

Las combinaciones de gluteninas de los *loci Glu-1* y *Glu-3* y la calidad de la masa en trigo harinero*

Glutenin combinations of the *loci Glu-1* and *Glu-3* and the quality of wheat flour dough

Elíel Martínez Cruz¹, Eduardo Espitia Rangel^{1§}, Héctor Eduardo Villaseñor Mir¹, René Hortelano Santa Rosa¹, María Florencia Rodríguez García y Roberto Javier Peña Bautista²

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Programa de Trigo y Avena. (martinez.eliel@inifap.gob.mx; villaseñor.eduardo@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; rodriguez.maria@inifap.gob.mx). ²Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Laboratorio de Calidad Industrial del Trigo. Texcoco, México. (j.pena@cgiar.org.mx). §Autor para correspondencia: espitia.eduardo.@inifap.gob.mx.

Resumen

Se estudió el efecto de las combinaciones de gluteninas de alto peso molecular (GAPM) y gluteninas de bajo peso molecular (GBPM) sobre la calidad (fuerza y extensibilidad) de la masa. Se utilizaron tres grupos de 98 líneas, derivadas de Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Gálvez M87 y Rebeca F2000 x Bacanora T88. Las variables evaluadas fueron: tiempo y estabilidad al amasado, tolerancia al sobre amasado, fuerza de la masa y la relación tenacidad/extensibilidad. Las GAPM y GBPM se identificaron mediante electroforesis en geles de poliacrilamida. En Verano S91 x Salamanca S75, las GAPM 2*, 17+18, 2+12 combinadas con las GBPM e, g?, b; c, h, b y c, g?, b se asociaron con masas de mayor fuerza respecto a 2*, 17+18, 2+12, e, h, b. En Verano S91 x Gálvez M87, 2*, 17+18, 2+12, e, h, c; 1, 17+18, 2+12, b, h, c y 1, 17+18, 2+12, b, h, b presentaron gluten medio fuerte y extensible. En Rebeca F2000 x Bacanora T88, 2*, 7+9, 5+10, c, g, b y 1, 17+18, 5+10, c, g, b mostraron gluten fuerte y extensible, contrario a lo expresado por 2*, 7+9, 5+10, c, j, b. Lo anterior indica que mediante la recombinación genética se pueden generar y seleccionar combinaciones de GAPM y GBPM que se asocian a valores específicos de fuerza y extensibilidad y consecuentemente definen la calidad del producto final.

Abstract

The effect of combinations of high molecular weight glutenin (GAPM) and low molecular weight glutenin (GBPM) on the quality (strength and extensibility) of the mass was assessed in this paper. Three groups of 98 lines derived from Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Gálvez M87 and Rebeca F2000 x Bacanora T88. The variables evaluated were: mixing time and stability, tolerance to over kneading, strength of the dough and tenacity/extensibility ratio. The GBPM and GAPM were identified by electrophoresis in polyacrylamide gels. In Verano S91 x Salamanca S75, the GAPM 2 *, 17 +18, 2 +12 combined with GBPM e, g?, b; c, h, b, c, g?, b were associated with masses of greater strength compared to 2 *, 17 +18, 2 +12, e, h, b. In Verano S91 x Gálvez M87, 2 *, 17+18, 2 +12, e, h, c; 1, 17+18, 2+12, b, h, c, 1, 17 +18, 2+12, b, h, b showed medium strong and extensible gluten. In Rebeca F2000 x Bacanora T88, 2 *, 7 +9, 5+10, c, g, b and 1, 17+18, 5+10, c, g, b showed strong and extensible gluten, contrary to that expressed by 2 *, 7+9, 5+10, c, j, b. This indicates that by genetic recombination and selection can be generated GBPM and GAPM combinations that are associated with specific values of strength and extensibility and consequently determine the quality of the final product.

* Recibido: febrero de 2013
Aceptado: septiembre de 2013

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., calidad de la masa, combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular.

Key words: *Triticum aestivum* L., dough quality, high glutenin combinations and low molecular weight.

Introducción

La calidad de la masa en el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en México depende principalmente de dos variables alveográficas, conocidos como W y P/L, siendo W el trabajo (fuerza) mecánico usado para romper una burbuja de masa en el alveógrafo; mientras que P indica la tenacidad de la masa y L la longitud de la curva del alveograma, de tal manera que P/L es un cociente entre la tenacidad y extensibilidad de la masa. Con base en estas variables, la producción del trigo nacional se clasifica en cuatro grupos de calidad: grupo uno que lo conforman variedades de gluten fuerte (F), con $W > 300 \times 10^{-4}$ J; en el grupo dos se clasifican genotipos de gluten medio fuerte (M), con W de 200 a 300×10^{-4} J; el grupo tres de gluten débil o suave (S), está formado por variedades con fuerza de masa $W < 200 \times 10^{-4}$ J, y el grupo cuatro lo forman genotipos de gluten tenaz (T), el cual se caracteriza por mostrar $P/L > 1.2$. Por lo que este último valor permite clasificar a la masa de la siguiente manera: valores menores a 1 significan mayor extensibilidad, iguales a 1.1 masas balanceadas y valores > 1.2 tenaces (Salazar, 2000).

Por otro lado, la calidad (fuerza y extensibilidad) de la masa obtenida del trigo harinero es parcialmente determinada por la cantidad de proteína y la presencia de variantes alélicas de gluteninas (Liang *et al.*, 2010) y gliadinas (Singh y Khatkar, 2005); de tal manera, que existen alelos específicos de gluteninas de alto peso molecular (GAPM), gluteninas de bajo peso molecular (GBPM) y de α , β , γ y ω -gliadinas que favorecen la fuerza y extensibilidad de la masa (Cornish *et al.*, 2006). El estudio del efecto de las GAPM sobre la calidad de la masa ha sido el más frecuentes en todo el mundo (Liu *et al.*, 2009; Oury *et al.*, 2010).

Recientemente en trigos harineros mexicanos se ha identificado el efecto individual y por combinación de las GAPM sobre la calidad del gluten y el volumen de pan (Espitia *et al.*, 2008). Caso contrario ha sucedido con los alelos de GBPM, los cuales, debido a su alto polimorfismo, de 35 a 40 genes, que conforman el locus *Glu-3* (Cassidy *et al.*, 1998) y al ligamiento entre los loci *Glu-3* (GBPM) y *Gli-1* (γ y ω -gliadinas), han sido poco analizados. No obstante, se ha iniciado su identificación alélica así como su contribución sobre la reología del gluten (Maucher *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2010).

Introduction

The quality of the dough in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Mexico depends mainly on two alveographic variables, known as W and P/L, where W is work (force) mechanic used to break a bubble of mass in the alveograph whereas, P indicates the toughness of the mass and the length L of alveogram curve, so that P/L is a ratio between tenacity and extensibility of the dough. Based on these variables, the production of domestic wheat is classified into four quality groups: one group is made up of strong gluten varieties (F) with $W > 300 \times 10^{-4}$ J; in group two genotypes are classified of medium strong gluten (M), with W of $200-300 \times 10^{-4}$ J; gluten group three weak or soft (S), consists of varieties hard mass $W < 200 \times 10^{-4}$ J, and the group four will form tough gluten genotypes (T), which is characterized by displaying $P/L > 1.2$. So this last value to classify the mass as follows: values lower than 1 mean greater extensibility, balanced mass equal to 1.1 and values > 1.2 tenacious (Salazar, 2000).

On the other hand, the quality (strength and extensibility) of bread wheat dough obtained is partially determined by the amount of protein and the presence of allelic variants of glutenin (Liang *et al.*, 2010) and gliadins (Singh and Khatkar, 2005) such specific alleles are high molecular weight glutenin (GAPM), low molecular weight glutenin (GBPM) and α , β , γ and ω -gliadin that favor the strength and extensibility of the dough (Cornish *et al.*, 2006). The study of the effect of GAPM on dough quality was the most common in the world (Liu *et al.* 2009; Oury *et al.*, 2010).

Recently in Mexican bread wheats the individual effect has been identified and by combining the GAPM on gluten quality and volume of bread (Espitia *et al.*, 2008). Otherwise happened with GBPM alleles which, due to their high polymorphism, 35 to 40 genes, which form the locus *Glu-3* (Cassidy *et al.*, 1998) and the linkage between the loci *Glu-3* (GBPM) and *Gli-1* (γ y ω -gliadin), have been little studied. However, their identification is started allelic and contribution on the rheology of gluten (Maucher *et al.* 2009; Martínez *et al.*, 2010).

Békés *et al.* (2006) analizaron que la contribución de las combinaciones de GAPM y GBPM, sobre los parámetros de calidad de la masa es mayor, comparado con el efecto individual de sus variantes alélicas, por lo que es necesario ampliar el estudio de dichas combinaciones. Por lo tanto el objetivo de esta investigación fue, identificar el efecto sobre la calidad de la masa de diferentes combinaciones de GAPM y GBPM de líneas recombinantes derivadas de genotipos contrastantes en calidad de la masa.

Materiales y métodos

Material genético

Se analizaron los progenitores y 98 líneas de las cruzas Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Gálvez M87 y Rebeca F2000 x Bacanora T88. Las 98 líneas recombinantes se derivaron por descendencia de una sola semilla de F_2 a F_6 . Los genotipos se sembraron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones en el Campo Experimental El Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Roque, Guanajuato, durante el ciclo primavera-verano 2008. La unidad experimental fue de cuatro surcos de 3 m de longitud con una separación de 30 cm.

Variables medidas en el laboratorio

Las evaluaciones de las características de amasado, de fuerza y la relación tenacidad/extensibilidad así como la identificación de las combinaciones de GAPM y GBPM se llevaron a cabo en el Laboratorio de Calidad del Trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).

Las variables de amasado, tiempo de amasado (min), estabilidad al amasado (min) y tolerancia al sobre-amasado (mm) se determinaron en el mixógrafo de Swanson (National Mfg., EAU) utilizándose muestras de harina refinada de 35 g, mediante el método 54-40A (AACC, 2005). La fuerza general de la masa (W , 10^{-4} J) y la relación de tenacidad/extensibilidad (P/L, 0.1- 6) se obtuvieron en el Alvéógrafo de Chopin (Chopin, Francia), evaluando una muestra de 50 g de masa de harina refinada, con el método 54-30A (AACC, 2005).

La identificación de las variantes alélicas se realizó mediante el método electroforético descrito por Peña *et al.* (2004). Los alelos de los loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*, que conforman

Békés *et al.* (2006) analyzed the contribution of combinations of GBPM and GAPM on the quality parameters of the mass is greater, compared to the individual effect of its allelic variants, and it is necessary to extend the study of such combinations. Therefore the aim of this study was to identify the effect on dough quality of GAPM and GBPM of recombinant inbred lines contrasting on the mass quality.

Materials and methods

Genetic Material

We analyzed 98 parental lines and crosses of Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Galvez M87 and Rebeca F2000 x Bacanora T88. The 98 recombinant inbred lines derived by single seed descent from F_2 to F_6 . The genotypes were planted under an experimental design of randomized complete block with two replications in the Bajío Experiment Station, National Research Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) in Roque, Guanajuato, during the spring-summer 2008. The experimental unit was four rows of 3 m length with a spacing of 30 cm.

Variables measured in the laboratory

The evaluations of the dough characteristics, strength and tenacity/extensibility ratio and the identification of combinations GBPM and GAPM were held in the Wheat Quality Laboratory of the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).

The variables of kneading, mixing time (min), mixing stability (min) and tolerance to over-mixing (mm) were determined in the Swanson mixograph (National Mfg., UAE) using refined flour samples of 35 g, by 54-40A method (AACC, 2005). The overall strength of the mass (W , 10^{-4} J) and the tenacity/extensibility ratio (P/L, 0.1-6) were obtained in the Alveograph of Chopin (Chopin, France), evaluating a sample of 50 g of refined flour dough with the method 54-30A (AACC, 2005).

The identification of allelic variants was performed by electrophoretic method described by Peña *et al.* (2004). The alleles of the loci *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1*, which

el *Glu-1* y que codifican para las GAPM se identificaron con base en la nomenclatura propuesta por Payne y Lawrence (1983); mientras que los encontrados en los *loci Glu-A3*, *Glu-B3* y *Glu-D3*, que conforman el *Glu-3* y que codifican para GBPM, se nombraron de acuerdo con lo señalado por Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza para las tres cruzas con todas las variables evaluadas. En cada craza se realizó un análisis de varianza adicional para obtener los cuadrados medios respectivos por combinación. En la comparación de medias se usó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el procedimiento GLM (SAS, 2002). Para el análisis estadístico se eliminaron las combinaciones que presentaron alelos dobles en alguno de sus *loci*.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran las combinaciones de los progenitores y los grupos formados por las progenies recombinantes derivadas de los cruzamientos entre Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Gálvez M87 y Rebeca F2000 x Bacanora T88. Las progenies de las cruzas Verano S91 x Salamanca S75 y Verano S91 x Gálvez M87, se agruparon en cuatro nuevas combinaciones; mientras que en la craza Rebeca F2000 x Bacanora T88 sólo en dos.

form the *Glu-1* and coding for GAPM were identified based on the nomenclature proposed by Payne and Lawrence (1983); while those found in the *loci Glu-A3*, *Glu-B3*, and *Glu-D3*, that form the *Glu-3* encoding GBPM, were named according to Jackson *et al.* (1996) and Branlard *et al.* (2003).

Statistical analysis

An analysis of variance for the three crosses with all variables was made. In each cross was conducted additional analysis of variance of mean squares for the respective combinations. The comparison of means was done using Tukey test ($p \leq 0.05$), through the GLM procedure (SAS, 2002). For the statistical analyzes were eliminated the double allele presented in some of its *loci*.

Results and discussion

The Table 1 shows the combinations of parents and groups formed by the recombinant progeny derived from crosses between Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Gálvez M87 and Rebeca F2000 x Bacanora T88. The progeny of the crosses Verano S91 x Salamanca S75 and Verano S91 x Gálvez M87 were grouped into four new combinations, while in the cross Rebeca F2000 x Bacanora T88 were only two.

Cuadro 1. Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de los progenitores y sus progenies derivadas de Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Gálvez M87 y Rebeca F2000 x Bacanora T88. Roque, Guanajuato. Primavera-verano, 2008.

Table 1. Combinations of glutenin with high and low molecular weight (GAPM and GBPM) of parents and their progenies derived from Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Gálvez M87 and Rebeca F2000 x Bacanora T88. Roque, Guanajuato. Spring-summer, 2008.

	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/progenie						
Verano S91	2*	17+18	2+12	e	h	b
Salamanca S75	2*	7+8	2+12	c	g?	b
	2*	17+18	2+12	e	h	b
	2*	17+18	2+12	e	g?	b
	2*	17+18	2+12	c	h	b
	2*	17+18	2+12	c	g?	b

Cuadro 1. Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular (GAPM y GBPM) de los progenitores y sus progenies derivadas de Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Gálvez M87 y Rebeca F2000 x Bacanora T88. Roque, Guanajuato. Primavera-verano, 2008 (Continuación).

Table 1. Combinations of glutenin with high and low molecular weight (GAPM and GBPM) of parents and their progenies derived from Verano S91 x Salamanca S75, Verano S91 x Gálvez M87 and Rebeca F2000 x Bacanora T88. Roque, Guanajuato. Spring-summer, 2008 (Continuation).

	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>
Verano S91	2*	17+18	2+12	e	h	b
Gálvez M87	1	17+18	5+10	b	h	c
	1	17+18	2+12	e	h	b
	2*	17+18	2+12	e	h	c
	2*	17+18	2+12	b	h	c
	1	17+18	2+12	b	h	b
Rebeca F2000	1	17+18	5+10	c	g	b
Bacanora T88	2*	7+9	5+10	c	j	b
	2*	7+9	5+10	c	g	b
	1	17+18	5+10	c	g	b

En las tres cruzas analizadas se observaron diferencias altamente significativas para genotipos y combinaciones en todas las variables evaluadas (Cuadro 2), lo que concuerda con Vaccinio *et al.* (2002) y Martínez *et al.* (2010), reportaron el efecto de diferentes combinaciones de GAPM y GBPM sobre la calidad de la masa.

In the three crosses analyzed were highly significant differences for genotypes and combinations in all variables (Table 2), as reported by Vaccinio *et al.* (2002) and Martínez *et al.* (2010) reported the effect of different combinations of GBPM and GAPM and the quality of the dough.

Cuadro 2. Cuadrados medios de variables de calidad de la masa de trigos harineros. Roque, Guanajuato. Primavera-verano, 2008.

Table 2. Mean squares of quality variables of bread wheat dough. Roque, Guanajuato. Spring-summer, 2008.

FV	GL	TAM	EAM	TSAM	W	P/L
Genotipo	45	1.4 [†]	1.6 [†]	23.8 [†]	17349.0 [†]	0.3 [†]
Genotipo (cruza)	43	0.58 [†]	1.6 [†]	24.9 [†]	13055.3 [†]	0.2 [†]
Cruza	2	19.9 [†]	3.4 [†]	0.14 ns	109662.8 [†]	2.0 [†]
Combinación	15	5.3 [†]	3.6 [†]	38.2 [†]	47464.3 [†]	0.5 [†]
Salamanca S75 x Verano S91						
Genotipo (cruza)	25	0.2 [†]	1.1 [†]	22.0 [†]	10110.0 [†]	0.3 [†]
Combinación (cruza)	5	0.4 [†]	1.7 [†]	40.0 [†]	15900.3 [†]	0.7 [†]
Gálvez M87 x Verano S91						
Genotipo (cruza)	10	0.9 [†]	2.6 [†]	31.5 [†]	16531.9 [†]	0.2 [†]
Combinación (cruza)	5	1.6 [†]	5.2 [†]	61.3 [†]	27732.7 [†]	0.1 [†]
Rebeca F2000 x Bacanora T88						
Genotipo (cruza)	9	1.1 [†]	1.5 [†]	28.9 [†]	16401.9 [†]	0.3 [†]
Combinación (cruza)	3	2.4 [†]	3.1 [†]	26.2 ns	32558.5 [†]	0.8 [†]
Error [§]	90	0.03	0.08	3.0	1415.2	0.02

[†], [‡], significativas con $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$; ns= no significativo. [§]error del análisis general; GL= grados de libertad; FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; TAM= tiempo de amasado; EAM= estabilidad al amasado; TSAM= tolerancia al sobre amasado; W= fuerza general de la masa; P/L= tenacidad/extensibilidad.

Cruza Salamanca S75 x Verano S91

Las combinaciones recombinantes 2*, 17+18, 2+12, c, g?, b; 2*, 17+18, 2+12, c, h, b y la de Salamanca S75 mostraron los valores más altos en tiempo y estabilidad al amasado y mayor tolerancia al sobre amasado (valores bajos, Figura 1). Consecuentemente la combinación de GAPM 2*, 17+18, 2+12 asociada a las variantes alélicas de GBPM e, g?, b y c, h, b así como c, g?, b mostraron valores de gluten medio fuerte (W de 2000 a 300 x 10⁻⁴ J) con excelente extensibilidad (valores < 1), características adecuadas para la industria de la panificación artesanal o semi-mecanizada en México. Por otro lado, las combinaciones recombinantes 2*, 17+18, 2+12, e, g?, b; 2*, 17+18, 2+12, e, h, b y la de Verano S91 se asociaron a tiempos cortos de amasado y estabilidad, así como poca tolerancia al sobre amasado (valores altos, Figura 1), lo anterior reafirma lo encontrado por Park *et al.* (2011), encontraron que los alelos, e de *Glu-A3* y 2+12 de *Glu-D1*, disminuyeron el tiempo de amasado. Con base en su W y P/L, la combinación recombinante 2*, 17+18, 2+12, e, h, b y la del progenitor Verano S91, se clasificaron como de gluten débil (W < 200 x 10⁻⁴ J) y extensible (P/L > 1) adecuada para la industria galletera en México (Cuadro 3).

Cross Verano S91 x Salamanca S75

Recombinant combinations 2*, 17+18, 2+12, c, g?, b; 2*, 17+18, 2+12, c, h, b and Salamanca S75 showed higher values in time and stability when kneading and higher tolerance to over kneading (low values, Figure 1). Consequently combining GAPM 2*, 17+18, 2+12 associated to the allelic variants GBPM e, g?, b and c, h, b and c, g?, b values showed medium strong gluten (W of 2000 a 300 x 10⁻⁴ J) with excellent extensibility (values < 1), suitable characteristics for the baking industry or semi-mechanized craft in Mexico. Furthermore, recombinant combinations 2*, 17+18, 2+12, e, g?, b; 2*, 17+18, 2+12, e, h, b and Verano S91 associated with short times of kneading and stability as well as low tolerance for mixing (high values, Figure 1), the above confirms the findings of Park *et al.* (2011) who found that the alleles, of e *Glu-A3* and 2+12 at *Glu-D1*, decreased mixing time. Based on its W and W/L, the recombinant combination 2*, 17+18, 2+12, e, h, b and the progenitor Verano S91, were classified of weak gluten (W < 200 x 10⁻⁴ J) and extensible (P/L > 1) suitable for the baking industry in Mexico (Table 3).

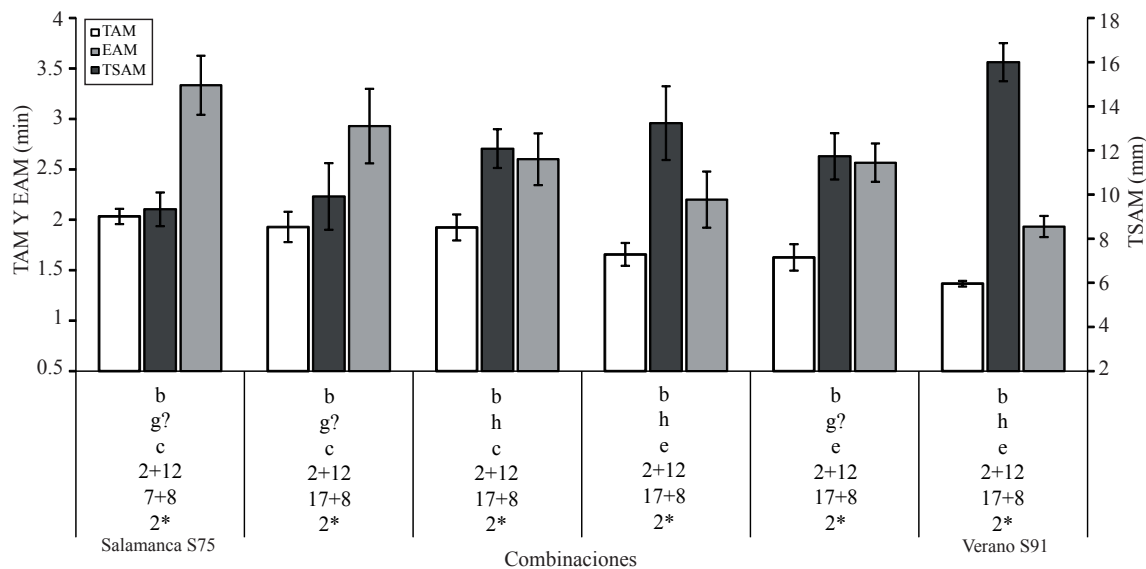


Figura 1. Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular, derivadas de Verano S91 (V) x Salamanca S75 (S), y su efecto sobre tiempo de amasado (TAM), estabilidad al amasado (EAM) y tolerancia al sobre-amasado (TSAM). Las barras delgadas representan el error estándar de la media.

Figure 1. Glutenin combinations of high and low molecular weight derived from Vrano S91 (V) x Salamanca S75 (S), and their effect on kneading time (TAM), the mixing stability (EAM) and tolerance to over-kneading (TSAM). Thin bars represent the standard error of the mean.

Cuadro 3. Comparación de medias de fuerza de la masa (W) y la relación tenacidad/extensibilidad (P/L) de los progenitores y de las combinaciones de las líneas derivadas en los cruzamientos.**Table 3. Comparison of the force mass means (W) and the tenacity/extensibility ratio (P/L) of the parents and the combinations lines derived in the crosses.**

	GAPM			GBPM			W (10 ⁻⁴ J)	P/L (0.1 - 6.0)
	<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	2*	7+8	2+12	c	g?	b	330.6 a	1.6 a
	2*	17+18	2+12	e	g?	b	262.5 ba	1.0 cb
	2*	17+18	2+12	c	h	b	253.5 ba	0.6 c
	2*	17+18	2+12	c	g?	b	240.7 ba	0.7 cb
	2*	17+18	2+12	e	h	b	198.5 b	0.7 cb
Verano S91	2*	17+18	2+12	e	h	b	183.0 b	1.0 b

Valores con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente iguales.

Con base en lo anterior, las combinaciones que presentaron los alelos 2+12 en *Glu-D1* y h en *Glu-B3* mostraron tiempos de amasado similares a los reportados por Peña *et al.* (2004). De tal modo, que los cambios en la fuerza de la masa, de las combinaciones 2*, 17+18, 2+12, e, g?, b; 2*, 17+18, 2+12, c, h, b y 2*, 17+18, 2+12, c, g?, b, reafirman lo reportado por Wesley *et al.* (2001) y Liang *et al.* (2010), observaron que mediante la sustitución de GBPM específicas fue posible modificar la calidad de la masa. La combinación recombinante 2*, 17+18, 2+12, e, h, b similar a la de Verano S91, mostró mayor extensibilidad por su P/L < 1, lo cual puede deberse a la presencia de gliadinas que favorecen la extensibilidad de la masa, dichas proteínas no fueron identificadas en este estudio.

Cruza Verano S91 x Gálvez M87

La combinación 1, 17+18, 5+10, b, h, c de Gálvez M87, presentó los valores más altos para tiempo y estabilidad al amasado y mayor tolerancia al sobre amasado (Figura 2), reflejándose en su gluten fuerte y extensible W > 300 x 10⁻⁴ J y P/L < 1 (Cuadro 4) apropiado para la panificación mecanizada, lo anterior concuerda con Park *et al.* (2011) quienes concluyeron que genotipos que presentaron los alelos, 1 ó 2* en *Glu-A1*, 5+10 en *Glu-D1* y h en *Glu-B3*, mostraron tiempos de amasado mas largos, contrario a los mostrados por las combinaciones 2*, 17+18, 2+12, e, h, c; 1, 17+18, 2+12, b, h, c y 1, 17+18, 2+12, b, h, b, lo que consecuentemente presentó características de gluten medio fuerte y extensible. Las combinaciones de Verano S91 y 1, 17+18, 2+12, e, h y b presentaron los tiempos más bajos de amasado por lo que se asociaron a parámetros de gluten débil y extensible (Figura 2, Cuadro 4). La comparación

Based on the above, the combinations that showed allele 2+12 in *Glu-D1* and h *Glu-B3* showed kneading times similar to those reported by Peña *et al.* (2004). So that, the changes in the strength of the dough, combinations 2*, 17+18, 2+12, e, g?, b; 2*, 17+18, 2+12, c, h, b and 2*, 17+18, 2+12, c, g?, b, reaffirm that reported by Wesley *et al.* (2001) and Liang *et al.* (2010), found that by replacing specific GBPM was possible to modify the quality of the dough. Recombinant combining 2*, 17+18, 2+12, e, h, b similar to Verano S91 showed higher extensibility by its W/L < 1, which may be due to the presence of gliadin favoring the extensibility of the dough, these proteins were not identified in this study.

Cross Verano S91 x Gálvez M87

The combination 1, 17+18, 5+10, b, h, c of Gálvez M87 presented the highest values for the kneading time and stability and the highest tolerance of over kneading (Figure 2), reflected in stronger and extensible gluten W > 300 x 10⁻⁴ J and P/L < 1 (Table 4) suitable for mechanized bakery, the above is consistent with Park *et al.* (2011) who concluded that, the allele genotypes presented, 1 or 2* in *Glu-A1*, 5+10 in *Glu-D1* h in B3, but showed longer periods of kneading times, in contrast to those exhibited by the combinations 2*, 17+18, 2+12, e, h, c, 1, 17+18, 2+12, b, h, c and 1, 17+18, 2+12, b, h, b, which consequently presented medium strong and extensible gluten characteristics. The combinations Verano S91 and 1, 17+18, 2+12, e, h and b presented lower kneading times, parameters associated with weak and extensible gluten (Figure 2, Table 4). The comparison between 2*,

entre 2*, 17+18, 2+12, b, h, c, vs 1, 17+18, 5+10, b, h, c, donde se sustituyeron los alelos 1 por 2* en *Glu-A1* y 5+10 por 2+12 en *Glu-D1*, aumentaron el tiempo de amasado, lo cual coincide con lo señalado por Radovanovic *et al.* (2002) y Zheng *et al.* (2009) asociaron al alelo 5+10 con valores más altos de tiempo de amasado respecto a 2+12; mientras que Yanaka *et al.* (2007) lo relacionaron con mayor volumen de sedimentación.

17+18, 2+12, b, h, c, vs 1, 17+18, 5+10, b, h, c, where one allele is replaced by 2* in *Glu-A1* and 5+10 for 2+12 in *Glu-D1*, increasing the kneading time, which is consistent with the results reported by Radovanovic *et al.* (2002) and Zheng *et al.* (2009) associated the allele 5+10 with the highest values of kneading time compared to 2+12, while Yanaka *et al.* (2007) associated that with an increased sedimentation volume.

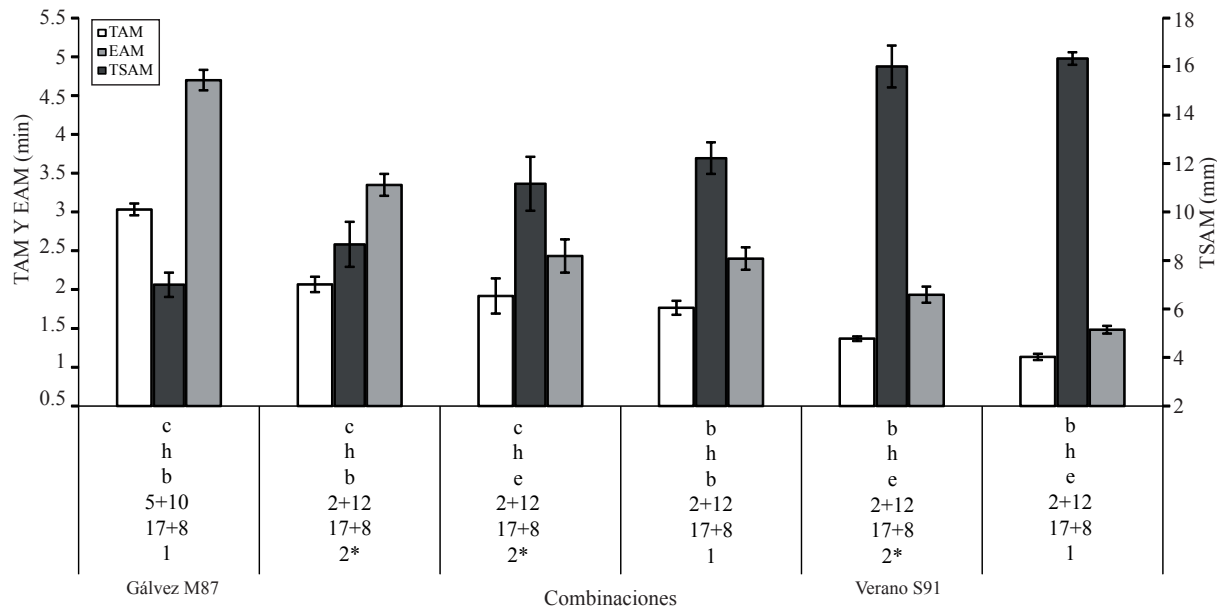


Figura 2. Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular, derivadas de Verano S91 (V) x Gálvez M87 (G), y su efecto sobre sobre tiempo de amasado (TAM), estabilidad al amasado (EAM) y tolerancia al sobre amasado (TSAM). Las barras delgadas representan el error estándar de la media.

Figure 2. The combinations of glutenin with high and low molecular weight derived from Verano S91 (V) x Gálvez M87 (G) and its effect on kneading time (TAM), mixing stability (EAM) and tolerance to over kneading (TSAM). Thin bars represent the standard error of the mean.

Cuadro 4. Comparación de medias de fuerza de la masa (W) y la relación tenacidad/extensibilidad (P/L) de los progenitores y de las combinaciones de las líneas derivadas en los cruzamientos.

Table 4. Comparison of the means force of mass (W) and the tenacity/extensibility ratio (P/L) of the parents and combinations lines derived in the crosses.

	GAPM			GBPM			W (10 ⁻⁴ J)	P/L (0.1 - 6.0)
	<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	373.6 a	0.5 b
	2*	17+18	2+12	b	h	c	274.1b a	0.4 b
	1	17+18	2+12	b	h	b	221.3b c	0.4 b
Verano S91	2*	17+18	2+12	e	h	b	183.0b c	1.0 a
	2*	17+18	2+12	e	h	c	177.1b c	0.5 b
	1	17+18	2+12	e	h	b	143.5 c	0.5 b

Valores con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente iguales.

Cruza Rebeca F2000 x Bacanora T88

Las líneas que se agruparon en las combinaciones recombinantes 2*, 7+9, 5+10, c. g, b; 1, 17+18, 5+10, c, g, b y la de Rebeca F2000 se asociaron a los valores más altos de tiempo y estabilidad de amasado así como mayor tolerancia al sobre amasado (Figura 3). Por lo que estas combinaciones de GAPM y GBPM se asociaron con valores de gluten fuerte; sin embargo, 2*, 7+9, 5+10, c. g, b tendió a ser tenaz ($P/L > 1$); mientras que 1, 17+18, 5+10, c, g, b mostró mejor extensibilidad por su $P/L < 1$ (Cuadro 5). Por otro lado, Bacanora T88, identificado con la combinación 2*, 7+9, 5+10, c. j, b, presentó los valores más bajos de tiempo y estabilidad al amasado, adicionalmente se caracterizó por presentar poca tolerancia al sobre amasado, lo que determinó tipo de gluten débil y tenaz ($P/L > 1.2$), impropias para la elaboración de pan, lo cual concuerda con Maucher *et al.* (2009) y Gobaa *et al.* (2008) localizaron efectos similares con genotipos asociados con la translocación 1B/1R (alelo j en *Glu-B3*). Las combinaciones 1, 17+18, 5+10, c, g, b, de Rebeca F2000 y la de las líneas recombinantes, presentaron propiedades excelentes para la panificación, lo cual concuerda con Martínez *et al.* (2007) y Martínez *et al.* (2010), reportaron la contribución favorable de las variantes 17+18 de *Glu-B1*, 5+10 de *Glu-D1* y g de *Glu-B3*.

Cross Rebeca F2000 x Bacanora T88

The lines were grouped into recombinant combinations 2*, 7+9, 5+10, c. g, b, 1, 17+18, 5+10, c, g, b and Rebecca F2000 were associated with the highest values of kneading time and stability as well as increased tolerance to over kneading (Figure 3). Therefore these combinations of GBPM and GAPM were associated with strong gluten, but 2*, 7+9, 5+10, c. g, b tended to be tough ($P/L > 1$), whereas 1, 17+18, 5+10, c, g, b showed better extensibility by its $W/L < 1$ (Table 5). Furthermore, Bacanora T88 was identified with the combination of 2*, 7+9, 5+10, c. j, b, which presented the lowest values of kneading time and stability additionally was characterized by low tolerance to over kneading, determined as weak and tenacious gluten ($P/L > 1.2$), unsuitable for making bread, which agrees with Maucher *et al.* (2009) and Gobaa *et al.* (2008) who located similar effects of genotypes associated with translocation 1B/1R (allele j in *Glu-B3*). The combinations 1, 17+18, 5+10, c, g, b, Rebeca F2000 and recombinant lines showed excellent properties for breadmaking, which agrees with Martínez *et al.* (2007) and Martínez *et al.* (2010), reported the positive contribution of the variants of 17+18 of *Glu-B1*, 5+10 of *Glu-D1* and g of *Glu-B3*.

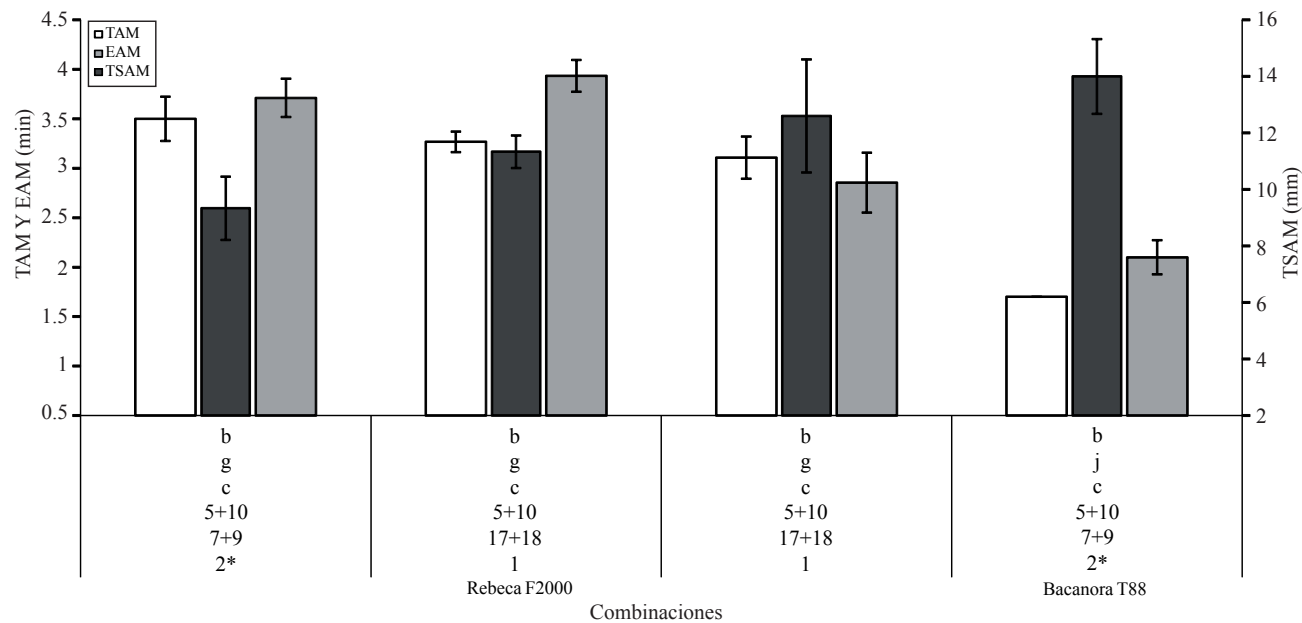


Figura 3. Combinaciones de gluteninas de alto y bajo peso molecular, derivadas de Rebeca F2000 (R) x Bacanora T88 (B), y su efecto sobre tiempo de amasado (TAM), estabilidad al amasado (EAM) y tolerancia al sobre amasado (TSAM). Las barras delgadas representan el error estándar de la media.

Figure 3. Combinations of glutenin with high and low molecular weight derived from Rebeca F2000 (R) x Bacanora T88 (B), and its effect on kneading time (TAM), stability (EAM) and tolerance to over kneading (TSAM). The thin bars represent the standard error of the mean.

Cuadro 5. Comparación de medias de fuerza de la masa (W) y la relación tenacidad/extensibilidad (P/L) de los progenitores y de las combinaciones de las líneas derivadas en los cruzamientos.

Table 5. Comparison of the means force of mass (W) and the tenacity/extensibility ratio (P/L) of the parents and combinations lines derived in the crosses.

	GAPM			GBPM			W (10 ⁻⁴ J)	P/L (0.1 - 6.0)
	<i>Glu-A1</i>	<i>Glu-B1</i>	<i>Glu-D1</i>	<i>Glu-A3</i>	<i>Glu-B3</i>	<i>Glu-D3</i>		
	2*	7+9	5+10	c	g	b	385.6 a	1.1 b
Rebeca	1	17+18	5+10	c	g	b	339.0 a	1.0 b
F2000	1	17+18	5+10	c	g	b	322.2 a	0.8 b
Bacanora	2*	7+9	5+10	c	j	b	178.6 b	2.0 a
T88								

Valores con la misma letra dentro de columnas no son estadísticamente iguales.

Conclusiones

Las genotipos con combinaciones de gluteninas 1, 17+18, 5+10, b, h, c y 1, 17+18, 5+10, c, g, b son apropiadas para la industria de la panificación en México; mientras que de manera general las combinaciones de las GAPM 1 ó 2*, 17+18, 2+12 con las diversas combinaciones de GBPM, mostraron menor fuerza de masa adecuadas para la fabricación de galletas. La combinación 2*, 7+9, 5+10, c, j, b, que presentó el alelo *j* en *Glu-B3* se asoció a masas de la más baja calidad de las tres cruza analizadas. Con base en lo anterior, mediante la recombinación y selección es posible generar genotipos con combinaciones específicas de GAPM y GBPM que permitan parcialmente determinar la fuerza y la extensibilidad de la masa y consecuentemente influir en las características de panificación, galletería y repostería.

Conclusions

The genotypes with glutenin combinations 1, 17+18, 5+10, b, h, c and 1, 17+18, 5+10, c, g, b are suitable for the bakery industry in Mexico, whereas in generally, GAPM combinations of 1 or 2*, 17+18, 2+12 with various combinations of GBPM, showed less suitable for making cookies. The combination 2*, 7+9, 5+10, c, j, b, who presented the allele in *Glu-B3* associated with dough of the lowest quality of the three crosses analyzed. Based on the above, through recombination and selection can generate genotypes with specific combinations that allow GBPM and GAPM to partially determine the strength and extensibility of the dough and consequently affect the characteristics of bread, biscuits and pastries.

End of the English version

Agradecimientos

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

Literatura citada

- American Association of Cereal Chemists (AACC). 2005. Approved Methods of the AACC. 9th (Ed.). St. Paul, MN, USA.
Békes, F.; Kemény, S. and Morell, M. 2006. An integrated approach to predicting end-product quality wheat. *Eur. J. Agron.* 25:155-162.

- Branlard, G.; Dardevet, M.; Amiour, N. and Igrejas, G. 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.; Dvorak, J. and Anderson, O. D. 1998. The wheat low-molecular-weight glutenin genes: characterization of six genes and progress in understanding gene family structure. *Theor. Appl. Genet.* 96:743-750.
Cornish, G. B.; Békés, F.; Eagles, H. A. and Payne, P. I. 2006. Prediction of dough properties for bread wheats. *In: Wrigley, B. F. and Bushuk, W. (Eds.). Gliadin and glutenin. The unique balance of wheat quality.* AACC Press, St Paul, Min. USA. 243-280 pp.
Espitia, R. E.; Martínez, C. E.; Peña, B. R. J.; Villaseñor, M. H. E. y Huerta, E. J. 2008. Polimorfismo de gluteninas de alto peso molecular y su relación con trigos harineros para temporal. *Agríc. Téc. Méx.* 34:57-67.

- Gobaa, S.; Brabant, C.; Kleijer, G. and Stamp, P. 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.
- Jackson, E.A.; Morel, M.H.; Sontag-Strohm, T.; Branlard, G.; Metakovsky E. V. and Redaelli, R. 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.
- Liang, D.; Tang, J.; Peña, R.J.; Singh R.; He, X.; Shen, X.; Yao, D.; Xia, X. and He, Z. 2010. Characterization of CIMMYT bread wheats for high and low-molecular weight glutenin subunits and other quality-related genes with SDS-PAGE, RP-HPLC and molecular markers. *Euphytica*. 172:235-250.
- Liu, L.; Wang, A.; Appels, R.; Ma, J.; Xia, X.; Lan, P.; He, Z.; Bekes, F.; Yan, Y. and Ma, W. 2009. A MALDI-TOF based analysis of high molecular weight glutenin subunits for wheat breeding. *J. Cereal Sci.* 50: 295-301.
- Maucher, T.; Figueroa, J. D. C.; Reule, W. and Peña, R. J. 2009. Influence of low molecular weight glutenins on viscoelastic properties of intact wheat kernels and their relation to functional properties of wheat dough. *Cereal Chem.* 86:372-375.
- Martínez-Cruz, E.; Espitia-Rangel, E.; Benítez-Riquelme, I.; Peña-Bautista, R. J.; Santacruz-Varela, A. y Villaseñor-Mir, H. E. 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.
- Martínez-Cruz, E.; Espitia-Rangel, E.; Villaseñor-Mir, H. E.; Molina-Galán, J. D.; Benítez-Riquelme, I.; Santacruz- Varela, A. y Peña-Bautista, R. J. 2010. Diferencias reológicas de la masa de trigo en líneas recombinantes II. Relación con combinaciones de los loci *Glu-1* y *Glu-3*. *Agrociencia* 44:631-641.
- Oury, F.-X.; Chiron H.; Faye, A.; Gardet, O.; Alex, G.; Heumez, E.; Rolland, B.; Rousset, M.; Trotter, M.; Charmet, G. and Branlard, G. 2010. The prediction of bread wheat quality: joint use of the phenotypic information brought by technological tests and the genetic information brought by HMW and LMW glutenin subunits. *Euphytica*. 171:87-109.
- Park, C. S.; Kang C. S.; Jeung, J. U. and Woo, S. H. 2011. Influence of allelic variations in glutenin on the quality of pan bread and white salted noodles made from Korean wheat cultivars. *Euphytica*. 180:235-250.
- Payne, P. I. and Lawrence, G. J. 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.; González, S. H. and Cervantes, F. 2004. Relationship between *Glu-D1/GluB-3* allelic combinations and breadmaking quality-related parameters commonly used in wheat breeding. In: Lafiandra, D.; Masci, S. and D'Ovidio, R. (Eds.). *The Gluten Proteins*. RSC Publishing, Cambridge, UK. 156-157 pp.
- Radovanovic, N.; Cloutier S.; Brown D. and Humphreys D.G. Lukow O.M. 2002. Genetic variance for gluten strength contributed by high molecular weight glutenin proteins. *Cereal Chem.* 79:843-849.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 20012 SAS user's guide. Statistics. Version 8. SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 19:749-756.
- Vaccino, P.; Redaelli R.; Metakovsky, E. V.; Borghi B.; Corbellini, M. and Pogna, N. E. 2002. Identification of novel low M_r glutenin subunits in the high quality bread wheat cv Salmone and their effects on gluten quality. *Theor. Appl. Genet.* 105:43-49.
- Salazar, Z. A. 2000. Calidad industrial del trigo para su comercialización. In: Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. (Eds.). *El trigo de temporal en México. Libro técnico Núm. 1*. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX. 289-311 pp.
- Singh, M. and Khatkar, B. S. 2005. Structural and functional properties of wheat storage proteins: a review. *J. Food Sci. Technol.* 42:455-471.
- Wesley, S. A.; Lukow, O. M.; McKenzie, R. I.; Ames, H. and Brown, N. D. 2001. Effect of multiple substitution of glutenin and gliadin proteins on flour quality of Canada prairie spring wheat. *Cereal Chem.* 78:69-73.
- Yanaka, M.; Takata, K.; Ikeda, T. M. and Ishikawa, N. 2007. Effect of the high molecular weight glutenin allele, *Glu-d1d*, on Noodle quality of common wheat. *Breeding Sci.* 57:243-248.
- Zheng, S.; Byrne, P. F.; Bai, G.; Shan, X.; Reid S. D.; Haley S. D. and Seabourn B. W. 2009. Association analysis reveals effects of wheat glutenin alleles and rye translocations on dough-mixing properties. *J. Cereal Sci.* 50:283-290.