra con respecto al tiempo, en cm.

R = radio de los platos, cm

V<sub>z</sub> = la velocidad normal en el sistema de coordenadas cilíndricas, cm/s.

Para calcular la velocidad de deformación extensional radial se utilizó la siguiente ecuación:

$$\dot{\varepsilon}_r = V_z / 2h(t)$$

Donde:

$\dot{\epsilon}_r$  = velocidad extensional radial,  $s^{-1}$

Con estos parámetros se obtuvieron gráficas de viscosidad extensional vs velocidad de deformación para observar el comportamiento reológico de la masa.

## **Prueba de Horneado de la Galleta**

### **Elaboración de la Galleta**

Las masas para galletas se prepararon usando la formulación de la galleta dulce de acuerdo al método 10-50 (AACC, 2001). Para la elaboración de la galleta se utilizaron: Manteca vegetal hidrogenada marca INCA, azúcar, bicarbonato de sodio, dextrosa, sal y agua destilada. Todos los ingredientes fueron pesados en base al peso de la harina.

La cantidad de agua fue el 25% del valor del peso de la harina. El mezclado fue en una mezcladora (Kitchen Aid Mod MK 4555 WH; St Joseph Michigan USA) con una proporción de sus ingredientes sólidos-agua 1:0.25. El mezclado de la grasa, azúcar, bicarbonato de sodio y la sal fue por 3 min a baja velocidad, por cada minuto se rasparon las paredes: Se agregó la solución de dextrosa y el agua, se mezclaron durante 1 min a baja velocidad y se rasparon las paredes. Se mezclaron a velocidad media durante 1 min. Se agregó la harina y se mezclaron durante 2 min, se rasparon las paredes cada 30 seg. Se formaron pequeñas bolas de masa las cuales fueron colocadas en la charola, se aplastaron ligeramente con la palma de la mano. Una vez obtenida la masa se roló a una abertura de 7 mm y se cortaron con un molde de 6 cm de diámetro interno. Una vez colocadas en una charola, fueron horneadas a una temperatura de 205°C por 10 min. Después de horneadas se dejaron enfriar 30 min y se procedió a evaluar a la galleta.



Donde:

$\dot{\epsilon}_r$  = velocidad extensional radial,  $s^{-1}$

Con estos parámetros se obtuvieron gráficas de viscosidad extensional vs velocidad de deformación para observar el comportamiento reológico de la masa.

## **Prueba de Horneado de la Galleta**

### **Elaboración de la Galleta**

Las masas para galletas se prepararon usando la formulación de la galleta dulce de acuerdo al método 10-50 (AACC, 2001). Para la elaboración de la galleta se utilizaron: Manteca vegetal hidrogenada marca INCA, azúcar, bicarbonato de sodio, dextrosa, sal y agua destilada. Todos los ingredientes fueron pesados en base al peso de la harina.

La cantidad de agua fue el 25% del valor del peso de la harina. El mezclado fue en una mezcladora (Kitchen Aid Mod MK 4555 WH; St Joseph Michigan USA) con una proporción de sus ingredientes sólidos-agua 1:0.25. El mezclado de la grasa, azúcar, bicarbonato de sodio y la sal fue por 3 min a baja velocidad, por cada minuto se rasparon las paredes: Se agregó la solución de dextrosa y el agua, se mezclaron durante 1 min a baja velocidad y se rasparon las paredes. Se mezclaron a velocidad media durante 1 min. Se agregó la harina y se mezclaron durante 2 min, se rasparon las paredes cada 30 seg. Se formaron pequeñas bolas de masa las cuales fueron colocadas en la charola, se aplastaron ligeramente con la palma de la mano. Una vez obtenida la masa se roló a una abertura de 7 mm y se cortaron con un molde de 6 cm de diámetro interno. Una vez colocadas en una charola, fueron horneadas a una temperatura de 205°C por 10 min. Después de horneadas se dejaron enfriar 30 min y se procedió a evaluar a la galleta.

## **Evaluación de la Galleta**

Las galletas se evaluaron de acuerdo al método 10-50 (AACC, 2001). El diámetro (D) fue determinado midiendo el ancho de las galletas de lado a lado. Se realizaron 2 mediciones, primero lado a lado y para la segunda medición se giró 90° la galleta. El promedio de las 2 mediciones del diámetro fue dividido entre dos y se multiplicó por el factor de corrección. Para la evaluación del grosor (G) de la galleta, se colocaron las galletas apiladas, se tomó la medición, las galletas se aleatorizan por dos ocasiones y se procedió a realizar la medición y se dividió entre 3 multiplicado por el factor de corrección, Para el cálculo del factor de expansión se utilizó la media no ajustada del diámetro y del grosor, realizándose un cociente entre ambos y corregido por el factor de corrección indicado para el cociente diámetro/ grosor (D/G).

La ciudad de Hermosillo, Sonora se encuentra a 282 m sobre el nivel del mar y su presión barométrica es de 1013.58 milibares. Bajo estas condiciones los factores de corrección utilizados para evaluar el diámetro fue de 0.997, para el grosor de 1.004 y para el factor de expansión fue de 0.994.

## **Diseño Experimental y Análisis de Datos**

Se realizó un diseño completamente al azar con 3 tratamientos y 6 repeticiones (Tabla 2).

Además, se realizó un análisis de varianza para conocer si existen diferencias significativas entre las harinas en lo que respecta en pruebas físicas, químicas y reológicas.

Los análisis de varianza que resultaron significativos se les realizó la prueba de medias de Tukey ( $p < 0.05$ ). Se realizó un análisis de regresión múltiple para relacionar al diámetro de la galleta como variable dependiente y todas las



variables físicas, químicas y reológicas como variables independientes. Correlación simple entre el diámetro de la galleta y los componentes de la harina, pruebas reológicas, viscosidad extensional biaxial de la masa. Estos análisis fueron realizados en el JMP versión 4.0.4 (SAS, 2001).

### **Análisis de Regresión**

El procedimiento de regresión por pasos fue usado para derivar el mejor modelo como medio predictor del diámetro de la galleta.

**Tabla 2.** Diseño de Experimento Completamente al Azar.

Trat	Rep	1	2	3	4	5	6
Suave (S)		S1	S2	S3	S4	S5	S6
Mezcla (M)		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Fuerte (F)		F1	F3	F3	F4	F5	F6



## RESULTADOS Y DISCUSION

### Análisis Físico de las Harinas

**Distribución del Tamaño de Partícula de la Harina.** Los valores promedio de la distribución del tamaño de partícula se observan en la Tabla 3. De acuerdo al ANDEVA se encontró que estas son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

En la harina de trigo suave el tamaño de partícula de la harina el porcentaje mayoritario oscilo de  $-50$  a  $100 \mu m$ . Para la mezcla de harinas de trigo se observó que la distribución del tamaño de partícula oscilo de  $50$  a  $140 \mu m$ . Para la harina de trigo fuerte se observó que la distribución de la partícula osciló de  $50$  a  $140 \mu m$ .

Manley (2000) menciona que los tamaños de partícula en una harina para galleta deber ser preferentemente  $50 \mu m$  con un 10% de partículas con tamaño de  $130 \mu m$  porque estas características en las harinas de trigo dan galletas con una baja densidad y se espera una mayor expansión de la galleta.

La harina de trigo suave muestra dentro de la distribución del tamaño de partícula cuya mayor proporción se encuentra de  $-50 \mu m$  a  $100 \mu m$  y es unas de las características deseables en harinas para galletas (Manley, 2000).

La mezcla de harinas y la harina de trigo fuerte muestran una distribución de partícula de la harina muy similar, cuyo porcentaje se oscila de  $50 \mu m$  a  $140 \mu m$  cuyas variaciones en el tamaño de su partícula de las harinas se pueden reflejar en el diámetro de la galleta. Sin embargo, cuando se utilizan tamaños de partícula finos obtenidos con harina de trigo fuerte y con estos se elaboran masas fuertes, estos tienden a dar galletas con una gran densidad y una menor expansión y desarrollo durante el horneado (Manley, 2000).

**Tabla 3.** Distribución del tamaño de partícula de las diferentes harinas de trigo<sup>1</sup>

Tipo de harina	Malla con abertura ( $\mu\text{m}$ )				
	160	140	100	50	-50
Suave	2.39 $\pm$ 0.24 <sup>a</sup>	10.09 $\pm$ 1.76 <sup>b</sup>	33.60 $\pm$ 2.29 <sup>c</sup>	41.06 $\pm$ 1.45 <sup>a</sup>	12.83 $\pm$ 2.13 <sup>a</sup>
Mezcla	0.91 $\pm$ 0.27 <sup>c</sup>	19.81 $\pm$ 1.07 <sup>a</sup>	41.54 $\pm$ 2.46 <sup>a</sup>	33.06 $\pm$ 0.45 <sup>c</sup>	4.66 $\pm$ 4.17 <sup>b</sup>
Fuerte	1.72 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>	20.79 $\pm$ 0.78 <sup>a</sup>	37.17 $\pm$ 0.83 <sup>b</sup>	35.43 $\pm$ 1.38 <sup>b</sup>	4.86 $\pm$ 1.44 <sup>b</sup>

<sup>1</sup> Promedio de 6 repeticiones

<sup>2</sup> Dentro de la columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).



## Análisis Químico de las Harinas

**Contenido de humedad.** Los valores promedio de las humedades de las harinas se muestran en la tabla 4. De acuerdo al ANDEVA se encontró que éstas son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). El contenido de humedad varió de 11.05 a 14.13 %, siendo los valores promedio de la humedad en la harina de trigo suave de 11.05%, para la mezcla de harinas fue de 12.9% y para la harina de trigo fuerte de 14.13%. Sin embargo, en el análisis de regresión múltiple, el contenido de la humedad de la harina no mostró diferencia significativa ( $p > 0.05$ ) y no es un criterio determinante en la calidad de la harina para galletas.

**Contenido de cenizas.** Los valores promedio de las cenizas se muestran en la tabla 4. De acuerdo al ANDEVA encontró que éstas son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ). El contenido de cenizas varió de 0.48 a 0.54% en las harinas analizadas. Siendo, los valores promedio de las cenizas en la harina de trigo suave fue de 0.48%, para la mezcla de harinas fue de 0.52% y para la harina de trigo fuerte 0.54 %.

El experimento mostró que el contenido de cenizas tiene una relación de segundo orden ( $r^2 = 0.73$ ) con el diámetro de la galleta. A medida que aumenta el contenido de cenizas, el diámetro de la galleta disminuye como se observa en la Fig 1. Sin embargo, en el análisis de regresión múltiple, el contenido de cenizas en la harina mostró una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) y se considera como un factor de calidad importante en la calidad de una harina para galleta.

Los valores obtenidos en las harinas analizadas (0.48 a 0.52%) se encuentran dentro de lo especificado por Hosney (1988) quien menciona que el contenido de cenizas en una harina para galleta deben estar entre 0.42 y 0.5%.

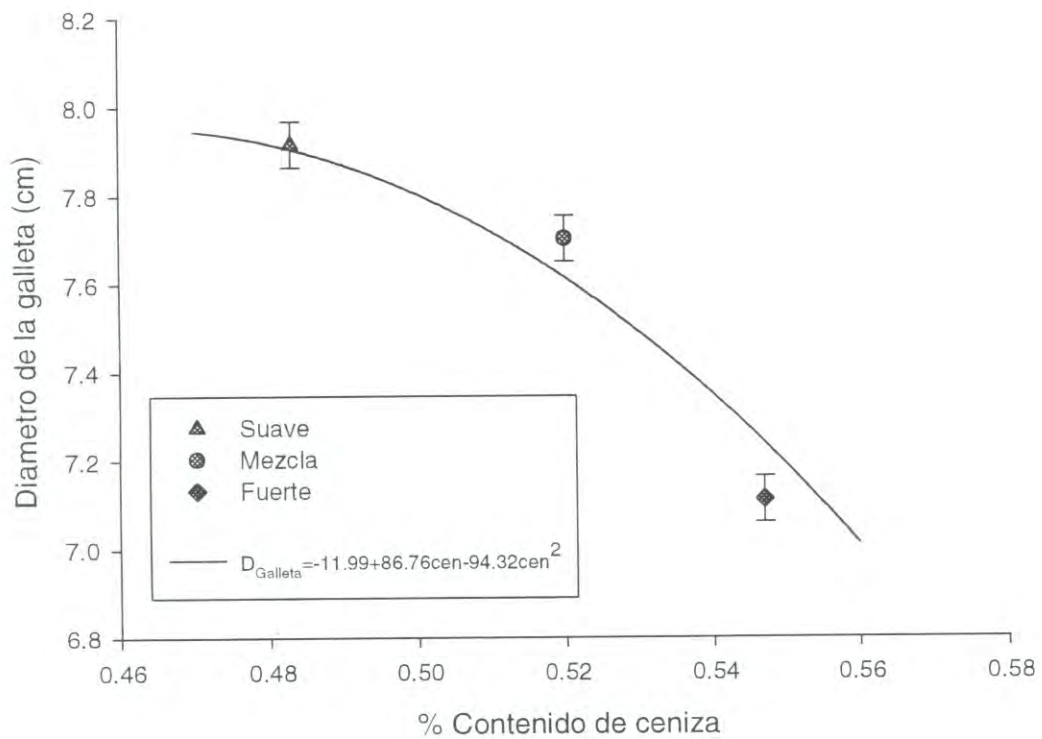
**Tabla 4.** Contenido de humedad, cenizas y proteína de las harinas de trigo<sup>1</sup>

<b>Tipo de harina</b>	<b>Contenido de humedad<sup>2</sup></b> (%)	<b>Contenido de cenizas<sup>2</sup></b> (%)	<b>Contenido de proteína<sup>2</sup></b> (%)
Suave	11.05 ± 0.25 <sup>c</sup>	0.48 ± 0.01 <sup>c</sup>	8.24 ± 0.01 <sup>c</sup>
Mezcla	12.90 ± 0.26 <sup>b</sup>	0.52 ± 0.01 <sup>b</sup>	9.25 ± 0.19 <sup>b</sup>
Fuerte	14.13 ± 0.32 <sup>a</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>a</sup>	10.43 ± 0.07 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Promedio de 6 repeticiones

<sup>2</sup> Dentro de la columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p<0.05).





**Fig. 1.** Contenido de cenizas en las harinas y su relación con el diámetro de la galleta.

Además, dicho rango es un indicativo de la eficiencia del proceso de molienda (Kaldy y Rubenthaler, 1987; Pomeranz, 1988).

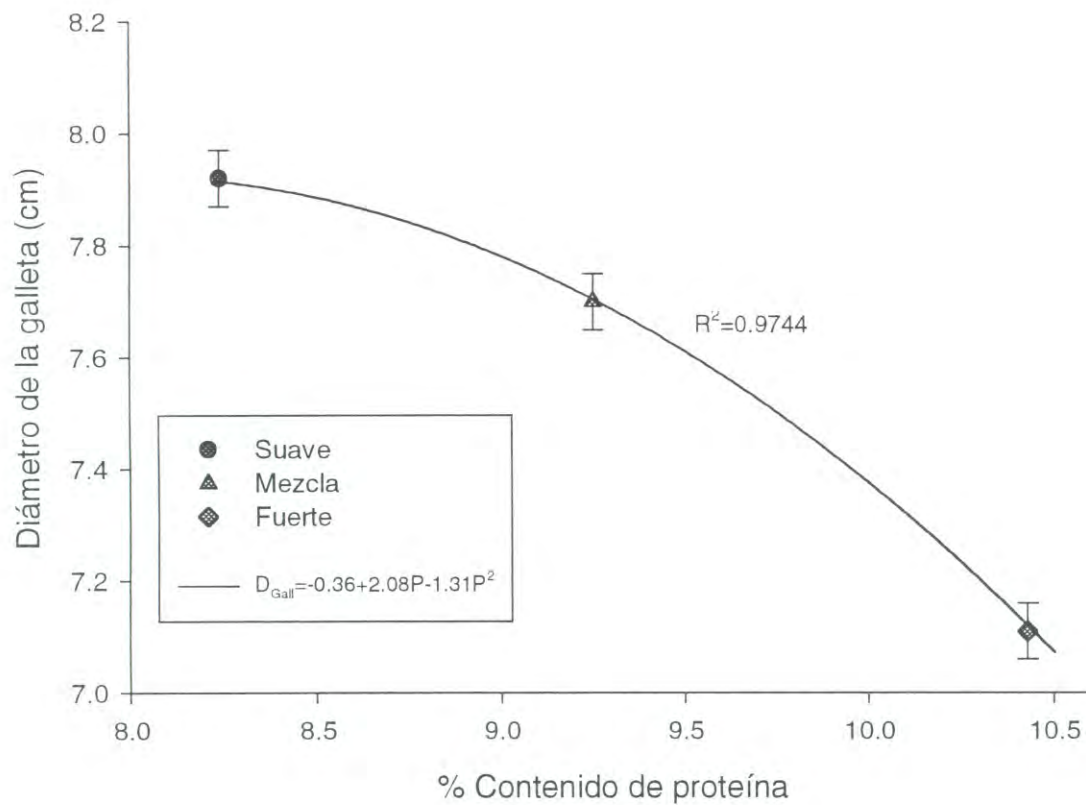
**Contenido de proteína.** Los valores promedio del contenido de proteína se muestran en la tabla 4. De acuerdo al ANDEVA se encontró que éstas son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre los tipos de harinas (Tabla 4). El contenido de proteína osciló de 8.24 a 10.43% en las harinas de trigo. La harina de trigo suave tuvo 8.24%, para la mezcla de harinas fue de 9.25% y 10.43% para la harina de trigo fuerte. El experimento mostró que la cantidad de proteína tiene una relación de segundo orden ( $r^2 = 0.97$ ) con el diámetro de la galleta (Fig 2).

El análisis mostró que el contenido de proteína en la harina fue significativo ( $p < 0.05$ ) y se considera como un factor de calidad importante en la calidad de una harina para galleta (Abboud, 1983; Hou *et al.*, 1996b).

Los resultados del contenido de proteína de las harinas de trigo suave y la mezcla (8.24 y 9.25%), concuerdan con los encontrados con Nemeth *et al* (1994) quienes evaluaron algunas variedades de trigo suave de Canadá, Australia y Estados Unidos y encontraron que el contenido de proteína osciló de 8.5 a 9%, lo cual concuerda con lo especificado en harinas para galletas (Pomeranz, 1988). Hou *et al.* (1996a) analizaron harina de trigos suaves y encontraron que el contenido de proteína de la harina fue un factor determinante en el diámetro de la galleta.

Para considerar al contenido de proteína como un factor determinante en una harina para galleta se debe tener en cuenta: a) los antecedentes genéticos del trigo, b) el nivel de proteína en la harina y c) el tamaño molecular de las subunidades de proteína. Las proteínas de la harina no forman una red continua del gluten en las masas para galleta debido a las características básicas de la proteína y a las condiciones de preparación (pH, nivel de agua, azúcar, manteca y





**Fig. 2:** Efecto del contenido de proteína y su relación con el diámetro de la galleta.

bajo consumo de energía en el mezclado). La expansión de la galleta es atribuida a los cambios de movilidad de las proteínas durante el proceso de horneado (Kulp y Olewnik, 1989).

Miller (1997) evaluó harinas de trigo suave y fuerte, encontró que la relación de azúcar a proteína fue mayor en las masas para galleta hechas con la harina de trigo suave que en galletas hechas con la harina de trigo fuerte. La relación entre el contenido de proteína dividido entre el contenido del nivel de azúcar en la formulación por la cantidad de proteína en la harina. Este criterio, se debió a que las masas para galletas hechas con harina de trigo suave contienen más azúcar por unidad de proteína, la temperatura de transición vítrea aumentó a altas temperaturas en comparación con masas para galletas hechas con harina de trigo fuerte el cual contiene menos azúcar por unidad de proteína. Por lo tanto, la diferencia en el tiempo en el cual se fija la estructura de la galleta entre masas hechas con harinas de trigo fuerte y suave parece ser provocado por la diferencia en el contenido de proteína de la harina.

Sin embargo, es más importante la calidad de la proteína en las harinas de trigo suave que un contenido de proteína en específico (Abboud, 1983). Hou *et al.* (1996a) encontró que pequeñas diferencias en el contenido de proteína entre las harinas, por si sólo, no es el responsable de las variaciones en las propiedades de mezclado y la calidad de horneado de la galleta.

**Contenido de gluten.** Los valores promedio del contenido de gluten seco y húmedo se muestran en la tabla 5. De acuerdo al ANDEVA se encontró que son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre los diferentes tipos de harinas. Los valores del gluten seco oscilaron entre 8.28 y 11.19%. La harina de trigo suave tuvo el valor promedio de 8.28%, la mezcla de harina de trigo fue de 9.40% y la harina de trigo fuerte de 11.19%.



**Tabla 5.** Contenido de gluten seco y gluten húmedo de las harinas de trigo<sup>1</sup>

<b>Tipo de harina</b>	<b>Gluten seco<sup>2</sup></b> (%)	<b>Gluten húmedo<sup>2</sup></b> (%)
<b>Suave</b>	8.60 ± 0.47 <sup>c</sup>	23.69 ± 1.05 <sup>c</sup>
<b>Mezcla</b>	9.43 ± 0.18 <sup>b</sup>	27.10 ± 1.03 <sup>b</sup>
<b>Fuerte</b>	11.37 ± 0.10 <sup>a</sup>	32.06 ± 0.34 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Promedio de 6 repeticiones

<sup>2</sup> Dentro de una columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p<0.05)

Asimismo, en el análisis de regresión múltiple mostró que solamente el contenido de gluten seco tiene efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la harina para galleta.

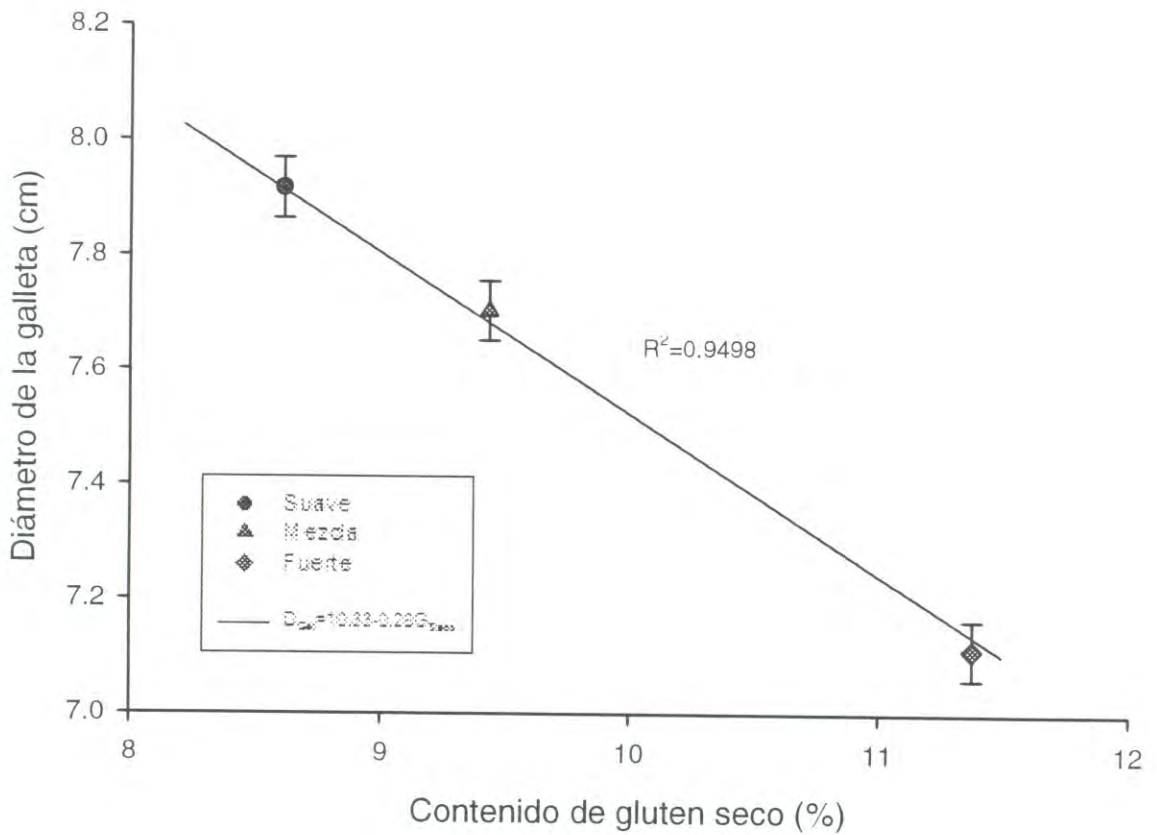
Los valores del gluten húmedo oscilaron en un rango de 23.69% a 32.06%. La harina de trigo suave presentó una menor cantidad de gluten húmedo con un 23.69%. La mezcla de harinas de trigo y la harina de trigo fuerte mostraron valores de 27.1% y 32.06%, respectivamente.

Investigaciones previas han demostrado que para la harina de trigo suave, las proteínas del gluten tienen un efecto total en la calidad de las galletas (Gaines y Finney, 1989; Kulp y Olewnik, 1989; Gaines, 1990). Para la elaboración de productos de trigo suave generalmente requieren harinas con un bajo contenido de proteína y un gluten débil (Bettge *et al.*, 1989).

Las proteínas del gluten como las gliadinas contribuyen a la extensibilidad de la masa y las gluteninas a la fuerza y elasticidad de la masa (Wall, 1979). La fuerza del gluten está en función de la concentración de proteínas y la composición proteica. Las características de mezclado mecánicas, la extensibilidad y la elasticidad de la masa son determinadas primeramente por el gluten. La fuerza del gluten requerida varía dependiendo del producto que se quiera elaborar. Por ejemplo, la galleta salada y pan plano se requiere un gluten fuerte y para galleta dulce se requiere gluten débil. El desarrollo de un gluten fuerte formado por la proteína de la harina está negativamente asociado con calidad de la galleta dulce (Bettge *et al.*, 1989)

En un estudio de reconstitución del trigo se evaluó las distintas fracciones de la harina de trigo fuerte y suave. Se encontró que la fracción gluten en las harinas no tiene un efecto significativo sobre la expansión de las galletas dulces y se encontró que el gluten puede ser menospreciado completamente de las harinas de trigo para galleta (Sollars y Bowie, 1966; Hayash *et al.*, 1976; Donelson, 1988).





**Fig. 3.** Contenido de gluten seco de las harinas y su relación con el diámetro de la galleta.

Hou *et al.* (1996) reportó en un estudio realizado en harinas de trigo suave de Estados Unidos que la  $\alpha$ -gliadina puede disminuir la fuerza de la masa. Menciona también que el contenido de proteína de la harina y la composición de las proteínas del gluten tales como, el contenido de las subunidades de glutenina y la gliadina difieren de la variedad de trigo empleada en la elaboración de galletas. Además, encontraron que cierta cantidad de subunidades tales como: las  $\beta$ -gliadinas correlaciona con el diámetro de la galleta.

### **Análisis Fisicoquímico de las Harinas**

**Capacidad de retención de agua alcalina (CRAA).** La capacidad de retención de agua alcalina es actualmente el método más usado en la determinación de la calidad de una harina para galleta. Yamazaki (1953) desarrolló este método para evaluar a las harinas de trigo suave y su potencial en el proceso de horneado. Los valores de la capacidad de retención de agua alcalina oscilaron de 83.06 a 83.81%. Para la harina de trigo suave fue de 83.01%, la mezcla de harinas con un 83.81% y la harina de trigo fuerte fue de 83.06% (Tabla 6). Para las harinas analizadas se tuvo un coeficiente de correlación de  $r^2 = 0.01$  muy bajo. Sin embargo, esta técnica no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ).

La variación en los valores de capacidad de retención de solventes de una harina de trigo se pueden deber a los altos niveles de extracción de la harina. Altos niveles de extracción de la harina, pueden resultar en valores elevados de almidón dañado y fracciones de salvado dentro de la harina las cuales pueden elevar los valores de capacidad de retención de solventes, particularmente en el método de retención de solventes de bicarbonato de sodio y de sacarosa (Guttieri *et al.*, 2003).



**Tabla 6.** Capacidad de retención de agua alcalina (CRAA) y número de caída de las harinas de trigo<sup>1</sup>

<b>Tipo de harina</b>	<b>C R A A <sup>2</sup></b> <b>(%)</b>	<b>Número de caída<sup>2</sup></b> <b>(s)</b>
Suave	83.06 ± 1.74 <sup>a</sup>	237.00 ± 10.50 <sup>c</sup>
Mezcla	83.81 ± 5.18 <sup>a</sup>	332.83 ± 8.40 <sup>b</sup>
Fuerte	83.01 ± 3.96 <sup>a</sup>	551.16 ± 36.48 <sup>a</sup>

CRAA: Capacidad de retención de agua alcalina

<sup>1</sup> Promedio de 6 repeticiones

<sup>2</sup> Dentro de la columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).

Los valores aceptables de la retención de agua alcalina en una harina para galleta van de 50-54 %. Pomeranz (1988) reporta que los valores altos obtenidos en esta prueba son indicadores de que se obtendrán galletas con diámetros pequeños. Nemeth *et al.* (1994) reporta que la prueba de capacidad de retención de agua alcalina no tiene la habilidad para relacionar al país de origen del trigo. Sin embargo, Yamazaki (1953) encontró una correlación negativa grande entre la CRAA y el diámetro de la galleta.

**Número de caída.** Los valores promedio del número de caída de las harinas de trigo oscilaron de 237 a 551 s. Para la harina de trigo suave fueron de 237 s, para la mezcla de harinas de trigo fueron de 332 s y para la harina de trigo fuerte fue de 551 s (Tabla 6). En el análisis de las harinas evaluadas respecto al número de caída se encontró que estas son estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre los tipos de harinas. Sin embargo en el análisis de regresión múltiple mostró que el número de caída no fue estadísticamente significativa ( $p > 0.05$ ).

Los resultados obtenidos concuerdan con parte de las investigaciones realizadas. En harinas de trigo con un número de caída por debajo de 300 s se sospecha de que tienen algún daño por germinación (Quaglia, 1991). Kaldy y Rubenthaler (1987) encontraron que el diámetro de la galleta no fue afectado por la variación en el número de caída. Sin embargo, en su estudio realizado en calidad de harina para galleta, encontraron que algunas harinas empleadas producían galletas con diámetros grandes lo cual fue provocado por la licuefacción del almidón producto de la acción enzimática.

Mailhot y Patton. (1988) reportaron que se requiere de un valor de número de caída mínimo de 250 s para galletas y pasteles. Se encontró, que la harina de trigo suave tiene el menor Número de Caída con 237 s y la mezcla de harinas de trigo con 332.83 s. Bajo este panorama la mezcla de harina de trigo tiene un comportamiento más cercano a la harina de trigo suave, lo cual lo hace viable la mezcla a ser utilizada en la elaboración de galletas.



## Análisis Reológicos de las Masas

### Farinogramas

En la tabla 7 se muestran los valores promedio de la absorción de agua, tiempo de desarrollo, estabilidad e índice de tolerancia al amasado (ITM) basados en el ANDEVA este muestra diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las distintas harinas. El porcentaje de absorción de agua presentó diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las harinas, la absorción de agua oscilo de 56.5 a 62.15%. Para la harina de trigo suave fue de 56.5%, 58.3% para la mezcla de harinas y 62.15% para la harina de trigo fuerte. La estabilidad presento diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las harinas evaluadas. La harina de trigo suave presento una estabilidad de 3.5 min, para la mezcla de harinas fue de 5.95 min y para la harina de trigo fuerte fue de 7.25 min. En el tiempo de mezclado mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las harinas analizadas. La harina de trigo suave fue de 2.25 min, para la mezcla de harinas fue de 4.75 min y para la harina de trigo fuerte fue de 7.75 min. Sin embargo, análisis de regresión múltiple mostró que los parámetros del farinógrafo no tienen una relación directa con el diámetro de la galleta ( $P > 0.05$ ).

Sin embargo, en la evaluación de las propiedades reológicas de las masas de harinas de trigo suave y la mezcla son las ideales para galletas, debido a que sus propiedades de absorción de agua y de mezclado son características de harinas con bajo contenido de proteína y de harinas débiles. Las harinas de trigo suave y la mezcla de harinas tienen una baja absorción de agua (56.5 y 58.5%), estabilidad pobre (3.5 y 5.95 min) y tiempo de mezclado cortos (2.25 a 4.75 min) estas características son consideradas harinas aptas para la elaboración de galletas (Nemeth, 1994; Pedersen *et al.*, 2004). Nemeth (1994) reportó que harinas con características de absorción de 58.5% y tiempo de mezclado de 4.5 min son características de las harinas medio suaves.

**Tabla 7.** Propiedades reológicas de las masas de harina de trigo medidas con el farinógrafo<sup>1</sup>

<b>Tipo de harina</b>	<b>Absorción de agua* (%)</b>	<b>Estabilidad * (min)</b>	<b>Tiempo de mezclado* (min)</b>
Suave	56.5 ± 0.35 <sup>c</sup>	3.5 ± 0.7 <sup>c</sup>	2.25 ± 0.00 <sup>c</sup>
Mezcla	58.3 ± 0.00 <sup>b</sup>	5.95 ± 0.21 <sup>b</sup>	4.75 ± 0.21 <sup>b</sup>
Fuerte	62.15 ± 0.21 <sup>a</sup>	7.25 ± 1.06 <sup>a</sup>	7.75 ± 0.27 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Promedio de 6 repeticiones

\* Dentro de una misma columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes (p<0.05).



## Alveogramas

Dentro de los parámetros medidos con el alveografo, se incluyen; la tenacidad o presión máxima que expresa la resistencia de la masa a la deformación (P), el trabajo necesario para deformar la masa hasta la ruptura (W), la extensibilidad de la masa (L) y la relación de tenacidad / extensibilidad (P/L) de las harinas de trigo suave, fuerte y su mezcla (Tabla 8).

El valor P para las diferentes harinas analizadas mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) Los valores muestran diferencias significativas entre los diferentes tipos de harinas de trigo. Para el valor P para las harinas oscilo de 38.5 a 94.00 mm: Para la harina de trigo suave fue de 38.5 mm, para la mezcla de harinas fue de 54.5 mm y para la harina de trigo fuerte 94.00 mm.

Los valores de W para las diferentes harinas evaluadas oscilaron de 71.5 a  $257 \times 10^4$  J. El valor W para la harina de trigo suave fue de  $71.5 \times 10^4$  J, para la mezcla de harinas fue de  $159.5 \times 10^4$  J y para la harina de trigo fuerte fue de  $257 \times 10^4$  J.

El valor de P/ L varió de 0.56 a 1.1. Los valores para la harina de trigo suave fue de 0.56, para la mezcla de harinas fue de 0.73 y para la harina de trigo fuerte fue de 1.11.

El valor de L entre las diferentes tipos de harinas oscilo entre 69.5 a 84.5 mm. Para la harina de trigo suave fue de 69.5 mm, para la mezcla de harinas fue de 74 mm y para la harina de trigo fuerte fue de 84.5 mm. Sin embargo, el análisis de regresión múltiple mostró que los parámetros del alveografo no tienen una relación directa con el diámetro de la galleta ( $P > 0.05$ ).

**Tabla 8.** Propiedades reológicas de las masas de harina de trigo obtenidas con el alveografo<sup>1</sup>

Tipo de harina	P* (mm)	L* (mm)	W* (10 <sup>-4</sup> Joules)	P/L*
Suave	38.50 ± 3.53 <sup>c</sup>	69.50 ± 7.77 <sup>c</sup>	71.50 ± 12.02 <sup>c</sup>	0.56 ± 0.01 <sup>c</sup>
Mezcla	54.50 ± 4.94 <sup>b</sup>	74.00 ± 2.82 <sup>b</sup>	159.50 ± 4.94 <sup>b</sup>	0.73 ± 0.57 <sup>b</sup>
Fuerte	94.00 ± 9.89 <sup>a</sup>	84.50 ± 0.70 <sup>a</sup>	257.00 ± 21.21 <sup>a</sup>	1.1 ± 0.12 <sup>a</sup>

P= tenacidad; L=extensibilidad; W= Trabajo de deformación o índice de fuerza de la masa; Relación P/L= Tenacidad/ extensibilidad.

<sup>1</sup> Promedio de 6 repeticiones.

\* Dentro de la columna, las medias con la misma letra no son significativamente diferentes. (p<0.05).



Considerando los valores pequeños de P y W de la harina de trigo suave (P: 38 mm; W:  $71.5 \times 10^{-4}$ ) y los valores grandes de L (69.5 mm) son indicadores de una harina de trigo débil (Walker *et al.*, 1996). Se especula que el valor de extensibilidad grande (indicado por un P/L bajo puede explicar los diámetros de las galletas (Agyare *et al.*, 2005) y el valor de configuración P/L de 0.56 es indicativo de que la masa es extensible y tiene una fuerza muy baja (Faridi and Rasper, 1987).

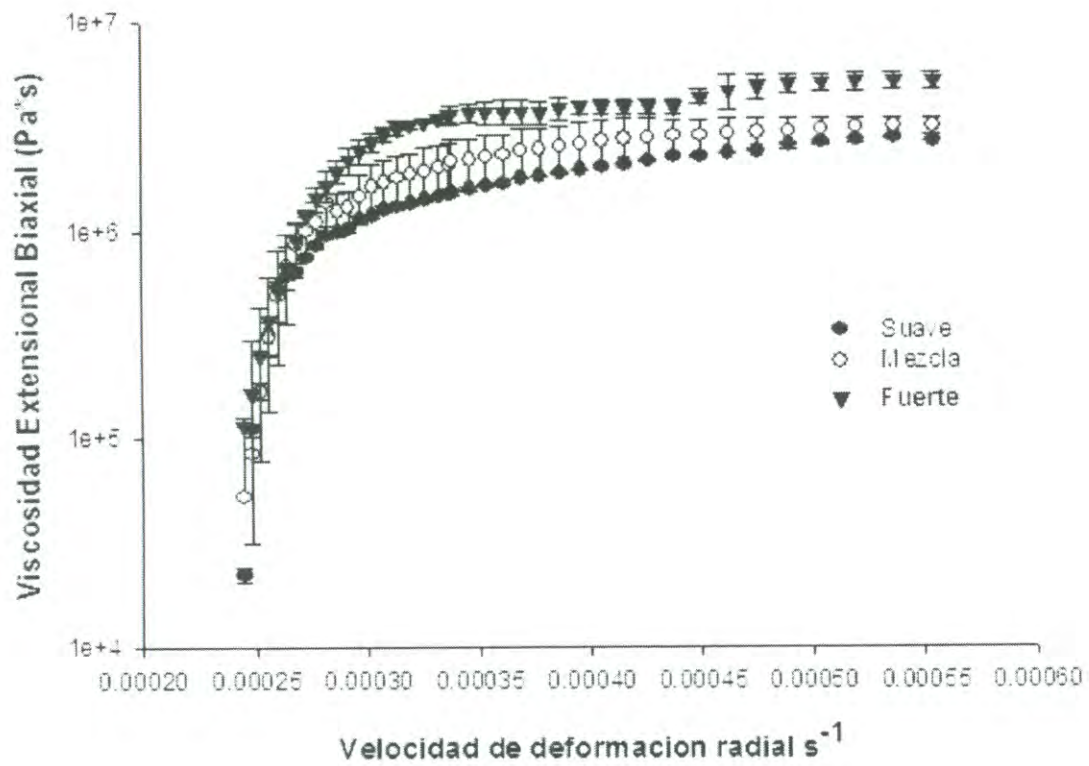
Respecto, a la mezcla de harinas (P: 64.5 mm; W:  $159.5 \times 10^{-4}$ ; L: 74.00 mm y P/L: 0.73) por las características que presenta la mezcla presenta características similares de una masa débil, sin embargo, el valor de P y W son relativamente altos lo cual indica que es más tenaz y con mayor fuerza de ruptura mostrando que la harina es media suave y su valor de configuración P/L de 0.73 es indicativo de que la masa es extensible (Faridi and Rasper, 1987).

Los valores W y P para la harina de trigo fuerte (P: 94 mm; W:  $257.00 \times 10^{-4}$ ) son valores grandes y los valores cortos o medianos de L (L: 84.5 mm) son indicadores de harinas de trigo fuertes. Por ejemplo, un valor grande de P y un valor pequeño de L pueden denotar una masa muy elástica (Walker, 1996).

Nemeth *et al.* (1994) encontró que las mediciones del alveógrafo proveen como un buen predictor en la calidad de la galleta y puede ser un indicativo por la correlación encontrada entre los parámetros del alveógrafo y la expansión de la galleta. El parámetro de mayor importancia es la relación existente entre la tenacidad y extensibilidad (P/L) el cual está relacionado con el factor de expansión de la galleta.

### **Compresión Uniaxial con Lubricación**

La viscosidad extensional biaxial fue significativamente diferente para cada tipo de harina evaluada como se puede ver en la Fig. 4 donde se muestran las



**Fig. 4.** Viscosidad extensional biaxial de las masas de harina de trigo contra velocidad de deformación extensional radial.



curvas obtenidas de la viscosidad extensional biaxial de las masas de harina de trigo para galleta contra la velocidad de deformación radial. Se observa que las masas elaboradas con harina de trigo fuerte tuvieron la mayor viscosidad ( $5.19 \times 10^6 \pm 1.05 \times 10^5$ ). La mezcla de harinas de trigo tuvo una viscosidad de valor intermedio ( $3.25 \times 10^6 \pm 3.54 \times 10^5$ ) y las masas elaboradas con harina de trigo suave tuvieron una menor viscosidad ( $2.68 \times 10^6 \pm 1.01 \times 10^4$ ). El análisis de varianza mostró que fueron significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ) en la viscosidad extensional biaxial de las masas de harina de trigo evaluadas. Los valores utilizados de la viscosidad extensional biaxial de las masas de harina de trigo (Tabla 9) se tomaron en el punto máximo de la curvas. Además, mostró que la viscosidad extensional biaxial es un parámetro de calidad importante en la masa para galleta ( $P < 0.05$ ).

Miller y Hosney (1997a) utilizaron la técnica de compresión uniaxial con lubricación para la evaluar la viscosidad elongacional biaxial en masas de harina de trigo suave y fuerte elaboradas con la formulación de la galleta dulce (método 10-50 AACC, 2001) y cuyos valores encontrados para la masa de harina de trigo fuerte fueron de  $5.88 \times 10^6 \pm 9.17 \times 10^4$  y para la masa de harina de trigo suave de  $2.17 \times 10^6 \pm 1.05 \times 10^5$  Pa . s.

Además, encontraron que las diferencias en las viscosidades son grandes entre una masa para galleta hecha con harina de trigo suave y fuerte. Lo anterior, concuerda con los datos obtenidos, debido a que existen grandes diferencias entre la viscosidad de las masas de harina de trigo suave y la mezcla respecto a la viscosidad de la masa de harina de trigo fuerte (Kaldy y Rubenthaler, 1987; Miller *et al.*, 1997a).

El comportamiento de la mezcla de harinas de trigo muestra más un comportamiento de masa de harina de trigo suave que de fuerte. Las masas para galletas elaboradas con la formulación para galleta dulce (Fig 5) muestran como el

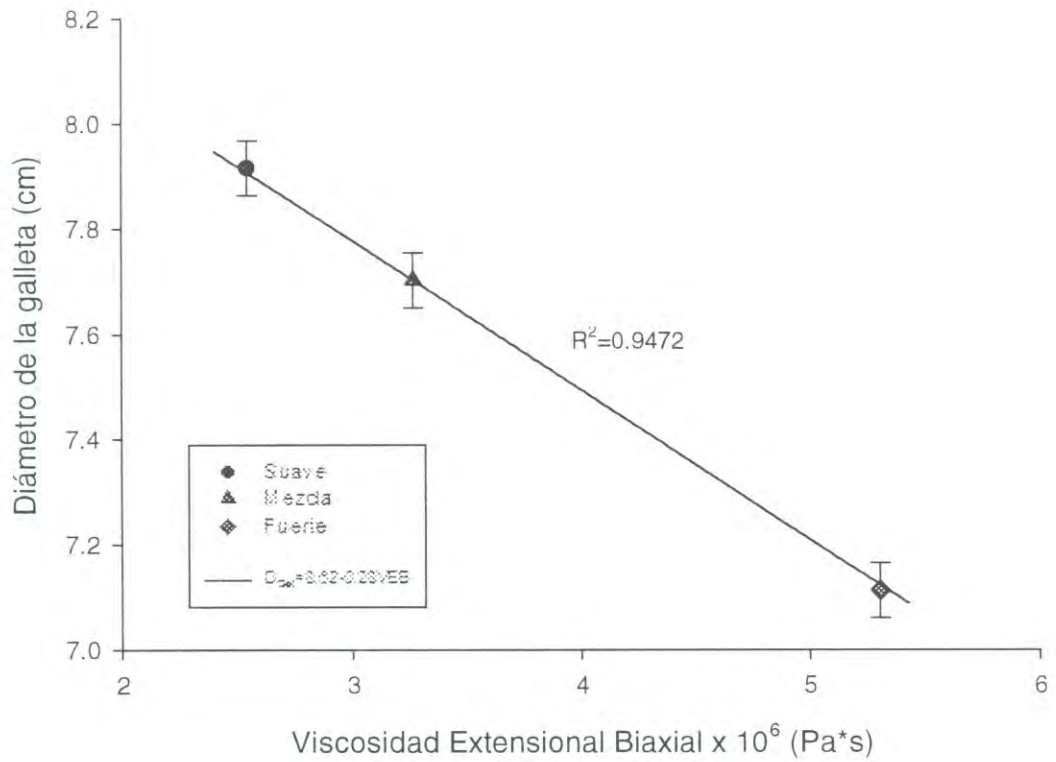


**Tabla 9.** Viscosidad extensional biaxial de las masas de harina de trigo para galleta <sup>1</sup>

Tipo de harina	Viscosidad extensional biaxial <sup>2</sup> (Pa*s x 10 <sup>6</sup> )
Suave	2.68 x 10 <sup>6</sup> ± 1.05 x 10 <sup>4</sup> c
Mezcla	3.25 x 10 <sup>6</sup> ± 1.012 x 10 <sup>5</sup> b
Fuerte	5.19 x 10 <sup>6</sup> ± 3.546 x 10 <sup>5</sup> a

<sup>1</sup> Promedio de 6 repeticiones

<sup>2</sup> Dentro de una misma columna, medias con la misma letra no son diferentes (p<0.05).



**Fig. 5.** Viscosidad extensional biaxial de las masas de harina de trigo para galleta y su relación con el diámetro de la galleta.

diámetro de la galleta decrece cuando la viscosidad extensional se incrementa. La viscosidad extensional de la masa para galleta obtenida con la formulación para galleta dulce fue significativa y correlaciona altamente con el diámetro de la galleta ( $p < 0.05$ ). La viscosidad extensional biaxial bajo las condiciones de este experimento se encontró que está relacionada con el diámetro ( $r^2 = 0.94$ ) y fue capaz de medir las diferencias en las masas para galleta hechas con la mezcla de harinas de las masas elaboradas con las harinas de trigo de suave y fuerte.

Las masas elaboradas con harinas de trigo suave tienen una menor viscosidad y las masas de harina de trigo fuerte tienen una mayor viscosidad. Los resultados concuerdan con lo encontrado por Kaldy y Rubenthaler (1987) quienes reportaron que con un alto contenido de proteína se tiene una mayor viscosidad y se refleja en la expansión de la galleta obteniéndose diámetros más pequeños. Además, encontraron que conforme se incrementaba el contenido de proteína el diámetro de la galleta disminuye.

Miller (1997b) encontró que el almidón dañado y el almidón soluble afectan la viscosidad de la masa. Los gránulos de almidón dañado incrementan la viscosidad de la fase acuosa por las grandes cantidades de absorción de agua mientras que el almidón soluble incrementa la viscosidad de la fase no acuosa. Los cambios que ocurren en la viscosidad se pueden deber a la combinación de estas dos fracciones o al nivel del agua en la masa, los cuales pueden afectar la expansión de la galleta.

Es conocido, que la viscosidad de las masas para galleta depende del contenido de proteína de la harina de trigo. Las masas para galletas elaboradas con harina de trigo suave tienen un bajo contenido de proteína (8.2 %) y más baja viscosidad. Las masas elaboradas con la mezcla de harinas de trigos tienen un contenido de proteína intermedio (9.2 %) tiene una viscosidad intermedia. Las masas elaboradas con la harina de trigo fuerte tienen el mayor contenido de proteína (10.4 %) y resultaron ser la masas más viscosa. Kaldy y Rubenthaler



(1987) mencionan que conforme aumenta el contenido de proteína la masa se hace más viscosa y como consecuencia el diámetro de la galleta disminuye. Slade y Levine (1994) mencionan que los mayores componentes hidrofílicos de la formulación en la galleta son; la harina y el azúcar. Si la harina es menos hidrofílica, entonces existe una mayor cantidad de agua disponible para el azúcar y formar jarabe lo cual decrece la viscosidad durante el horneado y cuya expansión de las masas es más rápida produciendo galletas con diámetros más grandes.

En un estudio reportan que la gravedad y la cantidad de leudante en la formulación son constantes, la viscosidad de la masa es quien controla la velocidad a la cual las galletas expanden durante el horneado. Se encontró que, las masas elaboradas con harina de trigo son menos viscosas, y cuyo diámetro de la galleta es mayor en comparación con las masas elaboradas con la mezcla de harina de trigo y la harina de trigo fuerte quienes tienen una mayor viscosidad en comparación las masas de harina de trigo suave. Las masas con baja viscosidad son capaces de expandir a una velocidad más rápida (Yamazaki 1955, Hosney et al, 1988, Hosney y Rogers, 1994). Sin embargo, en la evaluación de la viscosidad, la mezcla de harinas de trigo mostraron un comportamiento similar a la viscosidad de las masas elaboradas con la harina de trigo suave, demostrándose que, esta puede ser utilizada para la elaboración de galletas utilizando una mayor cantidad de harina de trigo fuerte.

### **Prueba de Horneado de la Galleta**

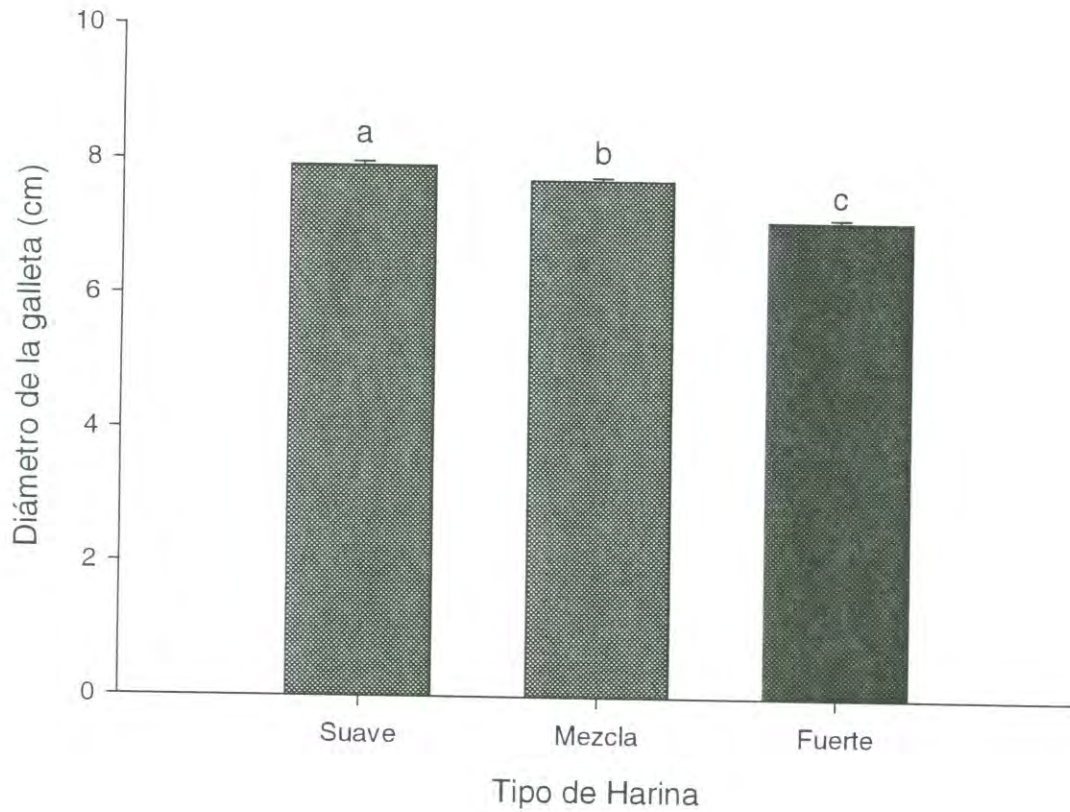
La prueba de horneado de la galleta es una prueba importante en la evaluación de las harinas de trigo suave. El principal criterio de calidad es el incremento del diámetro durante el proceso de horneado, al cual es referido como factor de expansión (Kaldy y Rubenthaler. 1987; Abboud, 1983; Slade y Levine, 1994). El producto horneado es el resultado de muchos factores y fuerzas, tanto internas como externas que actúan sobre la masa durante el horneado.

Las galletas hechas con la harina de trigo suave tuvieron el diámetro más grande (con 7.92 cm), seguido de la mezcla de harinas de trigo con un diámetro intermedio (7.70 cm) y el diámetro más pequeño fue en las galletas elaboradas con la harina de trigo fuerte (7.1 cm) (Fig 6). Así mismo, los diámetros de las galletas obtenidas con las diferentes masas de harinas de trigo, refleja que las galletas de harina de trigo suave tuvieron los diámetros más grandes, seguido de la mezcla de harinas y el diámetro más pequeño se obtuvieron con las harinas de trigo fuerte (Fig 7). En la evaluación del grosor, se observa que hay diferencias significativas entre los tratamientos (Fig 8). Así mismo, las galletas elaboradas con la harina de trigo suave tuvieron la mejor relación de expansión, en comparación con la mezcla de harinas y la harina de trigo fuerte (Tabla 10). En la evaluación del diámetro de las galletas se encontró que estas fueron estadísticamente diferentes ( $p < 0.05$ ) entre las diferentes harinas de trigo.

Las variedades que producen galletas más grandes son consideradas de mejor calidad. Las variedades de trigo usualmente se distinguen ellos mismos en base a la expansión de la galleta, los trigos fuertes producen galletas más pequeñas. Para este caso, las galletas elaboradas con la harina de trigo suave se obtuvieron los mejores diámetros, bajo este criterio, es la de mejor calidad (Minor, 1966; Gaines *et al.*, 1989; Kaldy y Rubenthaler, 1987; Pomeranz, 1988) seguido de la mezcla de harinas de trigo cuyos diámetros en galleta fueron mas cercanos a la harina de trigo suave, y por último, los diámetros más pequeños se obtuvieron con la harina de trigo fuerte, lo cual concuerda con lo encontrado por Gaines *et al* (1989). Esto debido a que las galletas hechas con harinas de trigo suave expanden a una velocidad más rápida que las galletas elaboradas con las harinas de trigo fuerte. Por lo tanto, el diámetro de la galleta esta en función de la velocidad de expansión y el tiempo en que se fija la estructura (Abboud, 1983).

Cuando la galleta es horneada, la manteca se funde, los leudantes producen gas, la viscosidad de la masa decrece, la masa expande en todas las





**Fig. 6.** Tipo de harina de trigo utilizada en la elaboración de galletas y el diámetro obtenido.

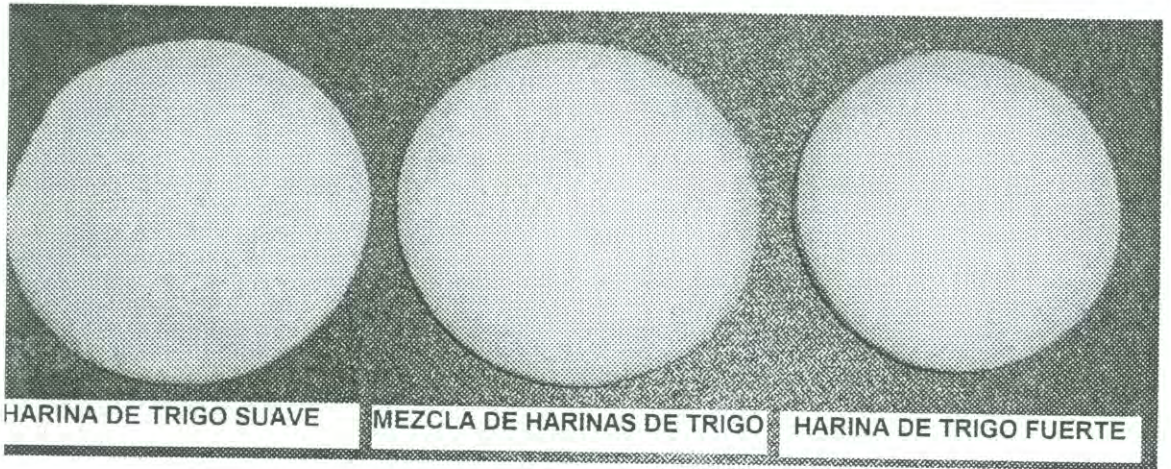


**Tabla 10.** Diámetro, grosor y la relación de expansión de las galletas elaboradas con las masas de diferentes harinas de trigo<sup>1</sup>

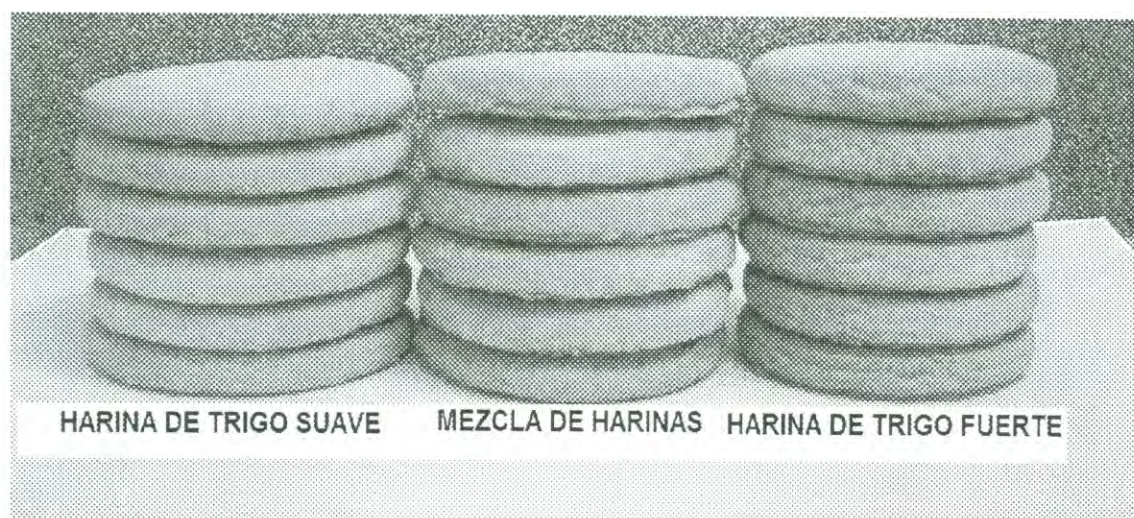
Tipo de harina	Diámetro (cm)*	Grosor (cm)*	Relación D/G*
Harina de trigo suave	7.92± 0.05 <sup>a</sup>	0.95 ± 0.02 <sup>a</sup>	8.33 ± 0.19 <sup>a</sup>
Mezcla de harinas	7.70 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.05 ± 0.02 <sup>b</sup>	7.3 ± 0.23 <sup>b</sup>
Harina de trigo fuerte	7.11 ± 0.05 <sup>c</sup>	1.11 ± 0.04 <sup>c</sup>	6.40 ± 0.25 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Promedio de 6 repeticiones

\*Dentro de la misma columna, medias con la misma letra son significativamente diferentes (p<0.05).



**Fig. 7.** Evaluación del diámetro de las galletas elaboradas con las diferentes masas de harinas de trigo.



**Fig. 8.** Evaluación del grosor de las galletas elaboradas con las diferentes masas de harinas de trigo.



direcciones y las proteínas se vuelven más hidratadas (Gaines, 1990). Al menos dos hipótesis se han propuesto para explicar el mecanismo por el cual la masa para galleta detiene su expansión durante el horneado. Ambas teorías involucran y enfatizan la función crítica de las proteínas de la harina de trigo suave. Levine (1990) sugiere que las proteínas de las harinas de buena calidad (trigo suave) exhiben una expansión viscosa y un arrastramiento seguido de un colapso estructural. La harinas para galleta de pobre calidad (tales como la harina de trigo fuerte) presentan una expansión elástica seguida de un encogimiento sin un aumento abrupto en el diámetro. Doescher *et al.* (1987) propuso que durante el calentamiento de la masa, las proteínas del gluten expanden cuando alcanzan su temperatura de transición vítrea, asimismo la formación de una matriz de gluten decrece la movilidad y como consecuencia incrementa la viscosidad de la masa provocando que la expansión de la galleta se pare. Abboud (1983) observó que el diámetro final de la galleta fue un resultado de la velocidad de expansión y del tiempo en que se fija la estructura.

### **Correlaciones Simples**

Las correlaciones más importantes que tienen relación con el diámetro de la galleta son: contenido de proteína ( $r = -0.96$ ), contenido de cenizas ( $r = -0.85$ ), número de caída ( $r = -0.98$ ), fuerza a la deformación ( $r = -0.95$ ), gluten seco ( $r = -0.97$ ), gluten húmedo ( $r = -0.97$ ), tenacidad ( $r = -0.94$ ), absorción de agua ( $r = -0.99$ ), y la viscosidad extensional de la masa ( $r = -0.97$ ) (Tabla 11).

### **Estudio de Regresión**

En esta parte del estudio, se examinaron la contribución relativa de varios componentes, físicos, químicos y reológicos de las harinas de trigo. Usando un análisis de regresión, se optó por encontrar el mejor modelo para predecir la relación entre esos parámetros de la harina, la masa y el diámetro de la galleta.

Tabla 11. Correlaciones simples (r) entre el diámetro de la galleta, propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y reológicas de las masas de harina de trigo.

	D	CRAA	CEN	PROT	NC	GS	GH	P	L	G	W	P/L	AA	EST	TM	VEB
D	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CRAA	0.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEN	-0.85	0.04	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PROT	-0.96	-0.01	0.94	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NC	-0.98	-0.09	0.88	0.97	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GS	-0.97	-0.11	0.85	0.95	0.96	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GH	-0.96	0.02	0.89	0.96	0.96	0.95	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P	-0.94	-0.01	0.92	0.97	0.94	0.93	0.95	1	-	-	-	-	-	-	-	-
L	-0.61	-0.06	0.28	0.43	0.58	0.56	0.47	0.42	1	-	-	-	-	-	-	-
G	-0.60	-0.06	0.26	0.41	0.57	0.54	0.45	0.40	1.000	1	-	-	-	-	-	-
W	-0.95	0.00	0.92	0.98	0.96	0.94	0.96	1.00	0.430	0.41	1	-	-	-	-	-
P/L	-0.19	-0.03	0.51	0.39	0.22	0.21	0.29	0.43	0.578	-0.60	0.41	1	-	-	-	-
AA	-0.99	-0.04	0.88	0.98	0.99	0.98	0.97	0.95	0.565	0.55	0.96	0.23	1	-	-	-
EST	-0.85	0.04	0.90	0.91	0.86	0.83	0.88	0.97	0.252	0.23	0.96	0.56	0.85	1	-	-
TM	-0.88	0.00	0.80	0.92	0.90	0.87	0.89	0.83	0.379	0.37	0.87	0.28	0.91	0.76	1	-
VEB	-0.97	-0.05	0.86	0.96	0.98	0.96	0.95	0.95	0.619	0.60	0.96	0.18	0.99	0.85	0.88	1

D=diámetro; CRAA=capacidad de retención de agua alcalina; CEN=cenizas; PROT=proteína; NC= Número de caída; G S=Gluten seco; G. H= Gluten húmedo; P= Tenacidad; L=Extensibilidad; W; Trabajo de deformación o índice de fuerza de la masa; Relación P/L= Tenacidad/ extensibilidad; A. A= Absorción de agua; EST= Estabilidad; T M= Tiempo de mezclado y VEB= Viscosidad extensional biaxial.

$$\text{Diámetro de la galleta} = \mu_{ijk} + \beta_P + \beta_L + \beta_{VEB} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$\mu$ = medias de los tratamientos i, j, k

P= contenido de proteína

L= extensibilidad

VEB= viscosidad extensional biaxial

$\varepsilon$ = error de los tratamientos i, j, k

Los resultados del análisis de regresión mostraron que el contenido de proteína es el predictor más fuerte de la calidad de una harina para galleta (Gaines et al, 1985; Hosenev, 1988), seguido de la extensibilidad y viscosidad extensional biaxial. El diámetro de la galleta correlaciona negativamente con el contenido de proteína (Hosenev, 1988) y la viscosidad tiene una relación inversa con el diámetro de la galleta (Kaldy y Rubetnthaler, 1987; Millar y Hosenev, 1997a). Un valor de extensibilidad grande de la masa, nos da un P/L bajo y puede explicar los diámetros de las galletas (Agyare et al, 2005).

La regresión por pasos como medio para predecir el modelo más adecuado para el diámetro de la galleta. Los resultados indican que el contenido de proteína pueden explicar el 97% de la variabilidad del diámetro de la galleta. Agregando a la extensibilidad como la segunda variable  $R^2$  explica sólo el 0.4% y agregando la viscosidad extensional biaxial esta explica solo el 1% (Tabla 12).



**Tabla 12.** Análisis de regresión por pasos para las diferentes tipos de harinas.

<b>Diámetro de la galleta</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>VARIABLES EN EL MODELO</b>
	0.973	Contenido de proteína
	0.977	Contenido de proteína, extensibilidad (L)
	0.984	Contenido de proteína, extensibilidad (L) y VEB*

\*VEB: viscosidad extensional biaxial

## CONCLUSIONES

1. El trigo fuerte con bajo contenido de proteína no puede ser empleado por si solo en la elaboración de galletas, sin embargo, la harina puede ser utilizada en mezclas al 50% con harina de trigo suave debido a que presentó características físicas, químicas, reológicas y el diámetro de la galleta similares a la harina de trigo suave.
2. Las pruebas importantes en la evaluación de la calidad de harina para galleta son: el contenido de proteína en la harina, extensibilidad y viscosidad extensional biaxial de la masa.
3. La técnica de compresión uniaxial con lubricación fue capaz de diferenciar las masas elaboradas con mezclas de harinas de trigo suave y fuerte de las elaboradas con harina de un sólo tipo de trigo y puede ser útil como un medio predictor del diámetro de la galleta.

## RECOMENDACIONES

1. Utilizar a la harina de trigo fuerte con bajo contenido de proteína en mezclas con harinas de trigo suave en igual proporción, con la finalidad de obtener un producto similar a uno elaborado con harina de trigo suave.
2. Evaluar formulaciones para galleta a nivel industrial y el comportamiento reológico de la masa, verificando la relación existente entre el diámetro de la galleta y la viscosidad de las masas.
3. La técnica de compresión uniaxial con lubricación es un método simple, apropiado y puede ser útil para predecir el diámetro de la galleta durante el proceso de horneado.
- 4.- Evaluar las diversas fracciones proteicas de mezclas de harina de trigos suave y fuerte para fundamentar cuales fracciones están directamente relacionadas con el diámetro de la galleta.



## REFERENCIAS

- American Association of Cereal Chemists. 2001. Approved Methods of the AACC, 9<sup>th</sup> ed. Method 08-03; Method 38-12A, Method 44-40, Method 46-13, Method 54-21; Method 54-40; Method 55-30, Method 56-10, Method 50-10 and Method 56-81B. The Association: St. Paul. MN.
- Abboud, A. M. 1983. Factors affecting cookie flour quality. Dissertation. Doctor of Philosophy. Kansas State University. Kansas, USA.
- Agyarea, K.K., Addob, K., Xionga, Y. L., and Akohc, C. C. 2005. Effect of structured lipid on alveograph characteristics, baking and textural qualities of soft wheat flour. *J. Cereal Sci.* 42: 309–316
- Almond, N. 1988. Biscuits, Cookies and Crackers. Elsevier Applied Science. NY, USA.
- Bagley, E. B., and Christianson, D .D. 1986. Response of chemically leavened doughs to uniaxial compression. Pages 27-36 in: *Fundamental of Dough Rheology*. H. Faridi, H. y J. M. Faubion. Eds. Am. Association of Cereal Chemistry. St Paul MN.
- Bettge, A., Rubenthaler, G. L., and Pomeranz, Y. 1989. Alveograph algorithms to predict functional properties of wheat in bread and cookie baking. *Cereal Chem.* 66:81-86.
- Bloskma, A. H., and Bushuk, W. 1988. *Wheat: Chemistry and Technology*. Pomeranz, Y. Editor. Vol II. American Association of Cereal Chemistry Inc. St Paul Minnesota.
- Brenneis, L. S. 1965. Qualitative factors in the evaluation of cookie flours. *Bakers Digest* 39: 66-72.
- Breyer, L.M., and Walker, C. E. 1983. Comparative effects of various sucrose fatty acid esters upon bread and cookies. *J. Food Sci.* 48: 958, 987.
- Campanella, O. H., and Peleg, M. 1987. Squeezing flow viscometry of peanut butter. *J. Food Sci.* 52: 180-184.
- Chatraei, S. A., Makosko, C. W., and Winter, H.H. 1981. Lubricated squeezing flow. A new biaxial extensional rheometer. *J. Reol.* 25: 433-443
- Clements, R.L. 1980. Note on the effect of removal of the free flour lipids on the internal structure of cookie as observed by a Resin-embedding method. *Cereal Chem.* 57: 445-446.

- Clements, R. L., and Donelson, J. R. 1981. Functionality of specific flour lipids in cookies. *Cereal Chem.* 58: 204-206.
- Chevallier, S., Della Valle, G., Colonna, P., Broyant, B., and Trystram, G. 2002. Structural and chemical modifications of short dough during baking. *J. Food Sci.* 35: 1-10
- Cole, E. W., Mecham, D. K., and Pence, J. W. 1960. Effect of flour lipids and some derivatives on cookie-baking characteristics of lipid-free flours. *Cereal Chem.* 37:109-121.
- Cullen-Refall, A., Faubion, J. M., and Hosenev, R.C . 1988. Lubricated uniaxial compression of fermenting doughs. *Cereal Chem.* 65 (5): 401-403
- Cunningham, J. M., and Lemon, H. W. 1964. The effect of sugar level on the physical properties of cookies. *Cereal Science Today* 9 (10): 428-430.
- Doescher, L. C., and Hosenev, R. C. 1985. Effect of sugar type on surface cracking of sugar-snap cookies. *Cereal Chem.* 62: 263-266.
- Doescher, L.C., Hosenev, R. C., and Milliken, G. A., and Rubenthaler, G. L. 1987a. A mechanism for cookie dough setting. *Cereal Chem.* 37: 158-163.
- Doescher, L. C., Hosenev, R. C., and Milliken, G. A. 1987b. Effect of sugars and flours on cookie spread evaluated by time lapse photography. *Cereal Chem.* 64: 163-167.
- Donelson, J. R. 1988. The contribution of high-protein fractions from cake and cookie flours to baking performance. *Cereal Chem.* 65: 389-391.
- Donelson, J. R., and C. S. Gaines. 1988. Starch-water relationships in the sugar snap-cookie dough system. *Cereal Chem.* 75: 660-664.
- Faridi, H., and Faubion, J.M. 1985. *Rheology of Wheat Products*. Ed. American Association of Cereal Chemistry: St. Paul, MN.
- Faridi, H., and Rasper, V. F. 1987. *The Alveograph handbook*. American Association of Cereals Chemist. St. Paul MN.
- Finney, K. F., Yamazaki, W. T., and Morris, V. H. 1950. Effects of varying quantities of sugar, shortening, and ammonium bicarbonate on the spreading and top grain of sugar-snap cookies. *Cereal Chem.* 27:30-41.
- Finney, P. L., Gaines, C. S. and Andrews, L. C. 1981. Wheat quality: A quality assessor's view. *Cereal Food World* 32: 313
- Fuhr, R. 1962. Cookie Spread: its effects on production and quality. *Bakers Digest*



36:56-62.

Fulton, L., and Hogbin, M. 1993. Eating quality of muffins, cake, and cookies prepared with reduced fat and sugar. *J Am. Diet. Assoc.* (11):1313-1316

Gaines, C. S., and Kwolek, W. F. 1982. Influence of ambient temperature, humidity, and flour moisture content on stickness and consistency in sugar-snap cookie doughs. *Cereal Chem.* 59: 507-509

Gaines, C. S. 1985. Associations among soft wheat flour particle size, protein content, chlorine response, kernel hardness, milling quality, white layer cake volume and sugar snap cookie spread. *Cereal Chem.* 62: 290-292.

Gaines, C. S., and Donelson, J. R. 1985. Influence of certain flour quality parameters and postmilling treatments of size of angel food and high-ratio white. *Cereal Chem.* 62: 60-63.

Gaines, C. S., Donelson, J. R., and Finney, P. L. 1988. Effects of damaged starch, chlorine gas, flour particle size, and dough holding time and temperature on cookie dough handling properties and cookie size. *Cereal Chem.* 65: 384

Gaines, C. S., and Finney, P.L. 1989. Effects of selected commercial enzymes on cookie spread and dough consistency. *Cereal Chem.* 66(2): 73-78

Gaines, C. S. 2004. Prediction of sugar-snap cookie diameter using sucrose solvent retention capacity, milling softness and flour protein content. *Cereal Chem.* 81(4) 549-552

Guttiere, M. J., and Souza, E. 2003. Source of variation in the solvent retention capacity of wheat flour. *Crop Science* 43: 1628-1633

Hayashi, M., D'Appolonia, B. L., and Shuey, W. C. 1976. Baking studies on the pin-milled and air-classified flour from four hard red spring wheat varieties. *Cereal Chem.* 53:525-540

Hoseney, R.C., Wade, P., and Finley, J.W., 1988. Soft Wheat Products. In: Y. Pomeranz (Ed.). *Wheat: Chemistry and Technology* pp. 407-456. 3rd ed. Vol.2. in: Y. Pomeranz. *American Association of Cereal Chemists*, St.Paul, MN.

Hoseney, R. C., and Rogers, D. E. 1994. Mechanism of sugar functionality in cookies. In: *The Science of Cookie and Cracker Production*. Ed. H. Faridi. AVI, NY. Pag. 203-226.

Hou, G., Yamamoto, H., y NG. P. K. W. 1996a. Relationship of quatity of gliadin subunits of selected U.S. soft wheat flours to rheological and baking properties. *Cereal Chem.* 73 (3): 352-357



- Hou, G., Yamamoto, H., y NG. P. K. W. 1996b. Relationship of quantity of glutenin subunits of selected U.S. soft wheat flours to rheological and baking properties. *Cereal Chem.* 73 (3): 358-363
- Janssen, A. M., Van Vliet, T., and Vereijken, J. M. 1996. Rheological behavior of wheat glutes at small and large deformations. Effect of gluten composition. *J. Cereal Sci.* 23 (1): 897-891
- Kaldy, M. S., and Rubenthaler, G. L. 1987. Milling, baking, and physical-chemical properties of selected soft white winter and spring wheats. *Cereal Chem.* 64 (4): 302-307
- Kissell, L. T., Pomeranz, Y., and Yamazaki, W. T. 1971. Effects of flour lipids on cookie quality. *Cereal Chem.* 48: 655- 662
- Kissell, L. T., Marshall, B. D., and Yamazaki, W. T. 1973. Effect of variability in sugar granulation on the evaluation of flour quality. *Cereal Chem.* 50: 225
- Kissell, L. T., and Yamazaki, W. T. 1975. Protein enrichment of cookie flour with wheat gluten and soy flour derivatives. *Cereal Chem.* 52: 384
- Kulp, K., and Olewnik, M. 1989. Functionality of proteins components of soft wheat flour in cookie applications. Pages 371-388 in: *Protein quality and the effects of processing.* R.D Phillips y J.W. Finley. Eds Marcel Dekker. NY.
- Lajoie, M., and Thomas, M. 1994. Sodium bicarbonate particle size and neutralization in sponge-dough systems. *Cereal Food World* 39: 684-687.
- Levine, H., and Slade, L. 1990. Influences of the glassy and rubbery states on the thermal, mechanical, and structural properties of doughs and baked products and baked products. IN: *Dough Rheology and Baked Product texture.* Eds. H. Faridi and J. M. Faubion. Van Nostrand Reinhold, N. Y. Pag. 157-330.
- Lin, W. D. A., Lookhart, G., and Hosney, R. C. 1993. Partially purified proteolytic enzymes from wheat flour and their effect on elongational viscosity of cracker sponges. *Cereal Chem.* 70:448- 452
- Lorenz, K., and Valdano, R. 1981. Functional characteristics of sprout-damaged soft white wheat flours. *J. Food Sci.* 46: 1018-1020
- Mailhot, W. C., and Patton, J. C. 1988. Criteria of flour quality. Pages 69-90 in: *Wheat Chemistry and Technology, Vol. II, 3ed.* Y. Pomeranz, Ed. American Association of Cereal Chemist, St Paul MN,
- Manley, D. 2000. *Technology of biscuits crackers and cookies.* Third Edition. CRC Press. England.

Miller, R. A., and Hosney, R.C. 1997a. Use of elongational viscosity to estimate cookie diameter. *Cereal Chem.* 74(5): 614-616.

Miller, R. A., and Hosney, R.C. 1997b. Factors in hard wheat flour responsible for reduced cookie spread. *Cereal Chem.* 74(3): 330-336.

Minor, G. K. 1966. Functional characteristics of cookie flour. *Baker Digest* 40: 70-76.

Nemeth, L.J., Williams, P. C., and Bushuk, W. 1994. A comparative study of the quality of soft wheats from Canada, Australia y United States. *Cereal Food World* 39: 691-700.

Nishibori, S., and Kawasaki, S. 1992. effect of various sugar on the quality of baked cookies. Effect of various sugar on the quality of baked cookies. *Cereal Chem.* 69: 160-163.

Pedersen, L., Kaack, K., Bergsoe, N., and Adler-Nissen, J. 2004. Rheological properties of biscuit dough from different cultivars and relationship to baking characteristics. *J. Cereal Sci.* 39 :37-46

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*. Ed. Acribia. Zaragoza, España.

Rasper, V. F., Pico, M. L., and Fulcher, R. G. 1986. Alveography in quality assessment of soft white winter wheat cultivars. *Cereal Chem.* 63: 395-400.

Ram, S., Dawar, V., and Singh, R. 2005. Solvent capacity test of indian wheats and their relationship with cookie making quality. *Cereal Chem.* 81(1): 128-133.

Salazar- García, M.G. 2003. Utilización de métodos fundamentales para evaluar los parámetros reológicos de masas de harina de trigo panadero (*Triticum aestivum*). Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Sinaloa. Sinaloa, México.

SAS Institute Inc. 2001. *JMP: A bussniess Unit of SAS*. Version 4.0.4

Secretaría de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2004.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). 1983. Dirección General de Normas. Norma NMX-F-006-1983

Serna-Saldivar, R.O. 1996. *Química, Almacenamiento e Industrialización de los cereales*. AGT Editor, S.A. México, D.F.



- Schanot, M. 1981. Sweeteners: Functionality in cookie and crackers. In America Institute of Baking. Research Technical Bulletin Vol 3 (4).
- Slade, L., and Levine, H. 1994. Structure-function relationship of cookie and cracker ingredients. In: The Science of Cookie and Cracker Production. Faridi, H. Ed. Chapman & Hall. NY.
- Sollars, W. F. 1956. Evaluation of flour fractions for their importance to cookie quality. *Cereal Chem.* 33: 121-128.
- Sollars, W. F., and Bowie, S. M. 1966. Effect of the subfractions of starch tailings on cookie diameter. *Cereal Chem.* 43: 244-260.
- Steffe, J. 1992. Rheological methods in food process engineering. Ed. Freeman Press. Michigan. USA.
- Tsen, C. C., Bauk, L. J., and Hoover, W. J. 1975. Using surfactants to improve the quality of cookies made from hard wheat flours. *Cereal Chem.* 52: 629.
- Wade, P. 1972. Action of sodium metabisulphite on the properties of hard sweet biscuit dough. *J. Sci. Food Agric.* 23: 333
- Wade, P., and Elton, G. A. H. 1967. Flour properties relating to the manufacture of semisweet biscuits. *Cereal Science Today* 12(1):8-16.
- Wall, J. S. 1979. The role of wheat proteins in determining the baking quality. Pages 275-311 in: *Recent Advances in the Biochemistry of cereals*. D. L. Laidman and R. C. Wyn-Jones, eds. Academic Press, London.
- Walker, C. E. and Hazelton, J. L. 1996. Dough rheological test. *Cereal Food World* 41 (1): 23-28.
- Wichser, F. M. and Shellenberger, J, A. 1948. Ash in relation to flour quality. *The Baker Digest*
- Wieser, H., and Kieffer, R. 2001. Correlations of the amount of gluten types to the technological properties of wheat flour determined on a micro-scale. *J. Cereal Sci.* 34 (1) 19-27.
- Wrigley, C. W., and Bietz, J. A. 1988. Proteins and aminoacids. Pag 159-275 in: *Wheat chemistry and technology*, I. Y. Pomeranz, ed. Am. Assoc. Cereal Chemist. St Paul, MN.
- Yamamoto, H., Worthing, S. T., Hou, G., and Ng, P. W. 1996. Rheological properties and baking qualities of selected soft wheats grow in the United States. *Cereal Chem.* 73 (2): 215-221.



Pm. 1003

- Yamazaki, W.T. 1953. An alkaline water retention capacity test for the evaluation of cookie baking potentialities of soft winter wheat flours. *Cereal Chem.* 30: 242-246
- Yamazaki, W. T. 1954. Interrelations among bread dough absorption cookie diameter, preprotein content, and alkaline water retention capacity of the soft winter wheat flour. *Cereal Chem.* 31: 135-142.
- Yamazaki, W. T. 1955. The concentration of a factor in soft wheat flours affecting cookie quality. *Cereal Chem.* 32: 42-51.
- Yamazaki, W. T. 1959a. Flour granularity and cookie quality. I. Effect of wheat variety on sieve fraction properties. *Cereal Chem.* 36: 42-51
- Yamazaki, W. T. 1959b. The application of heat in the testing of flours for cookie quality for cookie quality. *Cereal Chem.* 36: 59-69
- Yamazaki, K., and Donelson, J. R. 1976. Effects of interactions among flour lipids, other flour fractions, and water on cookie quality flour. *Cereal Chem.* 53: 998-1005
- Yamazaki, W. T., Donelson, J. R., and Kwolek, W. F. 1977. Effects of flour fraction composition on cookie diameter. *Cereal Chem.* 54: 352-360.
- Yamazaki, W. T., Donelson, J. R., and Clements, R. L. 1979. Note on the effect of bran lipids on cookie quality. *Cereal Chem.* 56: 584. 585