

DIVERSIDAD GENÉTICA DE GLUTENINAS Y GLIADINAS EN TRIGOS HARINEROS (*Triticum aestivum* L.) MEXICANOS

GENETIC DIVERSITY OF GLUTENINS AND GLIADINS IN MEXICAN BREAD WHEAT (*Triticum aestivum* L.)

Eliel Martínez-Cruz¹, Eduardo Espitia-Rangel^{2*}, Héctor E. Villaseñor-Mir², José D. Molina-Galán¹, Ignacio Benítez-Riquelme¹, Amalio Santacruz-Varela¹, Roberto J. Peña-Bautista³

¹Genética, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. ²Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 56230. Chapingo, Estado de México. (espitia.eduardo@inifap.gob.mx). ³Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 56130. El Batán, Estado de México.

RESUMEN

Las gluteninas y las gliadinas del trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) tienen una función fundamental en la definición de la calidad de panificación. Con el objetivo de caracterizar la composición de las subunidades de gluteninas de alto (G-APM) y bajo (G-BPM) peso molecular, y de las ω -gliadinas, en 72 progenitores usados por el programa de fitomejoramiento de trigo harinero para temporal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP) y en 600 líneas F₆ derivadas de cruza entre variedades de diferentes grupos de calidad y sus progenitores, se analizaron mediante electroforesis en geles de poliacrilamida con dodecil sulfato de sodio. En el grupo de progenitores se encontraron 10 alelos que codifican para G-APM: 2 en *Glu-A1*; 6 en *Glu-B1* y 2 en *Glu-D1*. En G-BPM se encontraron 14 alelos: 4 en *Glu-A3*; 7 en *Glu-B3* y 3 en *Glu-D3*; los loci *Glu-B3* y *Glu-B1* presentaron mayor diversidad. Con base en las variantes alélicas, de los loci *Glu-1* y *Glu-3*, las líneas derivadas de Gálvez M87×Bacanora T88 se agruparon en 19 combinaciones distintas, mientras que en Rebeca F2000×Verano S91 y Gálvez M87×Verano S91, se encontraron 16 y 14. La caracterización de G-APM y G-BPM permitirá realizar cruzamientos dirigidos de forma específica para obtener combinaciones de gluteninas deseables, así como hacer más eficiente la selección en el programa de fitomejoramiento. Además, las líneas producto de las cruza analizadas permitirán entender mejor los efectos genéticos de las G-BPM, ω -gliadinas y de la translocación 1BL/1RS (proteínas secalinas) en la calidad de la masa de panificación.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., calidad de panificación, gluteninas, ω -gliadinas.

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Octubre, 2008. Aprobado: Enero, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 187-195. 2010.

ABSTRACT

Glutenins and gliadins of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) have a key role in defining the baking quality. In order to characterize the composition of glutenin subunits with high (HMW-G) and low (LMW-G) molecular weight, and the ω -gliadins in 72 parents used in the breeding program for rainfed bread wheat of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP) and in 600 F₆ lines derived from crosses between varieties of different quality groups and their parents, were analyzed by electrophoresis in polyacrylamide gels with sodium dodecyl sulfate. In the group of parents 10 alleles were found which code for HMW-G: 2 in *Glu-A1*; 6 in *Glu-B1* and 2 in *Glu-D1*. In LMW-G 14 alleles were found: 4 in *Glu-A3*; 7 in *Glu-B3* and 3 in *Glu-D3*; *Glu-B3* and *Glu-B1* loci presented higher diversity. Based on the allelic variants, of the *Glu-1* and *Glu-3* loci, the lines derived of Gálvez M87×Bacanora T88 were grouped in 19 different combinations, while in Rebeca F2000×Verano S91 and Gálvez M87×Verano S91 were found 16 and 14. The characterization of HMW-G and LMW-G will allow making crosses specifically tailored to obtain combinations of desired glutenins, as well as to carry out more efficiently the selection in the breeding program. Moreover, the lines which are product of crosses analyzed will allow to understand best the genetic effects of the LMW-G, ω -gliadins and of the 1BL/1RS translocation (secaline proteins) in the bread-making quality.

Key words: *Triticum aestivum* L., bread making quality, glutenins, ω -gliadins.

INTRODUCTION

In Mexico bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is classified according to industrial quality in wheat of semi-hard to hard texture and strong

INTRODUCCIÓN

En México el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) se clasifica de acuerdo a su calidad industrial en trigo de textura semidura a dura y gluten fuerte y extensible (grupo 1), de textura dura a semidura y gluten medio fuerte y extensible (grupo 2), de textura suave y gluten débil y extensible (grupo 3) y trigo de gluten tenaz poco extensible (grupo 4). Estas propiedades reológicas del gluten permiten diversificar su utilización en la industria de la panificación, galletera y repostería (Martínez *et al.*, 2007). Las propiedades viscoelásticas del gluten están determinadas principalmente por su composición de subunidades de α , β , γ y ω -gliadinas, gluteninas de alto peso molecular (G-APM) y gluteninas de bajo peso molecular (G-BPM) (Weegels *et al.*, 1996). En algunas variedades mexicanas liberadas para temporal, se han identificado las subunidades de G-APM así como su efecto en la reología de la masa y el volumen de pan (De la O *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2007). Sin embargo, se desconoce el efecto individual de las gliadinas y G-BPM, por lo que la identificación de estos componentes genéticos es necesaria para entender su influencia en la calidad y poder manipularlos en un programa de fitomejoramiento. Pero es difícil identificar subunidades de G-BPM y gliadinas (complejo *loci Glu-3* y *Gli-1*) en geles de poli(acrilamida), en presencia de dodecil sulfato de sodio, debido a la cantidad de genes (35 a 40) que conforman el *loci Glu-3* (Cassidy *et al.*, 1998) y por gliadinas de alto peso molecular y G-BPM que muestran entre sí patrones de movilidad electroforética similares, dificultando su identificación (Gupta *et al.*, 1990). Además, hay ligamiento genético entre las G-BPM (*locus Glu-3*) y las γ y ω -gliadinas (*locus Gli-1*), localizadas en el brazo corto de los cromosomas 1A, 1B y 1D (Payne *et al.*, 1984). Por tanto, el objetivo de esta investigación fue caracterizar las subunidades de G-APM y de G-BPM de los genotipos usados como progenitores en el programa de trigo del CEVAMEX-INIFAP y de líneas derivadas de cruces entre variedades de diferentes grupos de calidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y su evaluación en campo

Se usaron 72 genotipos (variedades y líneas experimentales) que forman el grupo de progenitores del programa de trigo

and extensible gluten (group 1), of hard to semi-hard texture and medium strong and extensible gluten (group 2), of soft texture and weak and extensible gluten (group 3) and wheat of tenacious gluten little extensible (group 4). These rheological properties of gluten can diversify their use in the baking, biscuit, and pastry industry (Martínez *et al.*, 2007). The viscoelastic properties of gluten are mainly determined by their composition of subunits of α , β , γ and ω -gliadins, high molecular weight glutenin (HMW-GS) and low molecular weight glutenins (LMW-GS) (Weegels *et al.*, 1996). In some Mexican varieties released for temporary wheat, HMW-G subunits have been identified as well as their effect on dough rheology and bread volume (De la O *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2007). However, the individual effect of gliadins and LMW-G is unknown, so that identification of these genetic components is needed to understand their influence on quality and be able to manipulate them under a breeding program. But it is difficult to identify subunits of LMW-G and gliadins (complex *Glu-3* and *Gli-1 loci*) in polyacrylamide gels in the presence of sodium dodecyl sulfate, due to the number of genes (35 to 40) that form the *Glu-3 loci* (Cassidy *et al.*, 1998) and by gliadins of high molecular weight and LMW-G showing among them patterns of similar electrophoretic mobility making difficult their identification (Gupta *et al.*, 1990). There are also genetic linkage between the LMW-G (*Glu-3 locus*) and the γ and ω -gliadins (*Gli-1 locus*), located on the short arm of the chromosomes 1A, 1B and 1D (Payne *et al.*, 1984). Therefore, the objective of this research was to characterize the subunits of HMW-G and LMW-G of the genotypes used as parents in the wheat program of the CEVAMEX-INIFAP and lines derived from crosses between varieties of different quality groups.

MATERIALS AND METHODS

Plant Material and its evaluation in field

Seventy two genotypes (experimental varieties and lines) that form the parent group of the wheat program of the CEVAMEX-INIFAP were used. Besides, an evaluation was performed for lines derived from the crosses among: Rebeca F2000×Bacanora T88, Rebeca F2000×Verano S91, Gálvez M87×Bacanora T88, Bacanora T88×Salamanca S75, Verano S91×Salamanca

del CEVAMEX-INIFAP. Además se evaluaron líneas derivadas de las cruces entre: Rebeca F2000×Bacanora T88, Rebeca F2000×Verano S91, Gálvez M87×Bacanora T88, Bacanora T88×Salamanca S75, Verano S91×Salamanca S75 y Gálvez M87×Verano S91. La letra después del nombre indica el grupo de calidad al cual pertenecen (S=grupo 3; M=grupo 2; F=grupo 1; T=grupo 4); y el número, el año en el que se liberaron. Las líneas F₆ fueron derivadas por descendencia de una sola semilla evaluándose 98 líneas por cruce y sus progenitores. Los materiales fueron sembrados en Roque, estado de Guanajuato, en el ciclo Otoño-Invierno de 2005-2006. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos repeticiones y la unidad experimental consistió de cuatro surcos (3 m largo) con una separación de 30 cm entre surcos.

Análisis de laboratorio

El análisis electroforético de gluteninas y gliadinas se realizó con el método de Peña *et al.* (2004) en el laboratorio de Química y Calidad de Cereales del CIMMYT. La separación de las subunidades de proteína se obtuvo de una muestra de 40 mg de harina integral usando geles de 14 % de acrilamida con pH 8.5, aplicando 9 mA por gel durante 17 h. Las G-APM (*locus Glu-A1*, *locus Glu-B1* y *locus Glu-D1*) se identificaron con base en la nomenclatura propuesta por Payne y Lawrence (1983) y las G-BPM, (*loci Glu-A3* y *Glu-B3*) de acuerdo con Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003). Las subunidades pertenecientes a ω -gliadinas se reportan en el *locus Glu-B3*. Para el *locus Glu-D3* se usó la nomenclatura propuesta por Branlard *et al.* (2003).

Análisis de la información

Se calcularon las frecuencias de distintos alelos en cada complejo genético (*Glu-1*, *Glu-3* y *Gli-B1*) y las de sus combinaciones en el grupo de progenitores y en las líneas obtenidas de las cruces indicadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El polimorfismo encontrado en el grupo de progenitores para cada uno de los *loci* se muestra en la Figura 1. Las subunidades de G-APM se identifican en A. Las subunidades de G-BPM (*loci Glu-A3* y *Glu-D3*) se señalan con flechas en la Figura 1B y C. El alelo e (en B) se caracteriza por ausencia de banda. Los alelos a (en B) y d (en C) corresponden a los genotipo Chinese Spring y Brimstone, utilizados como patrones electroforéticos de referencia.

S75 and Gálvez M87×Verano S91. The letter after the name indicates the quality group to which they belong (S=group 3; M=group 2; F=group 1; T=group 4); and the number, the year in which they were released. The F₆ lines were derived by descent from a single seed evaluating 98 lines by cross and their parents. The materials were sown in Roque, State of Guanajuato, in the fall-winter cycle of 2005-2006. The experimental design was a randomized complete block with two replications and the experimental unit consisted of four rows (3 m long) with a spacing of 30 cm between rows.

Laboratory analysis

The electrophoretic analysis of glutenins and gliadins was carried out with the method of Peña *et al.* (2004) at the laboratory of Chemistry and Cereals Quality of the CIMMYT. The separation of protein subunits was obtained from a sample of 40 mg of wheat flour using gels of 14 % acrylamide with pH 8.5, applying 9 mA per gel for 17 h. HMW-G (*Glu-A1 locus*, *Glu-B1 locus* and *Glu-D1 locus*) were identified based on the nomenclature proposed by Payne and Lawrence (1983) and the LMW-G (*Glu-A3* and *Glu-B3 loci*) according to Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996) and Branlard *et al.* (2003). The subunits belonging to ω -gliadins are reported in the *Glu-B3 locus*. For the *Glu-D3 locus* the nomenclature proposed by Branlard *et al.* (2003) was used.

Analysis of the information

The frequencies of different alleles were calculated in each genetic complex (*Glu-1*, *Glu-3* and *Gli-B1*) and those of their combinations in the group of parents and in the lines obtained from the indicated crosses.

RESULTS AND DISCUSSION

The polymorphism found in the parent group for each of the *loci* is shown in Figure 1. The HMW-GS are identified in A. The LMW-GS (*Glu-A3 loci* and *Glu-D3*) are shown with arrows in Figure 1B and C. The e allele (in B) is characterized by absence of band. The alleles a (in B) and d (in C) corresponds to the Chinese Spring and Brimstone genotype, used as electrophoretic patterns of reference. The linking between bands of *Glu-B3/Gli-B1* (long arrows) is represented in Figure 1D, in *Glu-B3* the bands in the boxes belong to LMW-GS and at the *Gli-B1* (short arrows) is shown the bands corresponding to ω -gliadins. In Figure 1D, the translocation 1BL/1RS

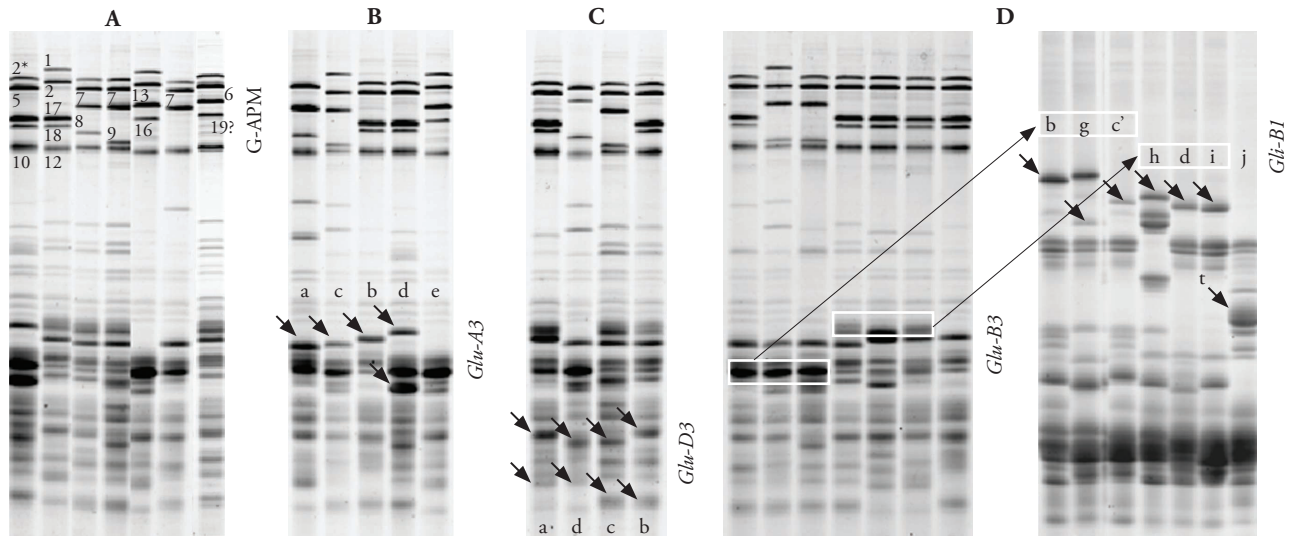


Figura 1. Subunidades de proteína en geles de poliacrilamida de los progenitores de trigo harinero del CEVAMEX-INIFAP. A: gluteninas de alto peso molecular (G-APM); B y C: gluteninas de bajo peso molecular (G-BPM); D: ligamiento *Glu-B3* (G-BPM)/*Gli-B1* (ω -Gliadinas). t, translocación 1BL/1RS.

Figure 1. Protein subunits in polyacrylamide gels of bread wheat parents of the CEVAMEX-INIFAP. A: glutenins of high molecular weight (HMW-G); B and C: glutenins of low molecular weight (LMW-G); D: linking *Glu-B3* (LMW-G)/*Gli-B1* (ω -Gliadins). t, translocation 1BL/1RS.

En la Figura 1 D se representa el ligamiento entre bandas de *Glu-B3*/*Gli-B1* (flechas largas), en *Glu-B3* las bandas en los rectángulos pertenecen a G-BPM y en *Gli-B1* (flechas cortas) se señalan las bandas correspondientes a ω -gliadinas. En la Figura 1 D se muestra la translocación 1BL/1RS proteínas secalinicas del centeno, asociadas a la presencia del alelo nulo j en *Glu-B3* (Gupta y Shepherd, 1992). La translocación consiste en el remplazo del brazo corto del cromosoma 1B del trigo por el brazo corto 1R del centeno. Dicha translocación se encuentra asociada a genotipos de amplia adaptación y alto rendimiento (Rajaram y Braun 2008); sin embargo, la calidad del gluten es reducida (Liu *et al.*, 2005).

En el Cuadro 1 se presentan las variantes alélicas de G-APM y G-BPM de algunas líneas y variedades comerciales del grupo de progenitores. Se observa que 22 (30.5 %) genotipos presentaron dos alelos distintos en el mismo *locus* (en el Cuadro 1 se separan por una diagonal). Este resultado podría atribuirse a una posible contaminación (presencia de otra variedad) o heterogeneidad en un *locus* (Shan *et al.*, 2007) asociada con las selecciones masales efectuadas en algunas etapas del proceso de mejoramiento genético. Más aún, hubo tres genotipos (4.1 %) con tres alelos por *locus*, uno de ellos en el *locus Glu-B1*

secaline proteins of rye associated to the presence of the null allele j at the *Glu-B3* is shown (Gupta and Shepherd, 1992). The translocation consists of the short arm replacement of the 1B chromosome of wheat for the short arm of 1R rye. This translocation is associated to genotypes of wide adaptation and high yielding (Rajaram and Braun, 2008); however, gluten quality is reduced (Liu *et al.*, 2005).

In Table 1 the allelic variants of HMW-G and LMW-G of some lines and commercial varieties of the parent group are presented. It is noted that 22 (30.5 %) genotypes showed two different alleles at the same *locus* (in Table 1 they are separated by a diagonal line). This result could be attributed to possible contamination (presence of other variety) or heterogeneity in a *locus* (Shan *et al.*, 2007) associated to mass selections carried out in some stages of the breeding process. Moreover, there were three genotypes (4.1 %) with three alleles per *locus*, one of them at the *Glu-B1* *locus* and two at the *Glu-B3* *locus*, which strengthens the hypothesis of a mechanic contamination rather than a genetic contamination. To confirm the presence of heterogeneity it is necessary to carry out the electrophoretic runoff of individual grains of the variety and thus discard or confirm the possible contamination and its origin (Shan *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Algunas combinaciones de G-APM (*loci Glu-1*) y G-BPM (*loci Glu-3*) de progenitores de trigo del CEVAMEX-INIFAP.

Table 1. Some combinations of HMW-G (*Glu-1 loci*) and LMW-G (*Glu-3 loci*) of parents of wheat of the CEVAMEX-INIFAP.

Variedad o línea	G-APM			G-BPM		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
1. ZACATECAS VT74	1	17+18	5+10	c	h	b
2. SALAMANCA S75	2*	7+8/17+18	2+12/5+10	c	g ²	b
3. GALVEZ M87	1	17+18	5+10	b	h	c
4. BARCENAS S2002	2*	7+8	2+12/5+10	d	b/h	b
5. CORTAZAR S94	2*	17++18	2+12/5+10	d	h	b
6. NANA F2007	2*	7+9	5+10	c	h	c/b
7. ROMOGA F96	1	17+18	5+10	e	c'	a
8. TLAXCALA F2000	1	17+18	5+10	c	c'	a
9. NAHUATL F2000	2*	17+18	5+10	b	i	c
10. TRIUNFO F2004	2*	17+18	5+10	d	c'	c/b
11. LÍNEA 26	1	13+16/7+8/7+9	5+10	d	b/c'	a
12. LÍNEA 30	2*	17+18	5+10	c	h/b/g	b
13. LÍNEA 31	1	17+18	5+10	d	b/h/c'	b
14. TOLLOCAN	2*	17+18	5+10	e	i	c
15. REBECA F2000	1	17+18	5+10	c	g	b
16. LÍNEA 53 ^z	2*	17+18	5+10	b	j	b
17. LÍNEA 54 ^z	2*	17+18	5+10	b	j	b
18. KRONSTAND F2004	2*	7+9	5+10	c	h	a
19. JOSECHA F2007	2*	7+9	5+10	c	h	b
20. MONARCA F2007	1/2*	7+9	5+10	c	h	b
21. NORTEÑA F2007	1	7+9	5+10	d	g	b
22. ROELFS F2007	2*	17+18	5+10	b	h	b
23. URBINA S2007	2*	7+8	2+12	d	h	b
24. PAVÓN F76	2*	17+18	5+10	b	h	b

G-APM: gluteninas de alto peso molecular; G-BPM: gluteninas de bajo peso molecular; (°): genotipos con translocación 1BL/1RS ❖ HMW-G: high molecular weight glutenins; LMW-G: low molecular weight glutenins; (°): genotypes with 1 BL/1RS translocation.

y dos en el *locus Glu-B3*, lo que fortalece la hipótesis de una contaminación mecánica más que de una contaminación genética. Para confirmar la presencia de heterogeneidad es necesario realizar el corrimiento electroforético de granos individuales de la variedad y así descartar o confirmar la posible contaminación y su origen (Shan *et al.*, 2007).

En los Cuadros 2 y 3 se resume la frecuencia de los alelos en cada *locus* de 47 progenitores, excluyendo los que presentaron más de un alelo por *locus*. Se encontraron 10 alelos que codifican para G-APM, (Cuadro 2), 2 en *Glu-A1*, 6 en *Glu-B1* y 2 en *Glu-D1*; mientras que para las G-BPM (Cuadro 3), se identificaron 14, 4 en *Glu-A3*, 7 en *Glu-B3* (ω -gliadinas) y 3 en *Glu-D3*. Los alelos más comunes dentro de cada *locus* son el 1 (*Glu-A1*, 56.3 %), 17+18 (*Glu-B1*, 60.4 %), 5+10 (*Glu-D1*, 97.9 %), c (*Glu-A3*, 54.2 %), h (*Glu-B3*, 43.8 %) y b (*Glu-D3*, 64.6 %). Los *loci* con mayor variación fueron

In the Tables 2 and 3 the frequency of the alleles at each *locus* of 47 parents, excluding those that presented more than one allele by *locus* is summarized. 10 alleles were found that are encoded for HMW-G (Table 2), 2 at *Glu-A1*, 6 at *Glu-B1* and 2 at *Glu-D1*; whereas for the LMW-G (Table 3), 14 were identified, 4 at *Glu-A3*, 7 at *Glu-B3* (ω -gliadins) and 3 at *Glu-D3*. The most common alleles inside each *locus* are the number 1 (*Glu-A1*, 56.3 %), 17+18 (*Glu-B1*, 60.4 %), 5+10 (*Glu-D1*, 97.9 %), c (*Glu-A3*, 54.2 %), h (*Glu-B3*, 43.8 %) and b (*Glu-D3*, 65.6 %). The *loci* with greater variation were *Glu-B3* (h, g, c', b, i, j, d) and *Glu-B1* (17+18, 7+9, 7+8, 6+19°, 7, 13+16). This allelic diversity is comparable to that found in French, and Chinese wheat and winter wheat in the U.S., where 16 (Branlard *et al.*, 2003), 12 (He *et al.*, 2005), and 14 (Shan *et al.*, 2007) alleles that code for HMW-G were found. For LMW-G, 19 alleles in French and

Cuadro 2. Frecuencia de alelos de G-APM de genotipos de trigo usados como progenitores en el CEVAMEX-INIFAP.**Table 2. Frequency of alleles of HMW-G of wheat genotypes used as parents in the CEVAMEX-INIFAP.**

Locus	G-APM	
	Alelo	Frecuencia (%)
<i>Glu-A1</i>	1	56.3
	2*	43.8
<i>Glu-B1</i>	17+18	60.4
	7+9	22.9
	7+8	6.3
	6+19?	4.2
	7	4.2
<i>Glu-D1</i>	13+16	2.1
	5+10	97.9
	2+12	2.1

G-APM: gluteninas de alto peso molecular. Las frecuencias fueron calculadas con base en los genotipos que no presentaron alelos dobles y triples ❖ HMW-G: high molecular weight glutenins. Frequencies were calculated based on the genotypes which did not present double and triple alleles.

Glu-B3 (h, g, c', b, i, j, d) y *Glu-B1* (17+18, 7+9, 7+8, 6+19?, 7, 13+16). Dicha diversidad alélica es comparable a la encontrada en trigos franceses, chinos y trigos de invierno de los EE.UU. donde se encontraron 16 (Branlard *et al.*, 2003), 12 (He *et al.*, 2005) y 14 (Shan *et al.*, 2007) alelos que codifican para G-APM. Para G-BPM se reportaron 19 alelos en trigos franceses y de los EE.UU. (Branlard *et al.*, 2003; Shan *et al.*, 2007).

Los alelos de los progenitores usados en los diferentes cruzamientos se muestran en el Cuadro 4. Las combinaciones de más alta frecuencia (se muestran las que se ubicaron en los cinco primeros lugares) de G-APM y G-BPM de las líneas obtenidas de las cruas se muestran en el Cuadro 5. En la crua Gálvez M87×Bacanora T88 se obtuvieron 19 combinaciones debido a la presencia de diferentes alelos en cada *locus*, excepto para el *Glu-D1* (Cuadro 4). En las cruas Rebeca F2000×Verano S91 y Gálvez M87×Verano S91 se encontraron 16 y 14 combinaciones. En las cruas Salamanca S75×Verano S91, Salamanca S75×Bacanora T88 y Rebeca F2000×Bacanora T88, se encontraron 8, 7 y 6 combinaciones.

En los cruzamientos donde participó Bacanora T88 existen diferentes combinaciones con la

Cuadro 3. Frecuencia de alelos de G-BPM de genotipos de trigo usados como progenitores en el CEVAMEX-INIFAP.**Table 3. Frequency of alleles of LMW-G of wheat genotypes used as parents in the CEVAMEX-INIFAP.**

Locus	G-BPM	
	Alelo	Frecuencia (%)
<i>Glu-A3</i>	c	54.2
	b	27.1
	e	12.5
	d	6.3
<i>Glu-B3</i>	h	43.8
	g	16.7
	c'	12.5
	b	10.4
	i	10.4
	j	4.2
	d	2.1
<i>Glu-D3</i>	b	64.6
	a	18.8
	c	16.7

G-BPM: gluteninas de bajo peso molecular. Las frecuencias fueron calculadas con base en los genotipos que no presentaron alelos dobles y triples ❖ LMW-G: low molecular weight glutenins. Frequencies were calculated based on genotypes which did not present double and triple alleles.

USA wheat (Branlard *et al.*, 2003; Shan *et al.*, 2007) were reported.

The alleles of the parents used in the different crosses are shown in Table 4. Highest frequency combinations (those ranked in the first five places are shown) of HMW-G and LMW-G of the lines obtained from crosses are shown in Table 5. In the cross Gálvez M87×Bacanora T88, 19 combinations were obtained due to the presence of different alleles at each *locus*, except for *Glu-D1* (Table 4). In the crosses Rebeca F2000×Verano S91 and Gálvez M87×Verano S91, 16 and 14 combinations were found. In the crosses Salamanca S75×Verano S91, Salamanca S75×Bacanora T88 and Rebeca F2000×Bacanora T88, 8, 7, and 6 combinations were found.

Crosses with Bacanora T88 resulted in different combinations with the 1BL/1RS translocation, which will be used to evaluate their rheological behavior in different genetic backgrounds and select lines that disfavor to a lesser extent the gluten quality associated with better adaptability and yield. According to Martínez *et al.* (2007), in Mexican

Cuadro 4. Combinaciones de G-APM (*loci Glu-1*) y G-BPM (*loci Glu-3*) de los genotipos usados como progenitores en los diferentes cruzamientos.

Table 4. Combinations of HMW-G (*Glu-1 loci*) and LMW-G (*Glu-3 loci*) of genotypes used as parents in the different crosses.

Variedad	G-APM			G-BPM		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
Salamanca S75 (G3)	2*	7+8	2+12	c	g	b
Gálvez M87(G2)	1	17+18	5+10	b	h	c
Bacanora ^z T88(G4)	2	7+9	5+10	c	j	b
Verano S91(G3)	2*	17+18	2+12	e	h	b
Rebeca F2000(G1)	1	17+18	5+10	c	g	b

G-APM: gluteninas de alto peso molecular; G-BPM: gluteninas de bajo peso molecular; G: grupo de calidad; (^z): genotipo con translocación 1BL/1RS ❖ HMW-G: high molecular weight glutenins; LMW-G: low molecular weight glutenins; G: quality group; (^z): genotype with 1BL/1RS translocation.

translocación 1BL/1RS, lo cual permitirá evaluar su comportamiento reológico en fondos genéticos distintos y seleccionar líneas que desfavorezcan en menor grado la calidad del gluten asociadas a mejor adaptabilidad y rendimiento. De acuerdo con Martínez *et al.* (2007), existen en los trigos mexicanos combinaciones únicas de G-APM que favorecen la fuerza de la masa. Peña *et al.* (2004) y He *et al.* (2005) mencionan que las gliadinas y G-BPM cambian la extensibilidad y fuerza de la masa. Lo anterior sugiere que dentro de las cruza analizadas existen combinaciones de G-BPM y G-APM asociadas a propiedades reológicas específicas.

CONCLUSIONES

La caracterización de G-APM y G-BPM de progenitores y líneas de trigo harinero mexicanos mostró una gran variabilidad en las combinaciones de las proteínas relevantes en la calidad de panificación. Esta información puede ser usada como herramienta para agilizar la selección y realizar cruzamientos dirigidos a obtener genotipos de calidad acorde con la demanda. Las líneas derivadas de las cruza podrían utilizarse para entender específicamente, los efectos genéticos de las G-BPM, ω -gliadinas y de la translocación 1BL/1RS en las propiedades reológicas de la masa y el volumen de pan.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT el financiamiento parcial (Proyecto: 067698) para la presente investigación.

wheat there are unique combinations of HMW-G which favor dough strength. Peña *et al.* (2004) and He *et al.* (2005) indicated that the gliadins and LMW-G change extensibility and strength of dough. This suggests that in the crosses analyzed there are LMW-G and HMW-G combinations associated to specific rheological properties.

CONCLUSIONS

HMW-G and LMW-G characterization of parents and Mexican bread wheat lines showed a great variability in combinations of proteins relevant to bread making quality. This information can be used as a tool to speed selection and carry out crosses aimed to obtain quality genotypes according to demand. The lines derived of the crosses could be used to specifically understand, the genetic effects of LMW-G, ω -gliadins and the 1BL/1RS translocations on the rheological properties of dough and bread volume.

—End of the english version—



LITERATURA CITADA

- Branlard, G., M. Dardevet, N. Amieur, and G. Igrejas. 2003. Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Gen. Res. Crop Evol.* 50: 669-679.
- Cassidy, B. G., J. Dvorak, and O. D. Anderson. 1998. The wheat low-molecular-weight glutenin genes: characterization of six

Cuadro 5. Frecuencia de combinaciones del complejo *loci Glu-1* (G-APM) y *Glu-3* (G-BPM) de líneas derivadas de variedades de grupos contrastantes en calidad.

Table 5. Frequency of combinations of the *Glu-1 loci* (HMW-G) and *Glu-3* (LMW-G) complex of lines derived of varieties of contrasting groups in quality.

Cruza/combinación	G-APM			G-BPM			F (%)	Núm. de líneas
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>		
Gálvez M87×Bacanora T88								
1	1	17+18	5+10	c	h	b	12.5	7
2	2*	17+18	5+10	c	h	b	12.5	7
3	2*	17+18	5+10	b	h	c	10.7	6
4	1	17+18	5+10	c	h	c	8.9	5
5 ^z	2*	7+9	5+10	c	j	b	7.1	4
Otras combinaciones							48.2	27
Salamanca S75×Bacanora T88								
1	2*	7+8	5+10	c	g	b	34.4	22
2 ^z	2*	7+9	2+12	c	j	b	23.4	15
3	2*	7+8	2+12	c	g	b	17.2	11
4 ^z	2*	7+9	5+10	c	j	b	14.1	9
5	2*	7+9	5+10	c	g	b	7.8	5
Otras combinaciones							3.2	2
Verano S91×Salamanca S75								
1	2*	17+18	2+12	c	g	b	19.1	13
2	2*	7+8	2+12	c	g	b	16.2	11
3	2*	7+8	2+12	e	g	b	16.2	11
4	2*	17+18	2+12	e	h	b	14.7	10
5	2*	7+8	2+12	c	h	b	10.3	7
Otras combinaciones							23.5	16
Rebeca F2000×Bacanora T88								
1	1	17+18	5+10	c	g	b	39	30
2	2*	17+18	5+10	c	g	b	32.5	25
3 ^z	1	7+9	5+10	c	j	b	13	10
4 ^z	2*	7+9	5+10	c	j	b	9.1	7
5	2*	7+9	5+10	c	g	b	3.9	3
Otras combinaciones							2.6	2
Rebeca F2000×Verano S91								
1	1	17+18	5+10	e	h	b	13	9
2	2*	17+18	2+12	c	h	b	10.1	7
3	2*	17+18	5+10	c	g	b	8.7	6
4	1	17+18	2+12	c	h	b	7.2	5
5	2*	17+18	2+12	e	g	b	7.2	5
Otras combinaciones							53.6	37
Gálvez M87×Verano S91								
1	1	17+18	5+10	e	h	b	13.5	7
2	2*	17+18	2+12	e	h	c	13.5	7
3	2*	17+18	2+12	e	h	b	9.6	5
4	2*	17+18	5+10	b	h	c	9.6	5
5	1	17+18	2+12	b	h	b	9.6	5
Otras combinaciones							44.2	23

G-APM: gluteninas de alto peso molecular; G-BPM: gluteninas de bajo peso molecular; (^z): translocación 1BL/1RS; F: frecuencia. Las frecuencias están calculadas con base en líneas no heterogéneas ♦ HMW-G: glutenins of high molecular weight; LMW-G: glutenins of low molecular weight; (^z): 1BL/1RS translocation; F: frequency. The frequencies are calculated based on lines non heterogeneous.

- genes and progress in understanding gene family structure. *Theor. Appl. Genet.* 96: 743-750.
- De la O, O. M., E. Espitia R., J. D. Molina G., R. J. Peña B., A. Santacruz V., y H. E. Villaseñor M. 2006. Efecto de diferentes subunidades de gluteninas-APM sobre la calidad panadera en trigos harineros mexicanos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 291-297.
- Gupta, R. B., and K. W. Shepherd. 1992. Identification of rye chromosome 1R translocations and subunits in hexaploid wheats using storage proteins as genetic markers. *Plant Breeding* 109: 130-140.
- He, Z. H., L. Liu, X.C. Xia, J. J. Liu, and R. J. Peña. 2005. Composition of HMW and LMW glutenin subunits and their effects on dough properties, pan bread, and noodle quality of chinese bread wheats. *Cereal Chem.* 82: 345-350.
- Jackson, E. A., M. H. Morel, T. Sontag-Stroh, G. Branlard, E. V. Metakovsky, and R. Redaelli. 1996. Proposal for combining the classification systems of alleles of *Gli-1* and *Glu-3 loci* in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Genet. Breed.* 50: 321-336.
- Liu, L., H. Z. He, Y. Yan, X. C. Xia, and 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.
- Martínez, C. E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz, V., y H. E. Villaseñor M. 2007. Efecto de gluteninas de alto peso molecular de los genomas A y B sobre propiedades reológicas y volumen de pan en trigos harineros. *Agrociencia* 41: 153-160.
- Payne, P. I., and G. J. Lawrence. 1983. Catalogue of alleles for the complex *loci Glu-A1, Glu-B1* and *Glu-D1*, which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. *Cereal Res. Commun.* 11: 29-35.
- Payne, P. I., E. A. Jackson, and 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. Cereal Sci.* 2: 73-81.
- Peña, B. R. J., H. González S., and F. Cervantes. 2004. Relationship between *Glu-D1/GluB-3* allelic combinations and breadmaking quality-related parameters commonly used in wheat breeding. *In: Masci, S., and D. Lafiandra* (eds). *Proc. 8th Int. Gluten Workshop*. Viterbo, Italy. pp: 156-157.
- Rajaram, S. R., and H. J. Braun. 2008. Wheat yield potential. *In: Reynolds, M., P. J. Pietragalla, and H. J. Braun* (eds). *International Symposium on Wheat Yield Potential: Challenges to International Wheat Breeding*. CIMMYT. México, D. F. pp: 103-107.
- Shan, X., S. R. Clayshulte, S. D. Haley, and P. F. Byrne. 2007. Variation for glutenin and waxy alleles in the US hard winter wheat germplasm. *J. Cereal Sci.* 45: 199-208.
- Singh, N. K., K. W. Shepherd, and G. B. Cornish. 1991. A simplified SDS-PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. *J. Cereal Sci.* 14: 203-208.
- Weegels, P. L., R. J. Hamer, and J. D. Schofield. 1996. Critical review: functional properties of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.* 23: 1-18.