

# DIFERENCIAS REOLÓGICAS DE LA MASA DE TRIGO EN LÍNEAS RECOMBINANTES.

## II. RELACIÓN CON COMBINACIONES DE LOS LOCI *Glu-1* Y *Glu-3*

### RHEOLOGICAL DIFFERENCES OF WHEAT DOUGH IN RECOMBINANT LINES.

#### II. RELATIONSHIP WITH LOCI *Glu-1* AND *Glu-3* COMBINATIONS

Eliel Martínez-Cruz<sup>1</sup>, Eduardo Espitia-Rangel<sup>2</sup>, H. Eduardo Villaseñor-Mir<sup>2</sup>, José D. Molina-Galán<sup>1</sup>,  
Ignacio Benítez-Riquelme<sup>1</sup>, Amalio Santacruz-Varela<sup>1</sup>, R. Javier Peña-Bautista<sup>3</sup>

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

#### RESUMEN

Las gliadinas y gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) son el componente genético que definen en cierta medida la fuerza y extensibilidad (reología) de la masa. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM sobre la reología del gluten de 98 líneas  $F_6$ , obtenidas de Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88, y los progenitores. Los genotipos se sembraron en Roque, estado de Guanajuato, en el ciclo primavera-verano 2008. En muestras de las harinas se evaluaron variables asociadas con la fuerza y la extensibilidad de masa en el mixógrafo (tiempo de amasado, estabilidad al amasado, tolerancia al sobreamasado) y el alveógrafo de Chopin (fuerza general de la masa, W y la relación tenacidad-extensibilidad, P/L). Para efectuar el análisis, las progenies se agruparon de acuerdo con combinaciones de GAPM y GBPM. En la cruce Rebeca F2000 × Verano S91, la combinación *Glu-1*: 2\*, 17 +18, 5+10 con *Glu-3*: c, h, b se caracterizó por tener gluten medio fuerte y extensible, lo cual también caracterizó a la combinación de Rebeca F2000 (1, 17+18, 5+10, c, g, b). La combinación 2\*, 17+18, 2+12, e, g, b de las líneas recombinantes similares a Verano S91 se agrupó como de gluten débil y extensible. Las combinaciones recombinantes derivadas de la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88 se clasificaron como de gluten medio fuerte a fuerte y extensible por su W y P/L. La combinación 1, 17+18, 5+10 b, h, c, que corresponde a Gálvez M87, fue la de mayor fuerza de la masa. La combinación 1, 7+9, 5+10, c, j, c, mostró características favorables de gluten a pesar de tener la presencia de la translocación 1B/1R, lo cual indica que es posible aminorar

#### ABSTRACT

Gliadins and glutenins of high and low molecular weight (HMWG and LMWG) are the genetic component, defining to certain degree dough strength and extensibility (rheology). The objective of the present study was to evaluate the effect of HMWG and LMWG combinations on gluten rheology of 98  $F_6$  lines, obtained from Rebeca F2000 × Verano S91 and Gálvez M87 × Bacanora T88 and progenitors. The genotypes were sown at Roque, state of Guanajuato, in the spring-summer cycle 2008. In flour samples, variables associated with strength and extensibility of dough were assessed in mixograph (kneading time, kneading stability, tolerance to over-kneading) and Chopin alveograph (general strength of the dough, W and elasticity-extensibility relationship, P/L). In order to conduct analysis, progenies were grouped according to HMWG and LMWG combinations. In the cross Rebeca F2000 × Verano S91, combination *Glu-1*: 2\*, 17+18, 5+10 with *Glu-3*: c, h, b was described by having half-strong and extensible gluten, which also described the combination of Rebeca F2000 (1, 17+18, 5+10, c, g, b). The combination 2\*, 17+18, 2+12, e, g, b of the recombinant lines similar to Verano S91 were grouped as weak and extensible gluten. The recombinant combinations derived from the cross Gálvez M87 × Bacanora T88 were classified as of half-strong to strong and extensible gluten by its W and P/L. Combination 1, 17+18, 5+10 b, h, c, which corresponds to Gálvez M87 was the one of greatest dough strength. Combination 1, 7+9, 5+10, c, j, c, showed favorable gluten properties despite presence of translocation 1B/1R, which indicates that it is possible to reduce its negative effect through plant improvement. It is concluded that there are specific HMWG and LMWG combinations that favor dough quality (strength and extensibility).

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Enero, 2010. Aprobado: Julio, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 631-641. 2010.

**Key words:** *Triticum aestivum* L., glutenin combinations, gluten rheology.

su efecto negativo a través del fitomejoramiento. Se concluye que existen combinaciones específicas de GAPM y GBPM que favorecen la calidad (fuerza y extensibilidad) de la masa.

**Palabras clave:** *Triticum aestivum* L., combinaciones de gluteninas, reología del gluten.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la clasificación de la calidad de la masa, en México se producen principalmente variedades de gluten fuerte y extensible (grupo 1), gluten medio fuerte y extensible (grupo 2), gluten débil y extensible (grupo 3); en pocas ocasiones se podría producir trigo de gluten tenaz poco extensible (grupo 4) (Salazar, 2000). Las propiedades reológicas (fuerza y extensibilidad) de la masa son parcialmente afectadas por las variantes alélicas de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) (He *et al.*, 2005). En algunas variedades mexicanas se han identificado los alelos de GAPM, así como su efecto en las características reológicas de la masa y en el volumen de pan (Martínez *et al.*, 2007a; Martínez *et al.*, 2007b). En líneas recombinantes derivadas de la cruce entre las variedades Rebeca F2000 × Baviacora M92 y Rebeca F2000 × Gálvez M87 hay una amplia variación en los parámetros reológicos asociados con la presencia de ciertos alelos de GAPM y GBPM (Martínez *et al.*, 2007b).

Sin embargo, las propiedades viscoelásticas (reológicas) de las masas, relacionadas directamente con las propiedades del gluten, están determinadas por combinaciones diversas de GAPM, GBPM y gliadinas. Por tanto, es necesario conocer los efectos que las diferentes combinaciones de alelos de gluteninas y gliadinas ejercen sobre las propiedades del gluten, para entender mejor cuáles combinaciones de subunidades o variantes alélicas resultan en trigos de buenas propiedades reológicas y, consecuentemente, buena calidad de panificación.

El complejo *Glu-3* que codifica para las GBPM se asocia significativamente con la extensibilidad de la masa (Peña *et al.*, 2004). Sin embargo, se desconoce el efecto de combinaciones específicas de GBPM y GAPM en las características de fuerza y extensibilidad de la masa. Por ello, el objetivo de esta investigación fue analizar el efecto de las combinaciones de GAPM y GBPM en las propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa de líneas  $F_6$  derivadas de variedades pertenecientes a grupos contrastantes de calidad de gluten.

## INTRODUCTION

According to classification of dough quality, in México, mainly varieties of tough and extensible gluten (group 1), half-strong and extensible gluten (group 2), and weak and extensible gluten (group 3) are produced; on few occasions, wheat of tough, not much extensible gluten (group 4) could be produced (Salazar, 2000). Rheological properties (strength and extensibility) of dough are partially affected by allelic glutenin variations of high and low molecular weight (HMWG and LMWG) (He *et al.*, 2005). In some Mexican varieties HMWG alleles have been identified, as well as their effect on rheological dough characteristics and bread volume (Martínez *et al.*, 2007a; Martínez *et al.*, 2007b). In recombinant lines derived from the cross between varieties Rebeca F2000 with Baviacora M92 and Rebeca F2000 with Gálvez M87 there is a wide variation in rheological parameters associated to the presence of certain HMWG and LMWG alleles (Martínez *et al.*, 2007b).

Nevertheless, viscoelastic (rheological) properties of dough, directly related to gluten properties, are determined by various HMWG and LMWG combinations and gliadins. Therefore, it is necessary to recognize the effects that different combinations of glutenin and gliadin alleles exert on gluten properties, in order to better understand which subunit combinations or allelic variations result in wheat of good rheological properties and consequently, good bread-making quality.

*Glu-3* complex, which encodes LMWG, is significantly associated to dough extensibility (Peña *et al.*, 2004). However, the effect of specific LMWG and HMWG combinations on properties of dough strength and extensibility is not known. Therefore, the objective of this research was to analyze the effect of HMWG and LMWG combinations on the properties of dough strength and extensibility of  $F_6$  lines, derived from varieties belonging to contrasting groups of gluten quality.

## MATERIALS AND METHODS

### Vegetal material and its evaluation under field and laboratory conditions

Ninety-eight  $F_6$  lines were used, derived by progeny of one single seed by crossing and their parents, originating from Rebeca

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal y su evaluación en campo y laboratorio

Se usaron 98 líneas  $F_6$ , derivadas por descendencia de una sola semilla, por cruza y sus progenitores, provenientes de Rebeca F2000 (grupo 1) × Verano S91 (grupo 3) y Gálvez M87 (grupo 2) × Bacanora T88 (grupo 4). Los materiales se sembraron en Roque, estado de Guanajuato, México, en el ciclo primavera-verano 2008/2009. 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.

Las muestras de grano de cada línea se molieron en un molino Brabender Quadramat Jr. (C.W. Brabender OHG, Alemania) usando un cernido a través de dos mallas de diámetros 183  $\mu\text{m}$  y 129  $\mu\text{m}$  para obtener harina refinada con base en el método 26-50 de la AACC (AACC, 2005), en el Laboratorio de Calidad Industrial de Trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Estado de México. En ese laboratorio también se realizó el análisis electroforético de los progenitores y de cada línea para caracterizarlos por sus GAPM y GBPM, así como los análisis reológicos de las masas.

Las variables de amasado (tiempo de amasado, estabilidad al amasado y tolerancia al sobre amasado) se determinaron en el mixógrafo de Swanson (National Mfg., Lincoln, NE, EE.UU.), en 35 g de harina refinada con el método 54-40A de la AACC (2005). Valores altos en tiempo de amasado y estabilidad así como valores bajos en tolerancia al sobre amasado indican mayor fuerza de la masa. Las propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa se determinaron en un Alveógrafo de Chopin (Trippette & Renaud, Francia), con el método 54-30A (AACC, 2005) usando 50 g de harina refinada. Del alveograma se calculó la fuerza general de la masa ( $W \times 10^{-4}$  J) y la relación de tenacidad/extensibilidad (P/L). Las variedades de trigo harinero en México con base a los parámetros de W y P/L del gluten, se clasifican en: Grupo 1, valores mayores a  $300 \times 10^{-4}$  J y de  $P/L < 1$ ; Grupo 2, valores de W de 200 a  $300 \times 10^{-4}$  J y  $P/L < 1$ ; Grupo 3, gluten débil y extensible con valores de W menores a  $200 \times 10^{-4}$  J y  $P/L < 1$ ; y Grupo 4 de gluten tenaz poco extensible con valores de  $P/L > 1.2$ .

El análisis electroforético de GAPM y GBPM se realizó con el método de Peña *et al.* (2004). Las GAPM (*loci Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*) se identificaron con base en la nomenclatura propuesta por Payne y Lawrence (1983) y las GBPM (*loci Glu-A3* y *Glu-B3*) de acuerdo con Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003). Para el *locus Glu-D3* se usó la nomenclatura propuesta por Branlard *et al.* (2003). Los genotipos agrupados en las diferentes combinaciones de GAPM y GBPM fueron

F2000 (group 1) × Verano S91 (group 3) and Gálvez M87 (group 2) × Bacanora T88 (group 4). The materials were sown at Roque, state of Guanajuato, México, in the spring-summer cycle 2008/2009. The experimental design was of randomized complete blocks with two replications, and the experimental unit consisted of four 3 m-long furrows with separation of 30 cm between each other.

The grain samples of each line were ground in a Brabender Quadramat Jr. mill (C.W. Brabender OHG, Germany) sieving them through a screen of two 183  $\mu\text{m}$  and 129  $\mu\text{m}$  diameter meshes in order to obtain refined flour, based on the method 26-50 of AACC (AACC, 2005) in the Laboratory of Industrial Wheat Quality of the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), State of México. Besides, in that laboratory the electrophoretic analysis of the progenitors and of each line was conducted, as well as rheological dough analyses, in order to describe them by their HMWG and LMWG.

The variables of kneading (kneading time, stability to kneading, and tolerance to over-kneading) were determined in the Swanson mixograph (National Mfg., Lincoln, NE, U.S.) in 35 g of refined flour with 54-40A method of AACC (2005). High values in kneading time and stability as well as low values in tolerance to over-kneading indicate greater dough strength. Dough strength and extensibility traits were determined in a Chopin Alveograph (Trippette & Renaud, France) with 54-30A method (AACC, 2005) using 50 g of refined flour. Based on the alveogram, general dough strength ( $W \times 10^{-4}$  J) was calculated, as well as relationship strength – extensibility (P/L). The varieties of flour wheat in Mexico, based on gluten parameters of W and P/L, are classified in: Group 1, with values higher than  $300 \times 10^{-4}$  J and of  $P/L < 1$ ; Group 2, with values of W between 200 and  $300 \times 10^{-4}$  J and  $P/L < 1$ ; Group 3, weak and extensible gluten with W values lower than  $200 \times 10^{-4}$  J and  $P/L < 1$ ; and Group 4, of tough, not much extensible gluten with values of  $P/L > 1.2$ .

Electrophoretic analysis of HMWG and LMWG was carried out using the method by Peña *et al.* (2004). HMWG (*Glu-A1*, *Glu-B1*, and *Glu-D1 loci*) were identified based on the nomenclature proposed by Payne and Lawrence (1983), and the LMWG (*Glu-A3* and *Glu-B3*) according to Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996), and Branlard *et al.* (2003). For locus *Glu-D3*, the nomenclature proposed by Branlard *et al.* (2003) was used. The genotypes grouped in the different HMWG and LMWG combinations were those which did not show heterogeneous loci, that is, presence of another allele in the same locus.

### Data analysis

A general analysis of variance was made for both crosses, Rebeca F2000 × Verano S91 and Gálvez M87 × Bacanora T88,

aquellos que no mostraron loci heterogéneos, es decir presencia de otro alelo en el mismo locus.

**Análisis de los datos**

Se realizó un análisis de varianza general para ambas cruzas (Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88) para las variables estudiadas. Para cada craza se realizó un análisis de varianza adicional para obtener los cuadrados medios respectivos por combinación. La prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) se usó para comparar medias (procedimiento GLM, SAS Institute, 2002).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En los Cuadros 1 y 2 se presentan las combinaciones de GAPM y GBPM en las que se agruparon las líneas derivadas de las cruzas Rebeca F2000 × Verano S91 y Gálvez M87 × Bacanora T88. En la craza Gálvez M87 × Bacanora T88 se observan combinaciones que presentan el alelo j en *Glu-B3*, el cual es conocido como la translocación 1B.1R que codifica para proteínas secalin. Dicha translocación consiste en el remplazo del brazo corto del cromosoma 1B del trigo por el brazo corto 1R del centeno (*Secale cereale*). Genotipos de trigo harinero que presentan la translocación en su genoma se asocian con amplia adaptación y alto rendimiento (Rajaram y Braun, 2008); sin embargo, desfavorece la fuerza y extensibilidad de la masa (Liu *et al.*, 2005).

Entre las combinaciones de las cruzas hubo diferencias altamente significativas para la mayoría de las

for the studied variables. For each cross an additional analysis of variance was carried out in order to obtain the respective mean squares by combination. Tukey test ( $p \leq 0.05$ ) was used to compare means (GLM procedure, SAS Institute, 2002).

**RESULTS AND DISCUSSION**

In Tables 1 and 2, the combinations of HMWG and LMWG are presented, where the lines derived from crosses Rebeca F2000 × Verano S91 and Gálvez M87 × Bacanora T88 were grouped. In cross Gálvez M87 with Bacanora T88, combinations with j allele in *Glu-B3* are observed, known as translocation 1B/1R encoding secalin proteins. This translocation consists in replacing the short arm of 1B wheat chromosome by the short arm of 1R of rye (*Secale cereale*). Flour wheat genotypes presenting the translocation in their genome are associated with wide adaptation and high yield (Rajaram and Braun, 2008); dough strength and extensibility, however, is unfavorable (Liu *et al.*, 2005).

Among the combinations of crosses, there were highly significant differences for most of the assessed variables, except for relationship strength-extensibility (P/L). Furthermore, the combinations within each cross showed significant differences for all the variables, which indicates that rheological dough properties are affected by HMWG and LMWG composition (Table 3), and agrees with what was reported by Tabiki *et al.* (2006) and Meng *et al.* (2007).

**Cuadro 1. Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de los progenitores y su progenie obtenidas de Rebeca F2000 × Verano S91.**

**Table 1. Glutenin combinations of high and low molecular weight (HMWG and LMWG) of progenitors and their progeny obtained from Rebeca F2000 × Verano S91.**

	GAPM			GBPM		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
Progenitores						
Rebeca F2000	1	17+18	5+10	c	g	b
Verano S91	2*	17+18	2+12	e	h	b
Combinaciones de la progenie						
1	2*	17+18	2+12	e	h	b
2	2*	17+18	2+12	e	g	b
3	2*	17+18	5+10	c	h	b
4	2*	17+18	5+10	c	g	b
5	1	17+18	5+10	e	h	b
6	1	17+18	5+10	e	g	b
7	1	17+18	5+10	c	h	b
8	1	17+18	5+10	c	g	b

**Cuadro 2. Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de los progenitores y su progeñie obtenidas de Gálvez M87 × Bacanora T88.****Table 2. Glutenin combinations of high and low molecular weight (HMWG and LMWG) of progenitors and their progeny obtained from Gálvez M87 × Bacanora T88.**

	GAPM			GBPM		
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>
Progenitores						
Gálvez M87	1	17+18	5+10	b	h	c
Bacanora T88	2*	7+9	5+10	c	j	b
Combinaciones de la progeñie						
1	1	17+18	5+10	c	h	c
2	1	17+18	5+10	b	h	b
3	1	17+18	5+10	b	h	c
4	1	17+18	5+10	c	h	b
5	2*	17+18	5+10	c	h	b
6	2*	17+18	5+10	c	h	c
7	2*	17+18	5+10	b	h	b
8	2*	17+18	5+10	b	h	c
9	1	7+9	5+10	b	j	b
10	1	7+9	5+10	b	j	c
11	1	7+9	5+10	c	j	c
12	2*	7+9	5+10	b	j	c
13	2*	7+9	5+10	c	j	c
14	2*	7+9	5+10	c	j	b

variables evaluadas, excepto para la relación tenacidad-extensibilidad (P/L)). Además, las combinaciones dentro de cada cruza mostraron diferencias significativas para las todas las variables, lo cual indica que las propiedades reológicas de la masa son afectadas por la composición de GAPM y GBPM (Cuadro 3) y concuerda con lo reportado por Tabiki *et al.* (2006) y Meng *et al.* (2007).

#### Cruza Rebeca F2000 × Verano S91

Para tiempo de amasado y estabilidad al amasado las combinaciones 2\*, 17+18, 2+12, e, h, b similares a Verano S91 se asociaron con valores bajos (Cuadro 4), mientras que las combinaciones de gluteninas análogas a las de Rebeca F2000 fueron superiores en estas variables. Para tolerancia al sobreamasado, las combinaciones 1, 17+18, 5+10 c, g, b, semejantes a Rebeca F2000 mostraron los valores más bajos, indicativos de mayor fuerza de la masa, pero los genotipos similares a Verano S91 presentaron valores más altos propios de gluten débil (Cuadro 4). Lo anterior concuerda con Peña *et al.* (2004) quienes indican que combinaciones con los alelos 5+10 en *Glu-D1* y h en *Glu-B3* se asocian con estas características de amasado.

#### Crossing Rebeca F2000 × Verano S91

For kneading time and stability to kneading, the combinations 2\*, 17+18, 2+12, e, h, b similar to Verano S91, were associated with low values (Table 4), whereas the glutenin combinations, analogue to Rebeca F2000, were superior in these variables. For tolerance to over-kneading, combinations 1, 17+18, 5+10 c, g, b, similar to Rebeca F2000 had the lowest values, indicative of higher dough strength, while the genotypes similar to Verano S91 presented higher values, typical of weak gluten (Table 4). The aforementioned agrees with Peña *et al.* (2004), who indicate that combinations with alleles 1+10 in *Glu-D1* and h in *Glu-B3* associate with these kneading characteristics.

Most of the combinations similar to Rebeca F2000 (1, 17+18, 5+10, c, g, b) were classified as tough and extensible dough because of their  $W > 300 \times 10^{-4}$  J and their  $P/L < 1$  (Figures 1 and 2). Wesley *et al.* (1999) report similar results for genotypes presenting alleles 1, 17+18, 5+10 (*loci Glu-A1, Glu-B1, and Glu-D1*) and c in *Gl-A3*; while Peña *et al.* (2004) point out that genotypes with the alleles 5+10 in *Glu-D1*, and g or h in *Glu-B3*, are associated to greater gluten strength; for g allele,



**Cuadro 3. Cuadrados medios de propiedades reológicas de la masa de trigos harineros.**

**Table 3. Mean squares of rheological properties of flour wheat dough.**

FV	GL	TAM	EAM	TSAM	W	P/L
Genotipo	83	1.5 <sup>‡</sup>	4.3 <sup>‡</sup>	52.6 <sup>‡</sup>	20404.6 <sup>‡</sup>	0.17 <sup>‡</sup>
Genotipo(cruza)	82	1.4 <sup>‡</sup>	2.6 <sup>‡</sup>	34.6 <sup>‡</sup>	19809.1 <sup>‡</sup>	0.17 <sup>‡</sup>
Cruza	1	3.5 <sup>‡</sup>	141.7 <sup>‡</sup>	1524.7 <sup>‡</sup>	69236.7 <sup>‡</sup>	9.3×10 <sup>-3</sup> ns
Combinación	23	3.7 <sup>‡</sup>	13.4 <sup>‡</sup>	139.1 <sup>‡</sup>	52621.1 <sup>‡</sup>	0.32 <sup>‡</sup>
Rebeca F2000 × Verano S91						
Genotipo (cruza)	38	1.7 <sup>‡</sup>	1.9 <sup>‡</sup>	46.8 <sup>‡</sup>	24420.1 <sup>‡</sup>	0.14 <sup>‡</sup>
Combinación (cruza)	9	4.7 <sup>‡</sup>	4.7 <sup>‡</sup>	89.2 <sup>‡</sup>	64942.1 <sup>‡</sup>	0.29 <sup>‡</sup>
Gálvez M87 × Bacanora T88						
Genotipo (cruza)	48	1.4 <sup>‡</sup>	3.3 <sup>‡</sup>	25.7 <sup>‡</sup>	16658.6 <sup>‡</sup>	0.31 <sup>‡</sup>
Combinación (cruza)	16	3.1 <sup>‡</sup>	8.1 <sup>‡</sup>	56.2 <sup>‡</sup>	37927.1 <sup>‡</sup>	0.68 <sup>‡</sup>
Error <sup>§</sup>	166	0.03	0.10	1.8	1526.9	0.022

†, ‡, Significativas con p≤0.05 y p≤0.01. § Error del análisis general. FV: fuente de variación; GL: grados de libertad; TAM: tiempo de amasado; EAM: estabilidad al amasado; TSAM: tolerancia al sobreamasado; W: fuerza general de la masa; P/L: tenacidad/extensibilidad  
 †, ‡, Significant with p≤0.05 and p≤0.01. §Error of general analysis. FV: source of variation; GL: degrees of freedom; TMEZ: kneading time; ESMEZ: stability to kneading; TSMEZ: tolerance to over-kneading; W: general dough strength; P/L: strength/extensibility.

**Cuadro 4. Comparación de medias de tiempo de amasado (TAM), estabilidad al amasado (EAM) y tolerancia al sobreamasado (TSAM) de combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de líneas derivadas de la cruza Rebeca F2000 × Verano S91.**

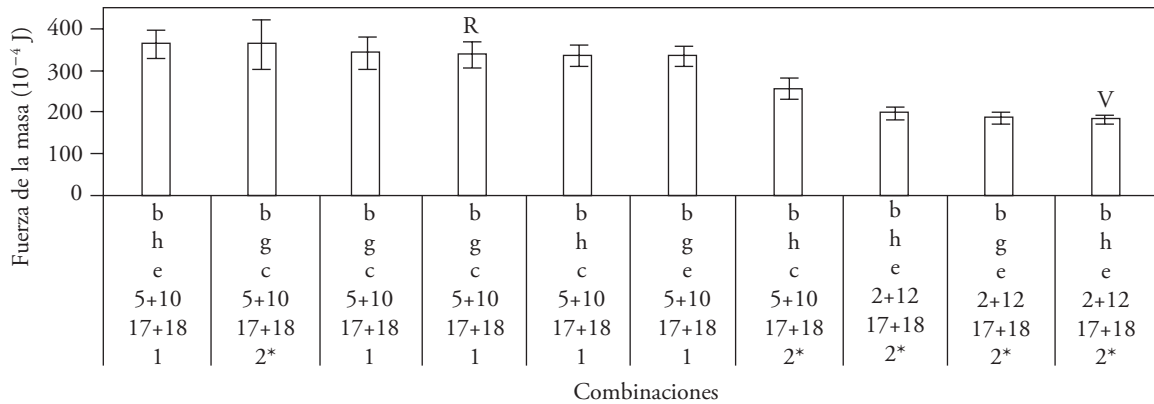
**Table 4. Comparison of means of kneading time (TAM); stability to kneading (EAM) and tolerance to over-kneading (TSAM) of glutenins of high and low molecular weight (HMWG and LMWG) of lines derived from crossing Rebeca F2000 × Verano S91**

	GAPM			GBPM			TAM (min)	EAM (min)	TSAM (mm)
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>			
Rebeca F2000	1	17+18	5+10	c	h	b	3.5 a <sup>†</sup>	3.3 ba	11.4 bc
	1	17+18	5+10	e	g	b	3.3 ba	3.3 ba	10.2 c
	2*	17+18	5+10	c	g	b	3.2 ba	2.7 bc	10.2 c
	1	17+18	5+10	e	h	b	3.2 ba	2.6 bc	10.9 bc
	1	17+18	5+10	c	g	b	3.2 ba	3.3 ba	10.7 bc
	1	17+18	5+10	c	g	b	3.2 ba	3.9 a	11.3 bc
	2*	17+18	5+10	c	h	b	2.5 bc	2.3 dc	13.5 bac
	2*	17+18	2+12	e	h	b	2.0 dc	1.6 d	18.0 a
	2*	17+18	2+12	e	g	b	2.0 dc	2.1 dc	15.4 bac
Verano S91	2*	17+18	2+12	e	h	b	1.3 d	1.9 dc	16.0 ba

† Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (p≤0.05) † Values with different letter in a column are statistically different (p≤0.05).

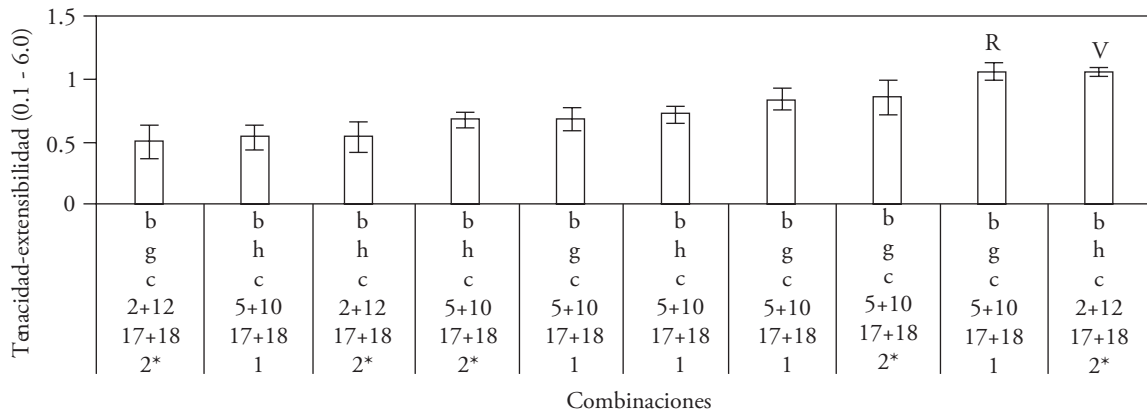
La mayoría de las combinaciones similares a Rebeca F2000 (1, 17+18, 5+10, c, g, b) se clasificaron como masas fuertes y extensibles por su W > 300 × 10<sup>-4</sup> J y su P/L < 1 (Figuras 1 y 2). Wesley *et al.* (1999) reportan resultados similares para genotipos que presentan los alelos 1, 17+18, 5+10 (loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*) y c en *Glu-A3*; mientras que Peña *et al.* (2004) indican que genotipos con los alelos 5+10

Meng *et al.* (2007) indicate similar results. Due to the aforementioned, genotypes with these allelic combinations are suitable for the mechanized bread-making industry and for obtaining bread, as well as in mixtures of wheat varieties of weak gluten in order to increase its strength. Furthermore, combination 2\*,17+18, 5+10 c, h, b was classified as of half-strong and extensible gluten, due to its W of 200-300 × 10<sup>-4</sup> J



**Figura 1.** Efecto de las combinaciones de GAPM (gluteninas de alto peso molecular) y GBPM (gluteninas de bajo peso molecular) sobre W (fuerza de la masa) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruz Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan error estándar de la media).

**Figure 1.** Effect of HMWG (high molecular weight glutenins) and LMWG (low molecular weight glutenins) combinations on W (dough strength) of progenitors and the lines derived from crossing Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (the thin bars represent standard error of mean).



**Figura 2.** Efecto de las combinaciones de GAPM (gluteninas de alto peso molecular) y GBPM (gluteninas de bajo peso molecular) sobre P/L (relación tenacidad-extensibilidad) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruz Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (las barras delgadas representan error estándar de la media).

**Figure 2.** Effect of HMWG (high molecular weight glutenins) and LMWG (low molecular weight glutenins) combinations on P/L (relationship strength- extensibility) of progenitors and the lines derived from crossing Rebeca F2000 (R) × Verano S91 (V) (the thin bars represent standard error of mean).

en *Glu-D1*, y g o h en *Glu-B3*, se asocian a mayor fuerza del gluten; para el alelo g Meng *et al.* (2007) señalan resultados similares. Por tanto, genotipos con estas combinaciones alélicas son aptos para la industria de la panificación mecanizada y obtener pan de caja, así como en mezclas con variedades de trigo de gluten débil para aumentar su fuerza. Además, la combinación 2\*, 17 +18, 5+10 c, h, b se clasificó como de gluten medio fuerte y extensible, debido a su W de 200 a 300 × 10<sup>-4</sup> J y su P/L < 1, cuyas características de la masa son adecuadas para elaborar pan en la industria semimecanizada o manual.

and its P/L < 1, whose dough traits are adequate for bread made in semi-mechanized or manual industry.

The combinations 2\*, 17+18, 2+12, e, g, b, and 2\*, 17+18, 2+12, e, h, b, of recombinant lines and those similar to Verano S91 were graded as having weak gluten because of its W < 200 × 10<sup>-4</sup>J (Figure 1) which agrees with Gobaa *et al.* (2008), who report that genotypes with 2+12 alleles in *Glu-D1* and b in *Glu-D3* diminish gluten strength. These properties of gluten strength are the ones adequate for elaboration of cookie products and for baking pastries.

All the combinations of progeny presented extensible dough (P/L < 1), contrary to progenitor

Las combinaciones 2\*, 17+18, 2+12, e, g, b, y 2\*, 17+18, 2+12, e, h, b, de las líneas recombinantes y las similares a Verano S91 se clasificaron como de gluten débil por su  $W < 200 \times 10^{-4} J$  (Figura 1), lo cual concuerda con Gobaa *et al.* (2008) quienes reportan que genotipos con los alelos 2+12 en *Glu-D1* y b en *Glu-D3* disminuyen la fuerza del gluten. Estas propiedades de fuerza del gluten son las adecuadas para elaborar productos en la industria galletera y de repostería.

Todas las combinaciones de la progenie presentaron masas extensibles ( $P/L < 1$ ), contrario a los valores de los progenitores que mostraron masas balanceadas ( $P/L = 1.1$ ) (Figura 2). Esto puede deberse a la recombinación de gliadinas, proteínas no identificadas en este estudio, las cuales favorecen la extensibilidad (disminuyen el  $P/L$ ) de la masa (Khatkar *et al.*, 2002).

### Cruza Gálvez M87 × Bacanora T88

Las combinaciones derivadas de Gálvez M87 × Bacanora T88 que tendieron a elevar el tiempo de amasado, la estabilidad al amasado y disminuir los valores de tolerancia al sobreamasado fueron 1, 17+18, 5+10, b, h, c, y 1, 7+9, 5+10, b, j, b, y están relacionadas con una mayor fuerza de la masa. En esta última combinación ocurrió a pesar de la presencia de la translocación 1B.1R Sin embargo, las combinaciones translocadas, 2\*, 7+9, 5+10 c, j, b, semejantes a Bacanora T88, mostraron tiempos cortos de amasado y estabilidad, así como valores altos de tolerancia al sobreamasado, todas características propias de masas débiles (Cuadro 5). Ello concuerda con lo encontrado por Liu *et al.* (2005), quienes indican que la presencia del alelo j es característico de estas masas.

La mayoría de las combinaciones derivadas de la cruce Gálvez M87 × Bacanora T88 se clasificaron como de gluten medio fuerte-extensible y fuerte-extensible por su  $W$  y  $P/L$  (Figuras 3 y 4), y la combinación 1, 17+18, 5+10 b, h, c (progenitor Gálvez M87) mostró la mayor fuerza de la masa. Genotipos con estas combinaciones son apropiados para usarse en la industria de la panificación mecanizada y semi-mecanizada o manual.

Respecto a las combinaciones translocadas, la mayoría se clasificó como de gluten débil y, según Meng *et al.* (2007), la presencia del alelo j en *Glu-B3* disminuye la fuerza y la extensibilidad de la masa, provocando masas no panificables. Sin embargo,

values that showed balanced dough ( $P/L=1.1$ ) (Figure 2). The aforesaid may be due to gliadin recombination, non-identified proteins in this study, which favor extensibility (diminish the  $P/L$ ) of the dough (Khatkar *et al.*, 2002).

### Crossing Gálvez M87 × Bacanora T88

The combinations derived from Gálvez M87 × Bacanora T88, which tended to increase kneading time and stability and to diminish tolerance values to over-kneading, were 1, 17+18, 5+10, b, h, c, and 1, 7+9, 5+10, b, j, b, and are related to greater dough strength. In this last combination, in spite of the presence of 1B/1R translocation occurred. Nevertheless, translocated combinations 2\*, 7+9, 5+10 c, j, b, similar to Bacanora T88, presented short kneading times and stability, as well as high values of tolerance to over-kneading, all of them proper traits of weak dough (Table 5). This agrees with what was found by Liu *et al.* (2005), who point out that the presence of allele j is typical of this kind of dough.

Most of the combinations derived from crossing Gálvez M87 × Bacanora T88 were classified as of half-strong extensible gluten and strong-extensible by its  $W$  and  $P/L$  (Figures 3 and 4), and the combination 1, 17+18, 5+10 b, h, c Gálvez M87 parent showed the greatest dough strength. Genotypes with these combinations are appropriate for the use in mechanized and half-mechanized or manual bread-making industry.

Regarding the translocated combinations, most of them were classified as having weak gluten and according to Meng *et al.* (2007) the presence of allele j in *Glu-B3* diminishes dough strength and extensibility, motivating dough not suitable for bread-making. There were, however, combinations which had half-strong gluten, such as combination 1, 7+9, 5+10, c, j, c, and according to its gluten type may be used in handcraft or manual bread-making industry. The aforementioned coincides with Lelley *et al.* (2004), Nishio *et al.* (2007), and Gobaa *et al.* (2008), who report that the negative j allele effect may be reduced depending on the presence of variant alleles of HMWG and LMWG, which favor rheological dough quality, in other words, the accumulation of favorable HMWG alleles like 1 or 2\* in *Glu-A1* and 5+10 in *Glu-D1* (Martín *et al.*, 2001; Pingping *et al.*,

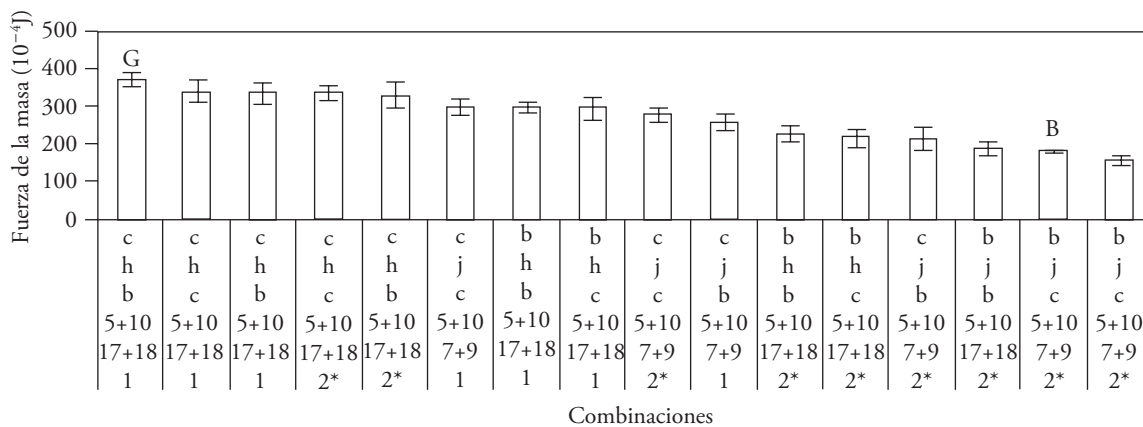


**Cuadro 5. Comparación de medias de tiempo de amasado (TAM), estabilidad al amasado (EAM) y tolerancia al sobreamasado (TSAM) de combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de líneas derivadas de la crucea Gálvez M87 × Bacanora T88.**

**Table 5. Comparison of means of kneading time (TAM), stability of kneading (EAM) and tolerance to over-kneading (TSAM) of glutenin combinations of high and low molecular weight (HMWG and LMWG) of lines derived from crossing Gálvez M87 × Bacanora T88.**

	GAPM			GBPM			TAM (min)	EAM (min)	TSAM (mm)
	<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	1	17+18	5+10	b	h	c	4.5 a	5.5 a	5.6 cd
	1	7+9	5+10	b	j	b	3.9 ba	5.5 a	4.6 d
	1	17+18	5+10	c	h	c	3.8 bac	4.8 ba	5.4 cd
	2*	7+9	5+10	c	j	c	3.3 bdc	4.5 bdac	7.6 bcd
	2*	17+18	5+10	c	h	b	3.3 bdc	5.1 ba	5.1 d
	2*	17+18	5+10	b	h	b	3.3 bdc	5.1 ba	4.7 d
	2*	17+18	5+10	c	h	c	3.1 bdc	4.7 ba	6.1 cd
	1	17+18	5+10	b	h	b	3.0 dc	4.0 bdec	8.0 bcd
	1	7+9	5+10	c	j	c	3.0 dc	3.4 fdec	8.6 bcd
	1	17+18	5+10	b	h	c	3.0 dc	4.7 bac	7.0 bcd
	1	7+9	5+10	b	j	c	2.8 d	3.9 bdec	7.5 bcd
	2*	17+18	5+10	b	h	c	2.8 d	3.2 fde	9.4 bc
	1	17+18	5+10	c	h	b	2.8 d	4.0 bdec	6.6 cd
	2*	7+9	5+10	c	j	b	2.6 d	2.8 fe	11.1 ba
2*	7+9	5+10	b	j	c	2.5 ed	2.9 fe	11.2 ba	
Bacanora T88	2*	7+9	5+10	c	j	b	1.7 e	2.1 f	14.0 a

Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ) ♦ Values with different letter in a column are significantly different ( $p \leq 0.06$ ).



**Figura 3. Efecto de las combinaciones de GAPM (gluteninas de alto peso molecular) y GBPM (gluteninas de bajo peso molecular) sobre W (fuerza de la masa) de los progenitores y las líneas derivadas de la crucea Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan error estándar de la media).**

**Figure 3. Effect of HMWG (high molecular weight glutenins) and LMWG (low molecular weight glutenins) combinations on W (dough strength) of progenitors and the lines derived from crossing Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (the thin bars represent standard error of mean).**

hubo combinaciones que mostraron gluten medio fuerte, como la combinación 1, 7+9, 5+10, c, j, c, y de acuerdo a su tipo de gluten se pueden usar en la industria de la panificación artesanal o manual. Lo anterior concuerda con Lelley *et al.* (2004), Nishio

2007) as well as variant c of LMWG in loci *Glu-A3* and *Glu-D3* (Gobaa *et al.*, 2008)

The recombinant combination 2\*, 7+9, 5+10, c, j, b, identical to the Bacanora T88 parent, had P/L values lower than 1, opposite to the one expressed

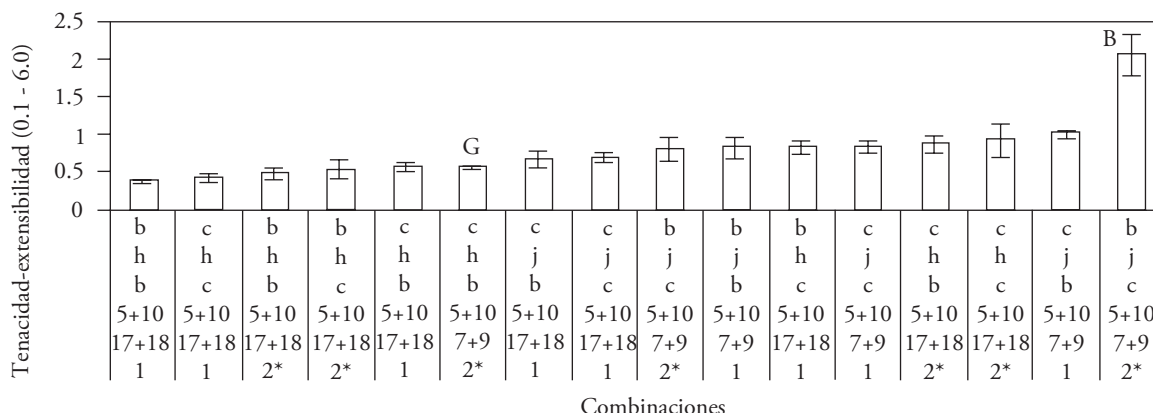


Figura 4. Efecto de las combinaciones de GAPM (gluteninas de alto peso molecular) y GBPM (gluteninas de bajo peso molecular) sobre P/L (relación tenacidad-extensibilidad) de los progenitores y las líneas derivadas de la cruce Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (las barras delgadas representan error estándar de la media).

Figure 4. Effect of HMWG (high molecular weight glutenins) and LMWG (low molecular weight glutenins) combinations on P/L (relationship strength- extensibility) of the progenitors and the lines derived from crossing Gálvez M87 (G) × Bacanora T88 (B) (the thin bars represent mean standard error).

et al. (2007) y (Gobaa et al., 2008) quienes reportan que el efecto negativo del alelo j puede aminorarse dependiendo de la presencia de variantes de GAPM y GBPM que favorezcan la calidad reológica de la masa, es decir, de la acumulación de alelos favorables de GAPM como 1 o 2\* en *Glu-A1* y 5+10 en *Glu-D1* (Martín et al., 2001; Pingping et al., 2007), así como la variante c de GBPM en los loci *Glu-A3* y *Glu-D3* (Gobaa et al., 2008).

La combinación recombinante 2\*, 7+9, 5+10, c, j, b, idéntica al progenitor Bacanora T88, presentó valores de P/L menores a 1, contrario a lo expresado por esta variedad que mostró el valor más alto (P/L = 2; Figura 4), lo cual significa masas impropias para la industria de la panificación. La disminución en el valor de P/L de las líneas recombinantes, puede atribuirse al posible efecto favorable de las  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$ -gliadinas sobre la extensibilidad de la masa.

### CONCLUSIONES

La combinación 1, 17+18, 5+10 b, h, c fue la de mayor fuerza de la masa en las dos cruces. La combinación 2\*, 17+18, 2+12, e, g, b se asoció a masas de gluten débil y extensible. En ambas cruces se obtuvieron combinaciones que favorecieron la extensibilidad de la masa, a pesar del carácter tenaz de Verano S91 y Bacanora T88. La combinación 1, 7+9, 5+10, c, j, c asociada a la translocación mostró características de gluten medio fuerte y extensible, lo cual muestra

by this variety, showing the highest value (P/L=2; Figure 4), which means dough not suitable for bread-making industry. The diminution in P/L value of the recombinant lines may be attributed to the possibly favorable effect of  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\omega$ , and  $\gamma$ -gliadins on extensibility of dough.

### CONCLUSIONS

The combination 1, 17+18, 5+10 b, h, c was that of greatest dough strength in the two crosses. Combination 2\*, 17+18, 2+12, e, g, b mixed with dough of weak and extensible gluten. In both crosses, combinations favoring dough extensibility were obtained, despite the tenacious character of Verano S91 and Bacanora T88. Combination 1, 7+9, 5+10, c, j, c, associated to translocation, showed half-strong and extensible properties of gluten, which demonstrates that the effect of translocation depends of genetic background, where it is evaluated. The aforesaid indicates that by means of recombination it is possible to derive lines with HMWG and LMWG combinations expressing specific dough strength and extensibility for the cookie and bread-making industry.

—End of the English version—

-----\*-----

que el efecto de la translocación depende del fondo genético en el cual se evalúa. Lo anterior indica que mediante la recombinación es posible derivar líneas con combinaciones de GAPM y GBPM que expresen la fuerza y extensibilidad de la masa específica para la industria galletera y de panificación.

### AGRADECIMIENTOS

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

### LITERATURA CITADA

- AACC. 2005. Approved Methods of the AACC. 9<sup>th</sup> ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Branlard, G., M. Dardevet, N. Amiour, 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.
- Gobaa, S., C. Brabant, G. Kleijer, and P. Stamp. 2008. Effect of the 1BL.1RS translocation and of the *Glu-B3* variation on fifteen quality tests in a doubled haploid population of wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Cereal Sci.* 48: 598–603.
- 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.
- Khatkar, S. B., R. J. Fido, A. S. Tatham, and J. D. Schofield. 2002. Functional properties of wheat gliadins. I. Effects on mixing characteristics and bread making quality. *J. Cereal Sci.* 35: 299–306.
- Lelley T., C. Eder, and H. Gausgruben. 2004. Influence of 1BL.1RS wheat-rye chromosome translocation on genotype by environment interaction. *J. Cereal Sci.* 39: 313–320.
- 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.
- Martin P., M. Gómez, and J. M. Carrillo. 2001. Interaction between allelic variation at the *Glu-D1* locus and 1BL.1RS translocation on flour quality in bread wheat. *Crop Sci.* 41:1080–1084.
- Martínez, C. E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz, V., y H. E. Villaseñor M. 2007a. 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.
- Martínez, C. E., E. Espitia R., I. Benítez R., R. J. Peña B., A. Santacruz, V., y H. E. Villaseñor M. 2007b. El complejo *Gli-1/Glu-3* y las propiedades reológicas y volumen de pan de trigos harineros. *Rev. Fitotec. Mex.* 30 (2): 167–172.
- Meng X. G., F. Xie, X. W. Shang, and L. Z. An. 2007. Association between allelic variations at the *Glu-3* loci and wheat quality traits with Lanzhou alkaline stretched noodles quality in northwest China spring wheats. *Cereal Res. Commun.* 35: 109–118.
- Nishio Z., K. Takata, M. Ito, T. Tabiki, T. M. Ikeda, Y. Fujita, W. Maruyama-Funatsuki, N. Iriki, and H. Yamauchi. 2007. Small-scale bread-quality-test performance heritability in bread wheat: influence of high molecular weight glutenin subunits and the 1BL.1RS translocation. *Crop Sci.* 47:1451–1458.
- 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.
- Peña, 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. 8<sup>th</sup> Int. Gluten Workshop. Viterbo, Italy.* pp: 156–157.
- Pingping Z., Z. He, D. Chen, Y. Zhang, O. R. Larroque, and X. Xia. 2007. Contribution of common wheat fractions to dough properties and quality of northern-style Chinese steamed bread. *J. Cereal Sci.* 46: 1–10.
- Rajaram, S. R., and H. J. Braun. 2008. Wheat yield potential. *In: Reynolds, M. P. J. Pietragalla, and H. J. Braun (eds). Int. Symp. on Wheat Yield Potential: Challenges to International Wheat Breeding. CIMMYT. México, D. F.* pp: 103–107.
- Salazar, Z. A. 2000. Calidad industrial del trigo para su comercialización. *In: Villaseñor, M. H. E., y E. Espitia R. (eds). El Trigo de Temporal en México. SAGAR, INIFAP. Estado de México.* pp: 192–207.
- SAS Institute (2002) SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP. 6.04. Fourth edition Cary, NC, USA. pp: 891–996.
- 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.
- Tabiki T., S. Ikeguchi, and T. M. Ikeda. 2006. Effects of high-molecular weight and low molecular weight glutenin subunit alleles on common wheat flour quality. *Breeding Sci.* 56 (2):131–136.
- Wesley S. A., O. M. Lukow, N. Ames, M. I. P. Kovacs, R. I. H. McKenzie, and D. Brown. 1999. Effect of single substitution of glutenin or gliadin proteins on flour quality of Alpha 16, a Canada prairie spring wheat breeders line. *Cereal Chem.* 76(5): 743–747.