

EL COMPLEJO *GLI-1/GLU-3* Y LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS Y VOLUMEN DE PAN DE TRIGOS HARINEROS

THE *GLI-1/GLU-3* COMPLEX AND THE RHEOLOGICAL PROPERTIES AND BREAD VOLUME OF BREAD WHEATS

Eliel Martínez Cruz¹, Eduardo Espitia Rangel^{*2}, Ignacio Benítez Riquelme¹, Roberto J. Peña Bautista³, Amalio Santacruz Varela¹ y Héctor E. Villaseñor Mir²

¹Genética, Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Edo. de México.

²Programa de Trigo, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apdo. Postal 10. 56230, Chapingo, Edo. de México. Tel. 01 (595) 954-2877 Ext. 121. Fax: 01 (595) 954-6528. ³Programa de Trigo, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apdo Postal 6-641. 06600, México, D.F.

*Autor para correspondencia (espitia.eduardo@inifap.gob.mx)

RESUMEN

En este trabajo se hicieron los patrones electroforéticos de diferentes gliadinas y gluteninas de bajo (G-BPM) y alto peso molecular (G-APM), y se evaluó su efecto en la fuerza y extensibilidad del gluten y el volumen de pan de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.). Se probaron dos grupos de 98 líneas, derivadas de las cruces 'Rebeca F2000 x Baviácora M92' y 'Gálvez M87 x Rebeca F2000', llevadas de F₂ a F₆ por el método de la descendencia de una sola semilla, más los progenitores. Las líneas y los progenitores se sembraron en Chapingo y Santa Lucía de Prías, Estado de México, en el ciclo primavera-verano 2004. Se evaluaron propiedades reológicas en los materiales obtenidos mediante el volumen de sedimentación, tiempo de desarrollo de la masa, estabilidad al amasado, tolerancia al sobre-amasado, alveograma-W, alveograma-P/L y volumen de pan. Se identificaron los patrones electroforéticos en geles de poliacrilamida con dodecil sulfato de sodio. Los resultados indicaron que el bloque de ligamiento ω -gliadinas/G-BPM (*Gli-1/Glu-3*) ejerce efecto en las propiedades de la masa y el volumen de pan de las líneas derivadas de 'Rebeca F2000 x Baviácora M92', pero no así en las de 'Gálvez M87 x Rebeca F2000'. Las propiedades visco-elásticas de la masa están determinadas tanto por G-APM, G-BPM y ω -gliadinas, aunque el efecto del complejo ω -gliadinas/G-BPM (*Gli-1/Glu-3*) es menor que el de las primeras (G-APM).

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., gliadinas, gluteninas, fuerza y extensibilidad de la masa, volumen de pan.

SUMMARY

In this work the electrophoretic patterns of different gliadins and low (LMW-G) and high (HMW-G) molecular weight glutenins were determined and their effects on gluten strength, gluten extensibility and bread volume of bread wheats (*Triticum aestivum* L.) were evaluated. Two sets of 98 lines obtained from F₂ to F₆ through the single seed descent method from each of the crosses 'Rebeca F2000 x Baviácora M82' and 'Gálvez M87 x Rebeca F2000' as well as progenitors were included. Lines and progenitors were planted at Chapingo and Santa Lucía de Prías, State of México, during the Spring-

Summer cycle 2004. Rheological properties were evaluated through sedimentation volume, dough development time, dough stability, tolerance to over-mixing, alveogram-W, alveogram-P/L and bread volume. Electrophoretic patterns were identified on sodium dodecyl sulfate polyacrilamid gels. Results showed that the linkage block ω -gliadins/ LMW-G (*Gli-1/Glu-3*) affects the properties of the dough and bread volume of lines derived from the 'Rebeca F2000 x Baviácora M92' cross, but not of those derived from the 'Gálvez M87 x Rebeca F2000' cross. Viscoelastic properties of the dough are determined by HMW-G, LMW-G and ω -gliadins; nevertheless, the effect of the complex ω -gliadins/LMW-G (*Gli-1/Glu-3*) is smaller than that of HMW-G.

Index words: *Triticum aestivum* L., gliadins, glutenins, dough strength and extensibility, bread volume.

INTRODUCCIÓN

Las gliadinas y gluteninas constituyen 80 % de la proteína total del gluten de la masa de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.), de las cuales las gliadinas representan 40 % y las gluteninas 60 % (Payne, 1987). Las gluteninas de bajo peso molecular (G-BPM) y las de alto peso molecular (G-APM) representan 80 y 20 % de la glutenina total, respectivamente (Bietz y Wall, 1973; Payne, 1986). A pesar de los altos porcentajes de las G-BPM y gliadinas, no se ha podido identificar el efecto individual de sus respectivos alelos sobre la visco-elasticidad de la masa (fuerza y extensibilidad) y el volumen de pan.

Por su movilidad en geles de poliacrilamida en medio ácido, las gliadinas se dividen en α , β , γ (mayor movilidad) y ω (menor movilidad). Los pesos moleculares de las gliadinas y G-BPM varían de 30 a 75 y 30 a 51 kDa, respectivamente (Payne y Corfield, 1979).

Según Payne (1987), Payne *et al.* (1987), Pogna *et al.* (1992), Ikeda *et al.* (2003) y Ram (2003), ha sido más estudiado el efecto individual de las variaciones alélicas de las G-APM sobre la fuerza y extensibilidad del gluten. En las variedades mexicanas 'Rebeca F2000', 'Baviácora M92' y 'Gálvez M87', se ha identificado el efecto de las G-APM (Martínez, 2001; Com. personal¹). Por otro lado, las G-BPM afectan la fuerza y extensibilidad (Lawrence *et al.*, 1987, Gupta *et al.*, 1989 y Liu *et al.*, 2005) y las gliadinas a la viscosidad (Payne, 1987) de la masa.

La determinación del efecto individual de los alelos de G-BPM y ω -gliadinas es difícil de distinguir, debido a sus numerosos componentes alélicos y porque los genes que controlan las ω -gliadinas (loci *Gli-1*) y las G-BPM (*Glu-3*) se encuentran genéticamente ligados (Payne *et al.*, 1984).

El efecto de los alelos de G-APM de 'Rebeca F2000', 'Baviácora M92' y 'Gálvez M87' ha sido identificado, pero no así el de las ω -gliadinas/G-BPM. Por ello el objetivo del presente estudio fue identificar el efecto de los patrones electroforéticos de las G-APM y del complejo ω -gliadinas/G-BPM (*Gli-1/Glu-3*) de líneas recombinantes derivadas de las cruces 'Rebeca F2000 x Baviácora M92' y 'Gálvez M87 x Rebeca F2000', sobre las características visco-elásticas del gluten y volumen de pan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se usaron 98 genotipos de cada cruce, derivados por descendencia de una sola semilla de F₂ a F₆ obtenidas de las cruces 'Rebeca F2000 x Baviácora M92' y 'Gálvez M87 x Rebeca F2000', más los progenitores. Los progenitores 'Rebeca F2000', 'Baviácora M92' y 'Gálvez M87' presentan los patrones electroforéticos: [1, 17+18, 5+10/R], [2*, 7+9, 5+10/B] y [1, 17+18, 5+10/G], respectivamente, donde 1 y 2* (locus *Glu A1*), 17+18 y 7+9 (*Glu B1*) y 5+10 (*Glu D1*) corresponden a los alelos de G-APM; por otro lado, R ('Rebeca F2000'), B ('Baviácora M92') y G ('Gálvez M87') involucran las ω -gliadinas (*Gli-1*) y G-BPM (*Glu-3*).

Diseño y unidad experimental

Los genotipos de ambas cruces (98 líneas F₆) y sus progenitores fueron sembrados bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones, en dos localidades (Santa Lucía de Prías y Chapingo, México)

pertenecientes al Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en condiciones de temporal o secano, en el ciclo primavera-verano 2004. La parcela experimental consistió de cuatro surcos de 3 m de largo con una separación entre surcos de 30 cm. Las parcelas experimentales se cosecharon con una mini-combinada y las muestras se limpiaron para ser analizadas en el laboratorio.

Análisis de laboratorio

Se hicieron análisis visco-elásticos de masa, medición de volumen de pan e identificación de los patrones electroforéticos de las proteínas, en el Laboratorio de Química, Bioquímica y Calidad Industrial de Trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Las muestras de grano se acondicionaron y se molieron en un molino Brabender Quadramat Jr. (C.W. Brabender OHG, Germany); el producto de la molienda se cernió a través de dos mallas de diámetros 183 μ m y 129 μ m para la obtención de harina refinada.

Para estimar la fuerza del gluten se midió el volumen de sedimentación en 1 g de harina refinada, con el método de Peña *et al.* (1990). Se determinaron las propiedades de amasado con el método 54-40 A (AACC, 1995) con 35 g de harina refinada y el mixógrafo de Swanson (National Mfg., EE. UU.). Del mixograma se obtuvo el tiempo de desarrollo de la masa, estabilidad durante el amasado (mixograma-estabilidad) y la tolerancia al sobreamasado. Se consideró que valores altos en tiempo de amasado y estabilidad expresan mayor fuerza, mientras que valores bajos en tolerancia al sobreamasado se asocian a mayor fuerza del gluten (Kehian *et al.*, 1992).

Las propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa se determinaron en un alveógrafo de Chopin (Trippette & Renaud, Francia), con el método 54-30 A (AACC, 1995), a partir de 50 g de harina refinada. Del alveograma se calculó la fuerza general del gluten ($W \times 10^{-4}$ J) y la relación de tenacidad/extensibilidad (P/L), en la que valores menores a la unidad significan mayor extensibilidad. La prueba de calidad panadera se hizo con el método de masa directa en 100 g de harina refinada (procedimiento 10-09: AACC, 1995), y el volumen de pan (cm³) se determinó por desplazamiento de semillas de colza (*Brassica* sp.) mediante un volutómetro. La identificación de las proteínas de los patrones electroforéticos se obtuvo de una muestra de 40 mg de harina integral, sobre geles de poliacrilamida 9 % en presencia de dodecil sulfato de sodio como agente reductor; la separación electroforética se hizo aplicando 11 mA por gel durante 16 h, en medio alcalino (He *et al.*, 1992).

¹ Martínez C E (2001) Caracterización de las gluteninas de progenitores de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.), Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza para cada cruza ('Rebeca F2000 x Baviácora M92' y 'Gálvez M87 x Rebeca F2000') y cada variable. Posteriormente, para cada cruza, la fuente de variación genotipos se agrupó y se aplicó un análisis de varianza adicional para obtener los cuadrados medios respectivos por patrón electroforético y contrastes ortogonales. La comparación de medias se hizo con la prueba de DMS ($P \leq 0.05$), mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 1994) para mostrar las diferencias entre patrones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cruza 'Rebeca F2000 x Baviácora M92'

Las líneas recombinantes obtenidas de esta cruza se agruparon en ocho patrones electroforéticos (Figura 1), con las características siguientes: 1 = 1, 17+18, 5+10/B; 2 = 1, 17+18, 5+10/R; 3 = 1, 7+9, 5+10/B; 4 = 1, 7+9, 5+10/R; 5 = 2*, 17+18, 5+10/B; 6 = 2*, 17+18, 5+10/R; 7 = 2*, 7+9, 5+10/B; y 8 = 2*, 7+9, 5+10/R. Entre estos patrones hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las propiedades de amasado (tiempo de desarrollo de la masa, mixograma-estabilidad, y tolerancia al sobre-amasado) y en el volumen de pan; esto significa que la composición alélica de los patrones está asociada con características visco-elásticas del gluten, excepto con volumen de sedimentación, alveograma-W y alveograma-P/L (Cuadro 1).

Entre los patrones 1 y 2 sólo se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) en alveograma-P/L, lo que sugiere que cuando la combinación [1, 17+18-5+10] de G-APM está presente, el patrón de ω -gliadinas/G-BPM de 'Rebeca F2000' y 'Baviácora M92' afecta de manera diferencial a esta característica, parámetro que se asocia con el cociente tenacidad/extensibilidad de la masa.

En presencia de la combinación de G-APM [1, 7+9, 5+10] se encontraron diferencias significativas entre el patrón 3 y el patrón 4, en tiempo de desarrollo de la masa, mixograma-estabilidad, tolerancia al sobre-amasado y alveograma-W; esto denota que los patrones de ω -gliadinas/G-BPM de 'Rebeca F2000' y 'Baviácora M92' ejercen diferente efecto en las propiedades de amasado, fuerza general y volumen de pan. Cuando la combinación [2*, 17+18, 5+10] de G-APM estuvo presente, se observaron diferencias significativas en el contraste patrón 5 vs patrón 6 para alveograma-W, y esto señala que los patrones de ω -gliadinas/G-BPM de 'Rebeca F2000' y 'Baviácora M92' afectan de igual modo a la mayoría de las propie-

dades de fuerza y extensibilidad de la masa y volumen de pan.

En contraste, para la comparación entre patrones 7 y 8 en presencia de la combinación de G-APM [2*, 7+9, 5+10], no hubo significancia ($P \leq 0.05$) en los parámetros asociados con la visco-elasticidad del gluten. De las cuatro comparaciones anteriores, en tres se obtuvo efecto significativo en al menos una variable de la fuerza o extensibilidad de la masa y, por tanto, se deduce que el efecto diferencial de los patrones sobre las propiedades reológicas de la masa depende del complejo ω -gliadinas/G-BPM.

Cuando las combinaciones de G-APM [1, 17+18, 5+10] y [2*, 17+18, 5+10] estuvieron presentes, las líneas con el bloque de ligamiento de ω -gliadinas/GBPM de 'Baviácora M92' presentaron mayor extensibilidad (según el alveograma P/L) y características de gluten fuerte apropiadas para la industria de la panificación mecanizada por el tipo de proceso y producto final (pan de molde) (Cuadro 2). Esto sugiere que los patrones 1 [1, 17+18, 5+10/B] y 5 [2*, 17+18, 5+10/B] inducen mejores características de fuerza y extensibilidad. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Payne (1987), Payne *et al.* (1987), Pogna *et al.* (1992), Ikeda *et al.* (2003) y Ram (2003), quienes asocian a estas G-APM con un efecto positivo sobre la fuerza de la masa. Por otro lado, de acuerdo

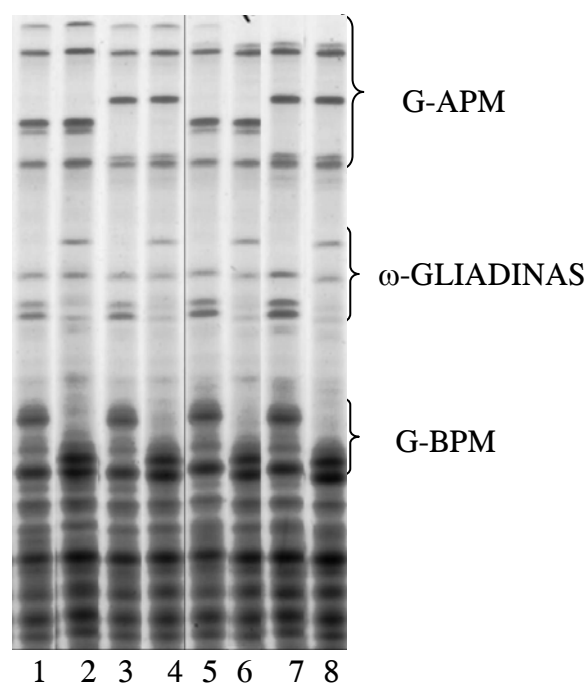


Figura 1. Patrones electroforéticos en gel de poliacrilamida en presencia de dodecil sulfato de sodio, de trigos harineros mexicanos obtenidos de la cruza 'Rebeca F2000 x Baviácora M92'. G-APM = Gluteninas de alto peso molecular; G-BPM = Gluteninas de bajo peso molecular.

Cuadro 1. Cuadrados medios de propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa y volumen de pan de líneas derivadas de la cruza 'Rebeca F2000 x Baviácora M92'. Chapingo y Santa Lucía de Prías, México. Primavera-Verano, 2004.

Fuente de variación	gl	SDS	TAM	MIXE	TSAM	W	P/L	VOLP
Localidades (L)	1	61.2**	8.0**	0.7	27.7*	1599	0.2	322737**
Repeticiones/(L)	2	11.4	0.8	4.1	15.7	9393	0.2	10622
Genotipos (G)	83	2.4**	0.6*	2.7**	11.9**	27169*	0.2**	7582**
L/G	69	1.5*	0.4	1.3	6.4*	17558	0.07	2921
Patrones (P)	7	2.7	1.1*	3.8*	19.9**	38753	0.2	13194**
L x P	7	1.6	0.14	0.9	9.6	20468	0.1	34
P1 vs. P2	1	0.2	1.71	0.5	6.4	8015	0.4*	5938
P3 vs. P4	1	0.3	3.4**	6.2*	34.4*	121742*	0.01	5210
P5 vs. P6	1	0.4	0.5	0.3	0.7	121376*	0.07	8463
P7 vs. P8	1	0.03	0.3	2.9	6.0	73	0.01	14694
Error [†]	123	1.3	0.4	1.2	4.5	18149	0.06	3414

*, **, Significativas con $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente; gl = Grados de libertad; [†]Error del análisis general; SDS = Volumen de sedimentación; TAM = Tiempo de desarrollo de la masa; MIXE = Mixograma-estabilidad; TSAM = Tolerancia al sobre-amasado; W = Alveograma-W; P/L = Alveograma-P/L; VOLP=Volumen de pan.

Cuadro 2. Comparación de medias de fuerza y extensibilidad de la masa y volumen de pan de los patrones electroforéticos de los genotipos derivadas de la cruza 'Rebeca F2000 x Baviácora M92'. Chapingo y Santa Lucía de Prías, México. Primavera-Verano, 2004.

Variables	Patrones							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	G-APM ω-gliadinas/G-BPM		1, 7+9, 5+10		2*, 17+18, 5+10		2*, 7+9, 5+10	
	B	R	B	R	B	R	B	R
Volumen de sedimentación (mL)	20.7 ba [†]	20.8 a	20.2 b	20.2 b	21.1 a	20.7 ba	20.4 b	20.4 b
Tiempo de desarrollo de la masa (min)	3.8 bc	4.1 ba	3.8 bc	4.2 a	3.7 c	3.9 bac	4.0b ac	4.1 ba
Mixograma-estabilidad (min)	3.8 bc	4.0 bac	3.8 bc	4.4 ba	3.8 bc	3.6 c	4.2 bac	4.5 a
Tolerancia al sobre-amasado (mm)	6.7 bac	6.0 bc	6.7 bac	5.5 c	7.3ba	7.6 a	6.1 bc	5.6 c
Alveograma-W(10 ⁻⁴ J)	565.3 ba	588.8 ba	544.9 b	629.0 a	537.5 b	632.0 a	601.6 ba	598.8 ba
Alveograma-P/L (0-6)	1.2 bc	1.4 a	1.3 ba	1.3 ba	1.2 c	1.3 bac	1.4 ba	1.4 a
Volumen de pan (cm ³)	918.3 ba	899.0 bdc	885.0 dc	905.9 bac	915.2 bdc	931.3 a	897.6 bdc	873.9 d

†: Valores con la misma letra dentro de filas son estadísticamente iguales (DMS, $P \leq 0.05$). G-APM = Gluteninas de alto peso molecular; G-BPM = Gluteninas de bajo molecular; B = 'Baviácora M92'; R = 'Rebeca F2000'

con el alveograma P/L los patrones electroforéticos 8 [2*, 7+9, 5+10/R], 7 [2*, 7+9, 5+10/B] y 2 [1, 17+18, 5+10/R] se asocian a masas tenaces, que son inapropiadas para la industria de la panificación, lo que concuerda con lo reportado por Payne (1987), Pogna *et al.* (1992) y Johansson y Svensson (1995), quienes asocian al alelo 7+9 con baja extensibilidad.

Lo anterior indica que las propiedades visco-elásticas de la masa están determinadas tanto por las G-APM como por las G-BPM y las ω-gliadinas, y que el efecto del complejo ω-gliadinas/G-BPM (*Gli-1/Glu-3*) es menor al de las G-APM. De acuerdo con Payne (1987), Payne *et al.* (1987), Pogna *et al.* (1992), Ikeda *et al.* (2003) y Ram (2003), las G-APM se asocian con la fuerza del gluten. Lawrence *et al.* (1987), Gupta *et al.* (1989) y Liu *et al.* (2005) asociaron las G-BPM con la extensibilidad y Payne (1987) a las gliadinas con la viscosidad.

Cruza 'Gálvez M87 x Rebeca F2000'

Los patrones de las líneas derivadas de esta cruza (Figura 2), donde: 1 = 1, 17+18, 5+10/G y 2 = 1, 17+18, 5+10/R, muestran que no hubo diferencias significativas en variable alguna. Esto sugiere que los alelos en el bloque de ligamiento ω-gliadinas/G-BPM (*Gli-1/Glu-3*) no ejercen un efecto diferencial sobre la fuerza y extensibilidad del gluten y el volumen de pan. Las líneas derivadas de la cruza 'Gálvez M87 x Rebeca F2000' fueron idénticas en los alelos de G-APM [1, 17+18, 5+10], y sólo se distinguieron en el patrón de ω-gliadinas/G-BPM de los progenitores; el hecho de no haber encontrado significancia obedeció a la presencia de los alelos (5+10) y (17+18) que ejercen un efecto positivo en las propiedades visco-elásticas de la masa y el volumen de pan (Cuadro 3). Esto concuerda con lo reportado por Payne (1987), Payne *et al.* (1987), Pogna *et al.* (1992), Ikeda *et al.* (2003) y Ram (2003), quienes asociaron ambos alelos con un efecto positivo sobre la fuerza y extensibilidad del gluten, y entonces

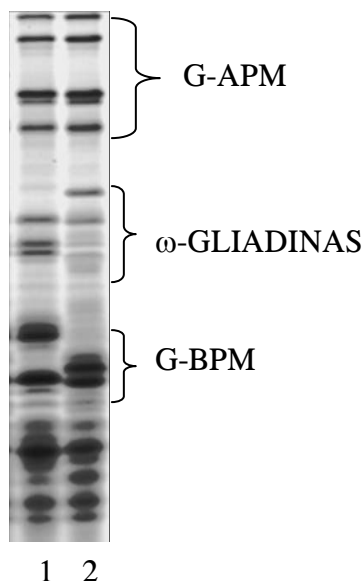


Figura 2. Patrones electroforéticos en gel de poliacrilamida en presencia de dodecil sulfato de sodio, de trigos harineros mexicanos obtenidos de la cruzada 'Gálvez M87 x Rebeca F2000'. G-APM = Gluteninas de alto peso molecular; G-BPM = Gluteninas de bajo peso molecular.

es posible que el efecto de las ω -gliadinas/G-BPM haya quedado confundido con el efecto de los alelos de G-APM.

El análisis de propiedades reológicas de los patrones hallados de la cruzada 'Gálvez M87 x Rebeca F2000' mostró que no hubo diferencia ($P \leq 0.05$) en ninguna variable (Cuadro 4), de lo que se deduce que los patrones electroforéticos de ω -gliadinas/G-BPM de las variedades 'Gálvez M87' y 'Rebeca F2000' no tienen efecto significativo en las propiedades visco-elásticas de la masa y el volumen de pan.

CONCLUSIONES

Las G-APM y el complejo de ω -gliadinas/G-BPM (*Gli-1/Glu-3*) influyen sobre las propiedades reológicas de la masa y el volumen de pan. El bloque de ligamiento ω -gliadinas/G-BPM (*Gli-1/Glu-3*) del progenitor 'Baviacóra M92' favorece la extensibilidad de la masa. Los patrones [1, 17+18, 5+10/B] y [2*, 17+18, 5+10/B] se asociaron con mejores propiedades visco-elásticas del gluten. El complejo ω -gliadinas/G-BPM (*Gli-1/Glu-3*) de 'Gálvez M87' y 'Rebeca F2000' no afecta las propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa y el volumen de pan.

Cuadro 3. Cuadrados medios de propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa y volumen de pan de líneas derivadas de la cruzada 'Gálvez M87 x Rebeca F2000'. Chapingo y Santa Lucía de Prías, México. Primavera-Verano, 2004.

Fuente de variación	gl	SDS	TAM	MIXE	TSAM	W	P/L	VOLP
Localidades (L)	1	153.2**	3.1	3.1	7.3	24413**	2.2**	24546**
Repeticiones/L	2	1.5	1.1	4.0	39.3	9420	0.1	589
Genotipos (G)	92	5.3**	1.7**	2.7**	15.3**	45962**	0.1**	1544**
LxG	90	1.8	0.4	1.1	9.7*	13534	0.1*	935**
Patrones (P)	1	0.9	2.8	1.6	3.7	52864	0.05	106
LxP	1	3.9	0.7	1.9	30.6	10000	0.0	49
Error [†]	165	3.3	1.0	1.2	6.6	24453	0.07	521

*, **, Significativas con $P \leq 0.05$ y $P \leq 0.01$, respectivamente; gl = Grados de libertad; [†]error del análisis general; SDS = Volumen de sedimentación; TAM = Tiempo de desarrollo de la masa; MIXE = Mixograma-estabilidad; TSAM = Tolerancia al sobre-amasado; W = Alveograma-W; P/L = Alveograma-P/L; VOLP = Volumen de pan.

Cuadro 4. Comparación de medias de fuerza y extensibilidad de la masa y volumen de pan de líneas derivadas de la cruzada 'Gálvez M87 x Rebeca F2000'. Chapingo y Santa Lucía de Prías, México. Primavera-Verano, 2004.

Variables	Patrones	
	1 G-APM ω -gliadinas/G-BPM	2 1, 17+18, 5+10 R
Volumen de sedimentación (mL)	20.6 a [†]	20.7 a
Tiempo de desarrollo de la masa (min)	4.2 a	4.3 a
Mixograma-estabilidad (min)	3.8 a	4.0 a
Tolerancia al sobre-amasado (mm)	7.1 a	6.9 a
Alveograma-W(10^{-4} J)	664.2 a	686.9 a
Alveograma-P/L (0-6)	0.9 a	0.9 a
Volumen de pan (cm ³)	1010.3 a	1009.4 a

[†]: Valores con la misma letra dentro de filas son estadísticamente iguales (DMS, $P \leq 0.05$). G-APM = Gluteninas de alto peso molecular; G-BP Gluteninas de bajo molecular; G = 'Gálvez M87'; R = 'Rebeca F2000'.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por el financiamiento otorgado para la realización de la presente investigación (Proyecto 34718-B).

BIBLIOGRAFÍA

- AACC (1995) Approved Methods of the AACC. 9th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Bietz J A, J S Wall (1973) Isolation and characterization of gliadin-like subunits from glutenins. *Cereal Chem.* 50:537-547.
- Gupta R B, N K Singh, K W Shepherd (1989) The accumulative effect of allelic variation in LMW and HMW glutenin subunits on dough properties in the progeny of two bread wheats. *Theor. Appl. Gen.* 77:57-64.
- He Z H, R J Peña, S. Rajaram (1992) High molecular weight subunit composition of chinese. *Euphytica* 64:11-20.
- Ikeda T M, T Nakamichi, T Nagamine, H Yano, A Yanagisawa (2003) Identification of specific low-molecular-weight-glutenin subunits related to gluten quality in bread wheats. *Japan. Agric. Res. Quart.* 37:99-103.
- Johansson E, G Svensson (1995) Contribution of the high molecular weight glutenin subunit 21* to breadmaking quality of Swedish wheats. *Cereal Chem.* 72:287-290.
- Keihan M, Eliasson A C, Lindahl L, Tragardh C (1992) Rheological properties and breadmaking quality of wheat flour doughs made with different dough mixers. *Cereal Chem.* 69:222-225.
- Lawrence G J, H J Moss, K W Shepherd, C W Wrigley (1987) Dough quality of biotypes of eleven Australian cultivars that differ in high molecular weight glutenin subunit composition. *J. Cer. Sci.* 6:99-101.
- Liu L, H Z He, Y Yan, X C Xia, R J Peña (2005) Allelic variations at the *Glu-1* and *Glu-3* loci, presence of the 1B.1R translocation, and their effects on mixographic properties in chinese bread wheats. *Euphytica* 142:197-204.
- Payne P I (1986) Endosperm proteins. *In: Plant Gene Research: a Genetic Approach to Plant Biochemistry.* A D Blenstein, P J King (eds). New York, Springer. pp:207-301.
- Payne P I (1987) Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread making quality. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 8:141-153.
- Payne P I, K G Corfield (1979) Subunit composition of wheat glutenin proteins, isolated by gel filtration in a dissociating medium. *Plant* 145:83-88.
- Payne P I, E A Jackson, L M Holt (1984) The association between γ -gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: a direct causal effect or the result of genetic linkage? *J. Cer. Sci.* 2:73-81.
- Payne P I, M A Nightingale, A F Krattiger, L M Holt (1987) The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *J. Sci. Food Agric.* 40:51-65.
- Peña R J, A Amaya, S Rajaram, A Mujeeb-Kazi (1990) Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *J. Cer. Sci.* 12:105-112.
- Pogna N E, R Radaelli, T Dackevitch, A Curioni, A Dal Belin-Perufo (1992) Benefits from genetics and molecular biology to improve the end use properties of cereals. *In: Cereal Chemistry and Technology: a Long Past and a Bright Future.* P Feillet (ed). INRA. Montpellier, France. pp:83-93.
- Ram S (2003) High molecular weight glutenin subunit composition of Indian wheats and their relationships with dough strength. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 12:151-155.
- SAS Institute (1994) SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP. 6.04. 4 th ed. Cary, NC, USA. pp:891-996