
EFECTO DEL CONTENIDO DE PROTEÍNA, GRASA Y LEVADURA EN LAS PROPIEDADES VISCOELÁSTICAS DE LA MASA Y LA CALIDAD DE PAN TIPO FRANCÉS

ELISA MAGAÑA BARAJAS, BENJAMÍN RAMÍREZ WONG,
PATRICIA ISABEL TORRES CHÁVEZ, DALIA ISABEL SÁNCHEZ MACHADO
y JAIME LÓPEZ CERVANTES

RESUMEN

Se evaluó el efecto del contenido de proteína en la harina, grasa vegetal y levadura en: la viscoelasticidad de la masa y la calidad del pan tipo francés. El pan se elaboró con tres harinas comerciales de diferentes contenidos de proteína (10,59; 12,12 y 13,54%), dos concentraciones de grasa vegetal (0 y 2%) y dos de levadura (0,5 y 2%). Se determinó la composición proximal. A las harinas les fueron determinadas las características físicas y químicas, y a sus masas las propiedades reológicas y viscoelásticas. A las masas les fueron evaluadas sus características viscoelásticas utilizando los métodos dinámico y de relajación del esfuerzo. La calidad del pan fue evaluada midiendo el volumen específico y la firmeza como fuerza máxima a las 2, 24 y 48h de almacenamiento a 25°C.

Para evaluar el efecto del contenido de los ingredientes, se utilizó un diseño factorial con tres factores: contenidos de proteína, grasa vegetal y levadura. El contenido de proteína de la harina tuvo un efecto significativo en la viscoelasticidad de sus masas y en la calidad del pan. El pan con mayor volumen y más suave fue elaborado utilizando masa con un comportamiento más viscoso que elástico. Además, altos contenidos de grasa vegetal y levadura favorecieron al volumen y la firmeza del pan durante su almacenamiento. Se encontraron correlaciones ($p < 0,0001$) entre el volumen específico y los parámetros viscoelásticos del ángulo delta y el tiempo de relajación ($r = 0,637$ y $0,681$, respectivamente) y, de la firmeza con el tiempo de relajación ($r = -0,614$).

El pan es el producto obtenido por la acción fermentativa de enzimas naturales de la harina de trigo sobre los azúcares liberados del almidón de la misma (Mondal y Datta, 2007). En México, el pan denominado 'bolillo' es una adaptación del pan francés de gran popularidad a nivel nacional, siendo uno de los tres tipos de pan de mayor consumo por la población en 2006,

según la Cámara Nacional de la Industria Panificadora. Los ingredientes principales utilizados para elaborar el pan francés son harina, que es el componente mayoritario, sal, levadura y agua, y en algunos otros casos se adiciona azúcar y grasa.

La masa de trigo es un material viscoelástico, característica particular conferida por la red de gluten. Las propiedades reológicas de las

masas de trigo son determinantes para su manejo durante el proceso de panificación, reflejándose en las características de calidad del producto final (Blokksma y Bushuk, 1988; Mondal y Datta, 2007). Actualmente no existen parámetros viscoelásticos indicadores de calidad para cada producto de panificación. Las pruebas reológicas fundamentales tienen bases teóricas, son independientes del instrumento, geome-

PALABRAS CLAVE / Calidad Panadera / Formulación / Pan Francés / Viscoelasticidad /

Recibido: 29/10/2010. Modificado: 21/02/2011. Aceptado 22/02/2011.

Elisa Magaña Barajas. Candidata a Doctora en Ciencias en Biotecnología, Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), México. e-mail: ely_magbarajas@hotmail.com.

Benjamín Ramírez Wong. Doctor en Ingeniería Agrícola, University of Texas A&M, EEUU. Profesor-Investigador, UNISON, México. Dirección: Departamento de Investigación y Posgrado, UNISON, Sonora, México. e-mail: bramirez@guaymas.uson.mx

Patricia Isabel Torres Chávez. Doctora en Ciencias de los Alimentos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. Profesor-Investigador, UNISON, México. e-mail: pitorres@guayacan.uson.mx

Dalia Isabel Sánchez Machado. Doctora en Nutrición y Bromatología, Universidad de Santiago de Compostela (USC), España. Profesor-Investigador, Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), México. e-mail: dalia.sanchez@itson.edu.mx

Jaime López Cervantes. Doctor en Tecnología de Alimentos, USC, España. Profesor-Investigador, ITSON, México. jaimelopez@biodeparc.com

tría y cantidad de muestra; cualidades que han promovido su aplicación en la caracterización viscoelástica de las masas y su relación con la calidad del pan (Faubion y Hosney, 1990). Van Bockstaele *et al.* (2008b) mostraron que la viscosidad de las masas de las harinas de diferentes variedades de trigo, evaluada con el parámetro viscoelástico dinámico ángulo delta (δ), favorece al volumen del pan. Estos mismos autores relacionaron también al volumen del pan con las características reológicas de las masas determinadas con la prueba de recuperación del deslizamiento. Se encontró una alta relación entre el volumen del pan y la recuperación máxima de la deformación ($r^2=0,74$; Van Bockstaele *et al.*, 2008a). Rouillé *et al.* (2005) utilizaron las pruebas de recuperación del deslizamiento y la prueba de compresión uniaxial con lubricación aplicada en masas para determinar el efecto de los componentes menores de la harina sobre la reología de sus masas y el volumen del pan; observaron que la finura de la miga depende directamente del índice de endurecimiento de la deformación, mientras que el volumen específico del pan se afecta negativamente con el incremento de la viscosidad biextensional.

La harina y el resto de los ingredientes afectan a la reología de las masas y las características del producto final. Mondal y Datta (2007) reportaron que la harina afecta principalmente las características de firmeza y miga del pan. El contenido de proteína de la harina es uno de los principales factores que influye en el comportamiento reológico de las masas (Van Bockstaele *et al.*, 2008a, b), determinando así su calidad panadera (Dobraszczyk y Morgenstern, 2003). En general, el volumen del pan es favorecido con el contenido de proteína (Gupta *et al.*, 1992).

Otro ingrediente importante en el pan es la grasa, que tiene varios efectos: plastificante, forman una fase intersticial en las paredes de las burbujas evitando que se colapsen, emulsificante, mejora la palatabilidad y extiende la vida de anaquel. Los principales beneficios de la adición de grasa en el pan son el incremento de su volumen y la suavidad de la miga (Brooker, 1996). Por último, la levadura realiza el proceso de fermentación transformando a los azúcares presentes en $\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O}$, los cuales evitan el incremento de calor dentro de la miga y por lo tanto gran pérdida de humedad (Mondal y Datta, 2007). Carr y Tadini

(2003) observaron incremento del volumen de pan al aumentar la cantidad de levadura.

Por lo anterior, es importante obtener el proceso y formulación de control del pan francés, determinar cualitativamente y cuantitativamente los parámetros reológicos involucrados en la calidad del mismo y, finalmente, determinar el efecto de la cantidad de los ingredientes en sus características de calidad. Por otro lado, la finalidad de realizar este estudio fue tomar los resultados obtenidos como base en un trabajo subsiguiente, donde se persigue obtener una fórmula control para pan francés elaborado con masa congelada que presente características próximas al pan fresco o recién elaborado, trabajo en el que se determinará también el efecto del contenido de grasa y levadura en los cambios reológicos de la masa y en la calidad del pan durante el almacenamiento congelado. Asimismo, se evaluarán los cambios en las proteínas presentes en la masa al ser almacenadas a temperatura de congelación y si existe una relación con los cambios en las propiedades reológicas de la masa y en la calidad del pan.

Materiales y Métodos

Materia prima

Se utilizaron tres harinas comerciales con diferente contenido de proteína para la elaboración del pan. Los otros ingredientes utilizados fueron: sal (Mar de Cortés, Sales del Valle SA de CV), manteca vegetal (Inca, Alimentos Capullo, S de RL de CV), y levadura instantánea Nevada, y mejorador para pan blanco Magimix 40, ambos de Safmex SA de CV./Fermex SA. de CV).

Calidad de las harinas

Pruebas fisicoquímicas. A las harinas se les realizó un análisis químico proximal de acuerdo a AACC (2000), midiendo contenido proteico (método 46-13) con un determinador de nitrógeno (modelo FP-528, marca LECO, MI, EEUU) y factor de conversión a proteína de $N \times 5,7$; contenido de cenizas (método 08-03); y contenido de humedad (método 44-40). El contenido de gluten se determinó con el equipo Glutomatic (modelo 2100, marca Falling Number, Huddinge, Suecia) y el método 38-11 (AACC, 2000). El volumen de sedimentación se determinó por el método 56-61A (AACC, 2000).

Pruebas reológicas

Farinogramas. Se determinó la absorción de agua (%), estabilidad (min) y tiempo de desarrollo (min) utilizando un farinógrafo (tipo 810143, marca Brabender Instruments, South Hackensack, NJ, EEUU) y el método 54-21 (AACC, 2000).

Alveogramas. Los alveogramas se realizaron con el alveógrafo (Chopin Instruments, Villeneuve-La-Garenne, France) de acuerdo al método 54-30 (AACC, 2000). El alveógrafo registra la fuerza general (W ; $\times 10^{-4}J$) y las relaciones de elasticidad (P/L y P/G) de las harinas de trigo.

Reofermentogramas. Se utilizó un reofermentómetro (tipo Rheo F3, marca Chopin) y el método propuesto en el manual del equipo. Los parámetros obtenidos fueron altura máxima de desarrollo de la masa (Hm; mm), altura máxima de liberación de gas (H'm; mm) y producción de gas (CO_2 ; ml).

Características viscoelásticas de las masas

Preparación de las muestras. Se elaboraron masas de cada una de las harinas comerciales para determinar sus características viscoelásticas mediante el método dinámico y la prueba de relajación del esfuerzo. La masa se preparó utilizando 100g de cada harina y agua destilada correspondiente a la absorción de agua obtenida con el farinograma. La harina y el agua destilada se homogeneizaron en una mezcladora de capacidad de 300g (National MFG, Lincoln NE, EEUU) por 30s en seco y 1min al agregar el agua destilada. La masa se dejó reposar durante 30min en una cámara de fermentación (National MFG) con ambiente controlado (30°C , 85% de humedad relativa). Posteriormente, se pesaron muestras de 2,6g de masa para usarse en el reómetro, y se introdujeron en una bolsa de plástico cerrada herméticamente a temperatura ambiente (25°C) para evitar pérdidas de humedad.

Barridos dinámicos oscilatorios de frecuencia. Se utilizó un reómetro (modelo RSF III, marca Rheometrics Scientific, Piscataway, NJ, EEUU), conectado a platos paralelos de 25mm de diámetro y un sistema Peltier para el control de temperatura. La muestra de masa se colocó hasta llegar a una separación de plato de 2mm. Posteriormente se cortaron los sobrantes de la masa y se cubrió con vaselina la parte expuesta al ambiente, para evitar su deshidratación.

TABLA I
FORMULACIONES UTILIZADAS
PARA ELABORAR PAN FRANCÉS

Harina comercial	Levadura* (%)	Grasa* (%)
Harina 1	0,5	0,0
	0,5	2,0
	2,0	0,0
	2,0	2,0
Harina 2	0,5	0,0
	0,5	2,0
	2,0	0,0
	2,0	2,0
Harina 3	0,5	0,0
	0,5	2,0
	2,0	0,0
	2,0	2,0

* Porcentaje en base a la harina. Harina 1: marca Sanson, Harina 2: marca Selecta, Harina 3: marca La Perla.

Después se dejó reposar la muestra por 15min con el fin de que ésta se relajara. Las pruebas de barrido de frecuencia se manejaron mediante el software de control (RSI Orchestrator, Rheometrics Scientific) a una deformación de 0,1%, la cual está dentro de la región lineal, y a temperatura de 25°C. El barrido de frecuencia se realizó desde 0,1 hasta 100rad·s⁻¹. Los parámetros viscoelásticos obtenidos fueron módulo de almacenamiento (G'; Pa), módulo de pérdida (G''; Pa) y ángulo de fase (δ; °).

Prueba de relajación del esfuerzo. Se utilizó el mismo reómetro usado en el método dinámico. El equipo trabajó en modo de esfuerzo de corte aplicando 15% deformación por 0,1s durante 30min (con 20min previos de reposo), a temperatura constante de 25°C (Safari-Ardi y Phan-Thien, 1998; Rao *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2003). Se obtuvieron curvas de G(t) (Pa) vs tiempo (s), donde G(t) es el módulo de relajación (esfuerzo/deformación) a cualquier tiempo. El esfuerzo máximo inicial a 15% (G₀) y el tiempo de relajación (τ) fueron los parámetros obtenidos.

Proceso de panificación del pan francés

Formula control. Las formulaciones utilizadas fueron en base al peso de la harina. Los ingredientes variables fueron el tipo de harina comercial (cantidad de proteína), el contenido de grasa (0 y 2%) y el contenido de levadura (0,5 y 2%); permaneciendo constantes la cantidad de sal, mejorador y agua destilada (1,5%, 2% y 66,6%; respectivamente). Resultaron así 12 tratamientos (Tabla I). Existen diferentes formulaciones

para el pan francés y algunas de ellas carecen de grasa, por lo que en este caso se evaluó el efecto de la ausencia y presencia de grasa en la calidad del pan. Un 3% de grasa favorece el crecimiento de la levadura (Oda y Tonomura, 1993), y particularmente se observó en preliminares un mejor efecto con 2%. Los porcentajes de levadura seleccionados son resultados de estudios preliminares. Se hicieron triplicados de cada tratamiento para seleccionar la formulación control para el pan.

Elaboración de pan. Para evaluar la calidad panadera de las harinas comerciales se adecuó a nivel de laboratorio el método directo tradicional de elaboración de pan francés. Para elaborarlo se comenzó por incorporar los ingredientes utilizando una mezcladora (National MFG) por 4min. Se pesaron masas de 50g las cuales se bolearon y se dejaron reposar durante 5min antes del formado del pan. Transcurrido el tiempo de reposo, los panes se formaron y se sometieron a fermentación durante 1h utilizando una cámara de fermentación (National MFG) con ambiente controlado (30°C y 85% de humedad relativa). Una vez finalizada la fermentación, se les hizo un pequeño corte a cada pan en su parte superior. Posteriormente, los panes se hornearon por 12min a 250°C utilizando un horno (National MFG). Por último, los panes se dejaron enfriar durante 2h a temperatura ambiente

de volumen (modelo PUP, National MFG). Posteriormente los panes se pesaron en una balanza (marca OHAUS, Polonia) y, se calculó el volumen específico (cm³·g⁻¹). La firmeza de la miga del pan se evaluó utilizando la máquina de prueba universal (modelo 4465, Instron Corp, Conton, EEUU). Se adecuó el método compresivo de pan, utilizando una geometría con diámetro de 30mm con una separación de 25mm. Se utilizó una celda de carga con capacidad de 50,98kg y una velocidad de cabezal de 100mm·min⁻¹, hasta lograr un 40% de deformación del pan. El parámetro obtenido fue el esfuerzo máximo (kg-f).

Diseño de Experimentos

Se utilizó un diseño de experimentos completamente al azar para analizar las determinaciones en las harinas. Para evaluar el efecto del contenido de proteína de la harina, grasa y levadura en las propiedades viscoelásticas de las masas y en la calidad del pan, se utilizó un diseño factorial con tres factores: contenido de proteína (las tres harinas tienen diferente contenido de proteína), contenido de grasa (0 y 2%) y contenido de levadura (0,5 y 2%), resultando 12 tratamientos. Con el fin de determinar el efecto de estos factores sobre las diferentes determinaciones, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANDEVA) con un nivel de

TABLA II
VALORES PROMEDIO (±SD) DE LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS DE LAS HARINAS COMERCIALES

Harina comercial	HUM (%)	PRO * (%)	CEN * (%)	GH * (%)	VSED * (ml)
Harina 1	12,08 ±0,14 a	13,54 ±0,01 a	0,77 ±0,02 a	33,04 ±0,33 a	28,79 ±0,39 a
Harina 2	11,08 ±0,02 b	12,12 ±0,01 b	0,86 ±0,09 a	31,91 ±0,32 a	26,57 ±0,85 b
Harina 3	10,47 ±0,11 c	10,59 ±0,09 c	0,78 ±0,17 a	27,40 ±0,48 b	19,79 ±0,98 c

* Base seca. Dentro de una misma columna; letras diferentes, entre medias son estadísticamente diferentes p=0,05 (p<0,05). HUM: humedad, PRO: proteína, CEN: cenizas, GH: gluten húmedo, VSED: volumen de sedimentación.

(25°C). Todos los tratamientos siguieron el mismo procedimiento y se realizaron por triplicado. Después del enfriado, el pan fue guardado en bolsas de polietileno para evitar pérdida de humedad.

Evaluación de la calidad del pan

Después de su elaboración, el pan fue almacenado durante 2, 24 y 48h. Por cada tiempo de almacenamiento se tomaron tres panes y se midió su volumen, el cual se determinó por el principio de desplazamiento de semilla de nabo, utilizando un medidor

de confiabilidad del 95%. Para ver la diferencia entre tratamientos específicos se utilizó la prueba de Tukey. Además, se llevaron a cabo correlaciones simples (r) entre las distintas determinaciones. El ANDEVA se realizó con el Statistical Analytical System Software 2002 (SAS Institute, Inc. Cary, NC, EEUU).

Resultados y Discusión

Calidad de las harinas

Evaluaciones fisicoquímicas. En la Tabla II se muestran los valores promedio

VALORES PROMEDIO (\pm SD) DE LAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS DE LA MASA DE HARINAS COMERCIALES

Harina comercial	Farinógrafo			Alveógrafo			Reofermentómetro		
	ABS (%)	EST (min)	TD (min)	W 10^{-4} J	P/L	P/G	Hm (mm)	H'm (mm)	CO ₂ (ml)
Harina 1	61,10 \pm 0,01a	10,40 \pm 0,10a	3,37 \pm 0,22a	250,00 \pm 0,01a	2,32 \pm 0,14a	7,30 \pm 0,30a	58,45 \pm 3,05a	89,00 \pm 1,30a	1706,50 \pm 65,50a
Harina 2	61,70 \pm 0,10b	11,00 \pm 1,00a	2,85 \pm 0,35ab	233,50 \pm 4,50b	1,96 \pm 0,15b	6,42 \pm 0,31b	40,65 \pm 0,95b	88,50 \pm 4,20a	1760,50 \pm 151,50a
Harina 3	57,77 \pm 0,13c	7,65 \pm 1,45b	2,65 \pm 0,15b	154,50 \pm 9,50c	1,09 \pm 0,09c	3,87 \pm 0,18c	38,30 \pm 4,20b	76,95 \pm 1,55b	1615,00 \pm 27,00a

Dentro de una misma columna; letras diferentes, entre medias son estadísticamente diferentes $p=0,05$ ($p<0,05$). ABS: absorción de agua, EST: estabilidad, TD: tiempo de desarrollo, w: fuerza general, P/L: extensibilidad de la masa, P/G: índice de hinchamiento, Hm: altura máxima de desarrollo de la masa, H'm: altura máxima de liberación de gas, CO₂: producción de gas.

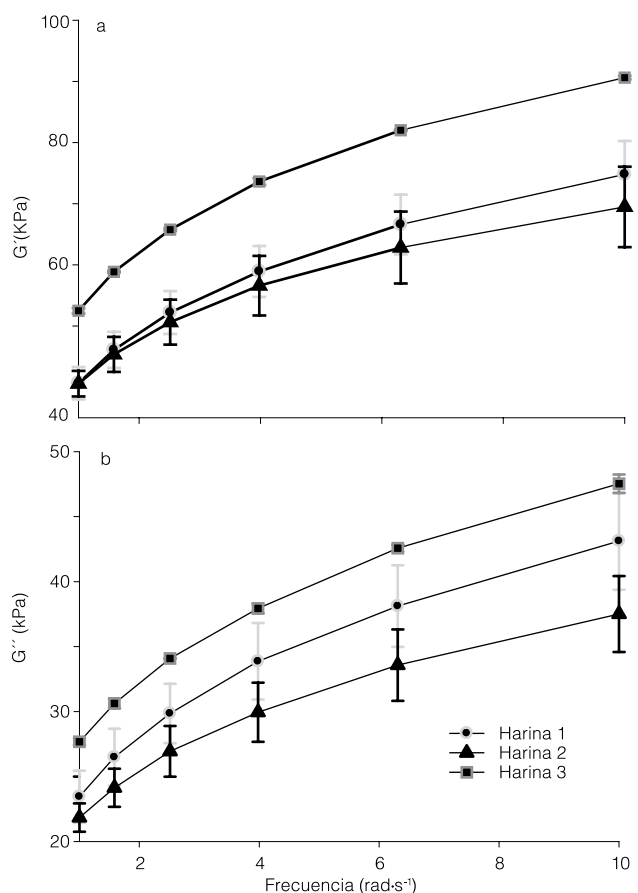


Figura 1. a: módulo de almacenamiento (G') y b: módulo de pérdida (G'') en función de la frecuencia de la masa de las harinas comerciales. Las barras indican la desviación estándar.

de las características físicas y químicas de las harinas comerciales utilizadas. El contenido de proteína de la harina afectó significativamente ($p<0,01$) a la mayoría de los parámetros fisicoquímicos evaluados. La harina 1 presentó los contenidos más altos de humedad, proteína, gluten húmedo y volumen de sedimentación, mientras que obtuvo el valor más bajo de ceniza. Los valores de sedimentación en harinas para pan se encuentran entre 20 y 70ml, ubicándose dentro de éste intervalo las harinas 1 y 2 utilizadas en este estudio. La harina 1 fue la de mayor volumen de sedimentación, lo cual es mejor para panifica-

ción. Es conocido que el contenido y la calidad de la proteína (determinado con el volumen de sedimentación) se relaciona con los parámetros reológicos de las masas (Islas *et al.*, 2005), y el volumen (Brooker, 1996) y firmeza del pan (Graybosch *et al.*, 1993).

Pruebas reológicas. Los valores promedio de las características reológicas de las masas de harinas comerciales se presentan en la Tabla III. El farinógrafo registra la fuerza de oposición de la masa al mezclador. En los parámetros farinográficos se observó un efecto muy significativo ($p<0,01$) del contenido de proteína de las harinas en la absorción de agua (ABS) y estabilidad (EST), y un efecto significativo ($p<0,05$) en el tiempo de desarrollo (TD). Se observó que la harina 2 tuvo los valores más altos en ABS y EST, mientras que la harina 1 presentó el mayor

TD. Es recomendable utilizar harinas con TD y contenido de proteína altos, y ABS menor para obtener panes de mayor volumen (Islas *et al.*, 2005; Dowell *et al.*, 2008). Por otro lado, el gluten es la fracción de proteínas que proporciona la funcionalidad a la masa y se desarrolla en presencia de agua, requiriéndose un tiempo de mezclado más extenso en harinas con mayor cantidad y calidad proteica. En segundo término se tienen los parámetros obtenidos con el alveógrafo, el cual provee evidencia de la calidad panadera de las harinas (Rouillé *et al.*, 2005). El contenido de proteína de

la harina tuvo un efecto muy significativo ($p<0,01$) en todos los parámetros alveográficos. La harina 1 tuvo los valores más altos en todos los parámetros evaluados por el alveógrafo: fuerza general (W), extensibilidad de la masa (P/L) e índice de hinchamiento (P/G), indicando la alta extensibilidad y capacidad de retención de gas de la masa de esta harina sobre las otras harinas comerciales evaluadas. Existe una relación directa del valor de W con el contenido de proteína y la fracción P/L es utilizada como indicador del volumen del pan (Islas *et al.*, 2005). Además, valores de P/L >1 se consideran como una buena extensibilidad (Pomeranz, 1988). Finalmente, el reofermentómetro determina la capacidad fermentativa de las masas. El ANDEVA mostró que el contenido de proteína de las harinas tuvo un efecto muy significativo ($p<0,01$) sobre las alturas máximas de desarrollo de la masa (Hm) y de liberación de gas (H'm). Los datos obtenidos del reofermentómetro mostraron que la harina 1 tuvo los valores más altos en Hm y H'm, confirmando los resultados obtenidos del alveógrafo. Los parámetros reológicos de la masa de la harina 1 reflejaron que ésta tiene una mayor capacidad para elaborar pan de gran volumen, pudiendo relacionarse la fuerza de su masa y calidad de la proteína (evidenciada por el valor de gluten húmedo y sedimentación, respectivamente). Estos resultados concuerdan con los de Saxena *et al.*, (1997) quienes encontraron que masas con alta cantidad de proteína tienen mayor cohesividad y extensibilidad. Además, la información obtenida con estos métodos coinciden con el trabajo de Islas *et al.* (2005), quienes observaron que el contenido de proteína de harinas de trigo panadero fue el factor determinante en las propiedades reológicas de sus masas.

Características viscoelásticas de la masa

El comportamiento viscoelástico de la masa de las harinas comerciales utilizadas en la elaboración

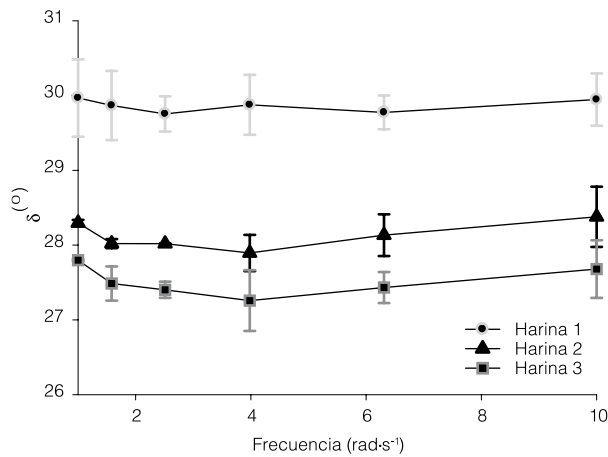


Figura 2. Ángulo delta (δ) en función de la frecuencia de la masa de harinas comerciales. Las barras indican la desviación estándar.

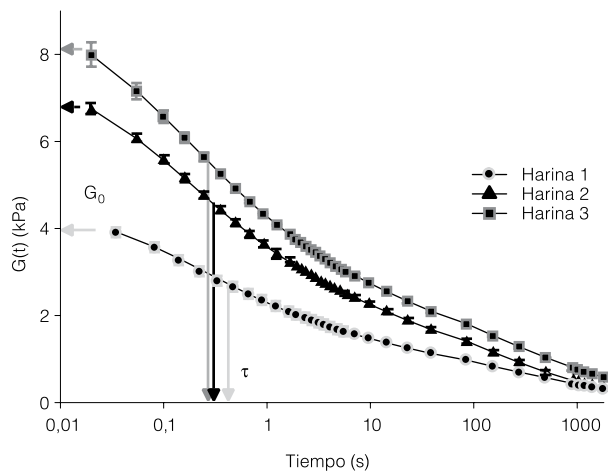


Figura 3. Módulo de relajación vs tiempo de la masa de las harinas comerciales, a 15% de deformación constante. Las barras indican la desviación estándar.

del pan aplicando el método dinámico y la prueba de relajación del esfuerzo se muestra en las Figuras 1, 2 y 3.

Método dinámico. Los parámetros obtenidos con este método (Figuras 1 y 2) fueron el módulo de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y el ángulo de fase (δ). Los datos de las características viscoelásticas determinadas con el método dinámico que se utilizaron para el análisis estadístico fueron los correspondientes a la frecuencia de $5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, por estar en la región más lineal de la curva. G' y G'' representan la parte elástica y viscosa del material, y δ refleja la relación entre ellos. En masas de trigo, δ toma valores entre 0 y 90° , significando un comportamiento puramente elástico y puramente viscoso, respectivamente. Un material viscoelástico tiene un ángulo entre esos valores de ángulos. El contenido de proteína de la harina presentó un efecto

muy significativo ($p < 0,01$) en todos los parámetros viscoelásticos determinados. Para cualquier frecuencia, en todas las masas de las harinas presentaron valores de G' mayores que los valores obtenidos de G'' (Figuras 1a y b). Se observó una dependencia de la frecuencia en todos los parámetros viscoelásticos dentro del rango de región lineal del material, entre 1 y $10 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. En las Figuras 1a y b se aprecia que G' y G'' aumentan al incrementar la frecuencia. En cuanto al valor de δ (Figura 2), la masa de la harina 1 obtuvo los valores más altos ($29,82^\circ$) correspondiendo a un comportamiento más viscoso, y la masa de la harina 3 los más bajos ($27,43^\circ$) indicando un comportamiento más elástico. En las tres figuras (1a y b, y 2) se pueden apreciar diferencias entre las masas de las harinas utilizadas, atribuyéndose a su contenido y calidad de la proteína, y contenido de gluten o fuerza de la masa. Khatkar (2004) encontró diferencias cuantitativas en los valores de G' , G'' y δ de gluten extraído de harinas de trigo con diferente contenido de proteína, reflejándose en el volumen del pan. El trabajo de Chiotelli *et al.* (2004) mostró una relación inversa de G' con el contenido de gluten. Por su parte, Khatkar y Schofield (2002) concluyeron que un valor bajo de G' corresponde a una harina de alta calidad panadera, mientras que Van Bockstaele *et al.* (2008b) encontraron una relación directa entre el contenido de proteína y δ ; y además observaron que el cambio en el volumen del pan se debe en un 70% a su valor de δ .

Prueba de relajación del esfuerzo. El ANDEVA mostró también que el contenido de proteína de la harina tuvo un efecto muy significativo ($p < 0,01$) en todos los parámetros viscoelásticos determinados. En la Figura 3 se muestran las gráficas obtenidas mediante la prueba de relajación del esfuerzo. El parámetro principal obtenido mediante esta prueba es el tiempo de relajación (τ), el cual se relaciona con el proceso de flujo

ocurrido cuando la masa se relaja y se define como el tiempo requerido por el esfuerzo para caer en $1/e$ veces o a 36,8% de su valor original (Smith *et al.*, 1970), representado en la figura por la línea perpendicular al eje x (frecuencia). En general, un valor de τ alto indica que cuando el cuerpo se somete a una alta deformación tiende a liberar el esfuerzo, o fluir, más lentamente, por lo que se dice que presenta un comportamiento más viscoso que elástico.

El segundo parámetro obtenido fue el esfuerzo inicial (G_0), que es el esfuerzo o respuesta que proporciona el material al comenzar a deformarse. El tipo de proteína presente en la harina se relaciona con el proceso de relajación de la masa, siendo más lento y con un esfuerzo menor en masas de harinas de trigo débiles que en masas de harinas de trigos fuertes. La distribución de los pesos moleculares de las fracciones proteicas, en especial las subunidades de glutenina, alteran el proceso de relajación de las masas (Li *et al.*, 2003). Cuando el contenido de proteína es alto se tiene mayor posibilidad de producirse enlaces entre ellas formando una red que proporciona fuerza a la masa, la cual dependerá del tipo de subunidades presentes. En la Figura 3 se observa que todas las masas de las harinas evaluadas presentaron la misma tendencia y presentaron un máximo en su relajación del esfuerzo. Sin embargo, en esta misma Figura se observa que hay diferencias entre ellas. La altura indicada por las flechas perpendiculares al eje y de la curva representa el parámetro viscoelástico de G_0 donde se observó que la masa de la harina 3 obtuvo el valor más alto en este parámetro ($8,79 \text{ kPa}$). Por otro lado, el τ representado por las flechas perpendiculares al tiempo (eje x) para las masas de las harinas 2 y 3 fueron similares ($0,272$ y $0,270 \text{ s}$, respectivamente) mientras que la masa de la harina 1 presentó el τ más alto ($0,385 \text{ s}$). Lo anterior sugiere que a pesar de que la harina 1 tiene un mayor contenido de proteína, la red de gluten no es tan fuerte como se esperaba, reflejándose en un proceso de relajación más lento en su masa. Los resultados obtenidos de esta prueba concuerdan con los arrojados por el método dinámico, donde la masa de la harina 1 tuvo el valor mayor de δ ($29,82^\circ$). En general, los cambios reológicos de las masas se debieron en gran medida a la proteína, principalmente a la fuerza de su red de gluten. Es importante determinar cuán viscosa o elástica debe ser la masa para obtener un pan con buen volumen. Sliwinski *et al.* (2004) conclu-

TABLA IV
VALORES (\pm SD) PROMEDIO DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL PAN FRANCÉS ELABORADO CON HARINAS COMERCIALES UTILIZANDO DIFERENTES FORMULACIONES

Harina comercial	Levadura* (%)	Grasa* (%)	VES (cm ³ ·g ⁻¹)	FM (kg·f×10 ⁻²)		
				2h	24h	48h
Harina 1	0,5	0,0	4,09 \pm 0,03 f	2 \pm 0,001 bc	34 \pm 0,074 abcd	46 \pm 0,007 d
	0,5	2,0	6,56 \pm 0,30 e	10 \pm 0,007 bcd	33 \pm 0,014 bcd	31 \pm 0,024 cd
	2,0	0,0	5,97 \pm 0,14 e	8 \pm 0,013 b	31 \pm 0,154 abc	36 \pm 0,140 cd
	2,0	2,0	6,31 \pm 0,07 c	5 \pm 0,002 ef	13 \pm 0,001 d	39 \pm 0,135 cd
Harina 2	0,5	0,0	3,61 \pm 0,09 e	14 \pm 0,020 cd	22 \pm 0,020 cd	93 \pm 0,235 ab
	0,5	2,0	3,80 \pm 0,04 a	18 \pm 0,022 f	43 \pm 0,021 ab	55 \pm 0,220 cd
	2,0	0,0	3,64 \pm 0,02 b	10 \pm 0,003 ed	52 \pm 0,015 a	70 \pm 0,105 bc
	2,0	2,0	5,12 \pm 0,02 a	11 \pm 0,016 ef	28 \pm 0,001 bcd	35 \pm 0,098 d
Harina 3	0,5	0,0	3,56 \pm 0,05 f	12 \pm 0,006 b	41 \pm 0,007 abc	51 \pm 0,038 cd
	0,5	2,0	3,98 \pm 0,01 ef	11 \pm 0,006 a	44 \pm 0,009 ab	65 \pm 0,028 bcd
	2,0	0,0	4,00 \pm 0,05 f	14 \pm 0,006 cd	53 \pm 0,205 a	116 \pm 0,015 a
	2,0	2,0	5,50 \pm 0,07 d	5 \pm 0,001 bc	25 \pm 0,111 bcd	39 \pm 0,076 cd

Promedio \pm desviación estándar. *Porcentaje en base a la harina. VES: volumen específico, FM: firmeza máxima Dentro de una misma columna; letras diferentes, entre medias son estadísticamente diferentes $p=0,05$ ($p<0,05$)

yeron que debe de existir un balance entre la viscosidad de la masa que permite el crecimiento de la celda de gas y su elasticidad para mantener el aire dentro de la celda.

Evaluación de la calidad del pan

En la Tabla IV se presentan los valores promedio de los parámetros de calidad del pan elaborado con harinas comerciales utilizando diferentes contenidos de levadura y grasa en su formulación. El ANDEVA mostró que los tres factores estudiados tuvieron un efecto muy significativo ($p<0,01$) en la firmeza máxima (FM) y volumen específico del pan (VES). De acuerdo al análisis estadístico, el factor que más afectó al VES fue el contenido de grasa y para la FM la afectó el contenido de levadura. En general

se aprecia que el pan recién elaborado con la harina 1 tuvo los valores más altos en el VES y los valores más bajos de FM (miga más blanda) en el orden de 4,09-6,56cm³·g⁻¹ y de 2-10kg·f×10⁻², respectivamente.

El tipo y cantidad de proteínas que conforman el gluten afectan la fuerza y extensibilidad de la masa, reflejándose en el volumen del pan. Por otro lado, la grasa se adiciona para incrementar el volumen del pan (Smith y Johansson, 2004). En todas las harinas las formulaciones con grasa tuvieron un volumen del pan mayor que sin grasa, coincidiendo con el trabajo de Pavlovich-Abril *et al.* (2009). En general, se acepta que la grasa incrementa la extensibilidad de las masas prolongando su ruptura. De la misma manera la grasa reduce la permeabilidad de la celda de gas aumentando la capacidad de retención de gas, y al mismo tiempo existe efecto sinérgico entre la grasa y la proteína en el volumen del pan (Brooker, 1996). Carr y Tadini. (2003) obtuvieron un efecto benéfico de la levadura en el volumen del pan. Un 3% de grasa favorece el crecimiento de la levadura (Oda y Tonomura, 1993). En ausencia de grasa el VES se favoreció con el incremento de levadura. También, la levadura benefició al VES del pan recién elaborado de todas las harinas.

La firmeza está íntimamente relacionada con las propiedades reológicas de las masas. Se observó un incremento de la FM de la miga en todos los tratamientos con el tiempo de almacenamiento. Es conocido que después del horneado comienza la

retrogradación del almidón, causando un endurecimiento en el pan y su pérdida de frescura. Se observó que altos contenidos de grasa y levadura benefician (disminuyen) la FM del pan durante su almacenamiento. Por otro lado, He y Hosney (1990) revelaron que el incremento de la firmeza del pan durante el almacenamiento se relaciona con la pérdida de humedad, que propicia la interacción entre las proteínas y el almidón parcialmente solubilizado. La grasa en el pan reduce la migración del agua, la cual actúa como plastificante manteniendo la miga más suave por más tiempo. Por lo anterior, en panes con mayor contenido de grasa se redujo el incremento de la FM o endurecimiento del pan durante su almacenamiento. Estos resultados corroboraron los datos obtenidos de las pruebas reológicas empíricas, donde se mostró la tendencia de la harina 1 hacia la obtención de pan de mayor volumen. La aceptación del producto de panificación por el consumidor está ligada a una FM suave (menor) y un mayor volumen. Por lo anterior, se llegó a la conclusión de que el pan elaborado con la harina 1 y la formulación de 2% de levadura y 2% de grasa, es la más adecuada para elaborar pan francés, por presentar un mayor VES y una FM más suave (6,31cm³·g⁻¹ y 5kg·f×10⁻², respectivamente).

Correlaciones entre calidad del pan y características reológicas de las masas

Con el fin de determinar si existe una relación significativa entre las características de calidad del pan y la reología de las masas de harinas comerciales evaluadas con métodos empíricos, se llevaron a cabo correlaciones simples (r). Se consideró una correlación débil si $|r|<0,5$, moderada si $0,5\leq|r|\leq0,75$ y fuerte si $|r|>0,75$ (Ramírez-Wong *et al.*, 1994).

En la Tabla V se muestran las correlaciones encontradas entre los parámetros reológicos de las masas de las harinas comerciales y la calidad del pan elaborado con ellas. En total se encontraron ocho correlaciones significativas moderadas, de las cuales cuatro fueron positivas y cuatro negativas, todas fuertes a un nivel de $p<0,0001$. El volumen específico del pan (VES) se correlacionó positivamente con el tiempo de desarrollo (TD, $r=0,636$), altura máxima de desarrollo de la masa (Hm; $r=0,669$), ángulo delta (δ ; $r=0,669$) y tiempo de relajación (τ ; $r=0,669$), mostrando que va-

TABLA V
CORRELACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS REOLÓGICOS DE LA MASA DE LAS HARINAS COMERCIALES Y LA CALIDAD DEL PAN FRANCÉS

Determinación	VES	FM2
TD	0,636	-----
Hm	0,669	-----
CO ₂	-0,645	-0,645
δ	0,637	-----
G ₀	-0,622	-----
τ	0,681	-0,614

VES: volumen específico del pan, FM2: firmeza máxima del pan a las dos horas de su elaboración, TD: tiempo de desarrollo, Hm: altura máxima de desarrollo de la masa, CO₂: producción de gas, δ : ángulo de fase, G₀: esfuerzo máximo inicial, τ : tiempo de relajación

lores altos en estos parámetros favorecen al VES. Otros investigadores han encontrado las relaciones de VES con TD y δ , resumiéndose en el contenido y tipo de proteína presente que confiere fuerza a la masa (Islas *et al.*, 2005; Van Bockstaele *et al.*, 2008b). Por otro lado, τ y δ son parámetros que indican cuán viscoso o elástico se comporta un material. En este caso el grado de viscosidad de la masa favorece el incremento de volumen de las celdas de gas reflejándose en un valor alto de Hm, siendo este incremento adecuado para mantener su volumen sin llegar a la ruptura, por lo que el VES es grande. Así mismo, se encontraron dos correlaciones negativas de VES con la producción de gas (CO_2 ; $r=-0,645$) y el esfuerzo máximo inicial (G_0 ; $r=-0,622$), indicando que el VES es menor cuando CO_2 y G_0 son mayores. Si el CO_2 es excesivo, las paredes de la celda de gas superan su índice de ruptura causando que se colapsen, reduciendo así el VES. De igual forma, cuando la matriz proteica está fuertemente unida se registra un mayor G_0 u oposición al crecimiento de la celda de gas, ocurriendo primero la ruptura o simplemente no aumentando el tamaño de la misma, afectando el VES. Con respecto a la firmeza del pan recién elaborado (FM2) se encontraron dos correlaciones negativas con CO_2 y τ , revelando que cuando la firmeza del pan es menor (más suave) CO_2 y τ son mayores. Debido al grado de viscosidad de la masa evaluada por τ la acumulación de CO_2 es posible. El CO_2 se aloja entre las paredes de la celda de gas formando burbujas, las cuales unidas forman una esponja al enfriarse el pan, confiriéndole una firmeza menor (más blanda).

Conclusiones

El contenido de proteína se relacionó con la reología de las masas. Se considera que más allá del contenido de proteína fue probablemente el tipo de proteínas y sus subunidades presentes (principalmente las gluteninas) las responsables en las diferencias reológicas, sugiriendo extender la investigación en ese aspecto. El volumen del pan francés se incrementó en un 60,39 y 5,69% (utilizando levadura al 0,5 y 2,0%, respectivamente) en harina de alto contenido de proteína (13,54%; harina 1) en masas con grasa. El incremento de 0,5 a 2% de levadura en masas de la harina 1 con grasa redujo en un 50% la firmeza de su miga. La formulación control obtenida fue

con harina comercial con mayor contenido de proteína, 2% de grasa y 2% de levadura. Con ésta formulación se obtuvo el pan francés con mayor volumen y una firmeza más suave. La masa de la harina 1 tuvo los valores más altos de δ (más viscoso) y tiempo de relajación (29,82° y 0,385s, respectivamente) y el valor menor del esfuerzo máximo inicial (4,44kPa), indicando un comportamiento más viscoso del material. Masas con mayor comportamiento viscoso que elástico son más adecuadas para obtener pan francés de mayor volumen y menor firmeza. Estos valores obtenidos de los parámetros viscoelásticos pueden fungir como indicadores de calidad del pan francés, bajo la formulación control establecida. En general, se observó que la viscoelasticidad de la masa, aunado a la formulación utilizada, influye en las características panaderas del producto terminado. Utilizando el método dinámico y la prueba de relajación del esfuerzo fue posible encontrar una relación entre sus parámetros y las características de calidad del pan francés, obteniendo indicadores viscoelásticos de la calidad panadera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Panadería local Galissa por el entrenamiento recibido en la elaboración del pan y facilitar material para la experimentación, al Molino la Fama por proporcionar parte de la materia prima utilizada, y al Departamento de investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora por facilitar sus instalaciones y equipo para realizar la investigación.

REFERENCIAS

AACC (2000) *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 10ª ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EEUU.

Bloksma AH, Bushuk W (1988) Rheology and chemistry of dough. En Pomeranz Y (Ed.) *Wheat Chemistry and Technology*. 3ª ed. American Association of Cereal Chemists. St Paul, MN, EEUU. pp. 131-217.

Brooker BE (1996) The role of the stabilization of the gas cells in bread dough. *J. Cereal Sci.* 24: 187-198.

Carr LG, Tadini CC (2003) Influence of yeast and vegetable shortening on physical and textural parameters of frozen part baked french bread. *Food Sci. Technol.* 36: 609-614.

Chiotelli E, Rolée A, Le Meste M (2004) Rheological properties of soft wheat flour doughs: effect of salt and tryglicerides. *Cereal Chem.* 81: 459-468.

Dobraszczyk BJ, Morgenstern MP (2003) Rheology and the bread making process. *J. Cereal Sci.* 38: 229-245.

Dowell FE, Maghurang EB, Pierce RO, Lookhart GL, Bean SR, Xie F, Caley MS, Wilson JD, Seabourn BW, Ram MS, Park SH, Chung OK (2008) Relationship of bread quality to kernel, flour, and dough properties. *Cereal Chem.* 85: 82-91.

Faubion JM, Hoseney RC (1990) The viscoelastic properties of wheat flour doughs. En Faridi H, Faubion JM (Eds.) *Dough Rheology and Baked Product Texture*. Van Nostrand. Nueva York, EEUU. pp. 42-62.

Graybosch R, Peterson JC, Moore KJ, Stearns M, Grant DL (1993) Comparative effects of wheat flour protein, lipid and pentosan composition in relation to baking and milling quality. *Cereal Chem.* 70: 95-101.

Gupta RB, Batey IL, MacRitchie F (1992) Relationship between protein composition and functional properties of wheat flours. *Cereal Chem.* 69: 125-131.

He H, Hoseney RC (1990) Changes in bread firmness and moisture during long-term storage. *Cereal Chem.* 67: 603-605.

Islas A, MacRitchie F, Gandikota S, Hou G (2005) Relaciones de la composición proteínica y mediciones reológicas en masa con la calidad panadera de harinas de trigo. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 243-251.

Khatkar BS (2004) Dynamic rheological properties and bread-making qualities of wheat gluten: effects of urea and dithiothreitol. *J. Sci. Food Agric.* 85: 337-341.

Khatkar BS, Schofield JD (2002) Dynamic rheology of wheat flour dough. i. Non-linear viscoelastic behavior. *J. Sci. Food Agric.* 82: 827-829.

Li W, Dobraszczyk BJ, Schofield JD (2003). Stress relaxation behavior of wheat dough, gluten, and gluten protein fractions. *Cereal Chem.* 80: 333-338.

Mondal A, Datta AK (2007) Bread baking-a review. *J. Food. Eng.* 86: 465-474.

Oda Y, Tonomura K (1993) Sodium chloride enhances the potential leavening ability of yeast in dough. *Food Microbiol.* 10: 249-254.

Pavlovich-Abril A, Salazar-García MG, Cinco J, Ortega R, Gámez N (2009) Efectos de una mezcla de estearina de palma y aceite de canola sobre los parámetros reológicos de la masa de trigo y características del pan. *Interciencia* 34: 577-582.

Pomeranz Y (1988) *Wheat Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, EEUU. pp. 131-217.

Ramírez-Wong B, Sweat VE, Torres PI, Rooney LW (1994) Cooking time, grinding, and moisture content effect on fresh corn masa texture. *Cereal Chem.* 71:337-343.

Rao VK, Mulvaney SJ, Dexter JE (2000) Rheological characterisation of long and short-mixing flour base on stress relaxation. *J. Cereal Sci.* 39: 159-171.

Rouillé, Della Valle G, Lefebvre J, Sliwinski E, van Vliet T (2005) Shear and extensional properties of bread doughs affected by the minor components. *J. Cereal Sci.* 42: 45-57.

- Safari-Ardi M, Phan-Thien N (1998) Stress relaxation an oscillatory test to distinguish between dough prepared from wheat flours of different varietal origin. *Cereal Chem.* 75: 80-84.
- Saxena DC, Rao UP, Rao PH (1997) Indian wheat cultivars: correlation between quality of gluten proteins, rheological characteristics of dough and tandoori roti quality. *J. Sci. Food. Agric.* 74: 265-272.
- Sliwinski EL, Kolster P, Van Vliet T (2004) On the relationship between gluten protein composition of the wheat flours and large-deformation properties of their doughs. *J. Cer. Sci.* 39: 247-264.
- Smith JR, Smith TL, Tschoegl NW (1970) Rheological properties of wheat flour doughs. III. Dynamic shear modulus and its dependence on amplitude, frequency, and dough composition. *Rheol. Acta* 9: 239-252.
- Smith PR, Johansson J (2004) Influences of the proportion of solid fat in a shortening on loaf volume and staling of bread. *J. Food Proc. Preserv.* 28: 359-367.
- Van Bockstaele F, De Leyn I, Eeckhout M, Dewettinck K (2008a) Rheological properties of wheat flour dough and their relationship with bread volume. I. Creep-recovery measurements. *Cereal Chem.* 85: 762-768.
- Van Bockstaele F, De Leyn I, Eeckhout M, Dewettinck K (2008b) Rheological properties of wheat flour dough and their relationship with bread volume. II. dynamic oscillation measurements. *Cereal Chem.* 85: 762-768.

EFFECTS OF PROTEIN, SHORTENING AND YEAST CONTENT ON DOUGHS VISCO-ELASTIC PROPERTIES AND QUALITY OF FRENCH TYPE BREAD

Elisa Magaña Barajas, Benjamín Ramírez Wong, Patricia Isabel Torres Chávez, Dalia Isabel Sánchez Machado and Jaime López Cervantes

SUMMARY

The effects of flour protein, shortening and yeast contents on the doughs viscoelastic properties and quality of French type bread were evaluated. Bread was elaborated with three commercial flours with different protein contents (10.59, 12.12 and 13.54%), two concentrations of shortening (0 and 2%) and two yeast concentrations (0,5 and 2%). Flours were evaluated for proximal composition, sedimentation volume and dough rheological characteristics. Dough viscoelasticity was evaluated using the dynamic and stress relaxation tests. Bread quality was evaluated determining the specific volume and firmness as maximum force after 2, 24 and 48h of storage at 25°C. To evaluate the effect of ingredients' content, a factorial experiment

design was used, with three factors: protein content, shortening content, and yeast content. The flour protein content had a significant effect on the doughs viscoelasticity and bread quality. French bread made of dough with more viscous than elastic behavior had the largest volume and the softest firmness. Furthermore, high contents of shortening and yeast enhance the volume and firmness of bread during storage. Correlations ($p < 0.0001$) among specific volume and the viscoelastic parameters delta angle and relaxation time ($r = 0.637$ and 0.681 , respectively), and firmness with relaxation time ($r = -0.614$) were obtained.

EFEITO DO CONTEÚDO DE PROTEÍNA, GORDURA E FERMENTO NAS PROPRIEDADES VISCOELÁSTICAS DA MASSA E A QUALIDADE DE PÃO TIPO FRANCÊS

Elisa Magaña Barajas, Benjamín Ramírez Wong, Patricia Isabel Torres Chávez, Dalia Isabel Sánchez Machado e Jaime López Cervantes

RESUMO

Avaliou-se o efeito do conteúdo de proteína na farinha, gordura vegetal e fermento na viscoelasticidade da massa e a qualidade do pão tipo francês. O pão se elaborou com três farinhas comerciais de diferentes conteúdos de proteína (10,59; 12,12 e 13,54%), duas concentrações de gordura vegetal (0 e 2%) e duas de fermento (0,5 y 2%). Determinou-se a composição proximal e o volume de sedimentação das farinhas, assim como as características reológicas das massas. A estas lhes serão avaliadas suas características viscoelásticas utilizando os métodos dinâmico e de descanso do esforço. A qualidade do pão foi avaliada medindo o volume específico e a firmeza como força máxima em 2, 24 e 48h de armazenamento a 25°C. Para avaliar o efeito do conteúdo dos ingredientes, foi utilizado um

desenho fatorial com três fatores: conteúdos de proteína, gordura vegetal e fermento. O conteúdo de proteína da farinha teve um efeito significativo na viscoelasticidade de suas massas e na qualidade do pão. O pão com maior volume e mais suave foi elaborado utilizando massa com um comportamento mais viscoso que elástico. Além disso, altos conteúdos de gordura vegetal e fermento favoreceram o volume e a firmeza do pão durante seu armazenamento. Encontraram-se correlações ($p < 0,0001$) entre o volume específico e os parâmetros viscoelásticos do ângulo delta e o tempo de descanso ($r = 0,637$ e $0,681$, respectivamente) e, da firmeza com o tempo de descanso ($r = -0,614$).