

LA CALIDAD INDUSTRIAL DE LA MASA Y SU RELACIÓN CON DIFERENTES LOCI DE GLUTENINAS EN TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L.)

INDUSTRIAL QUALITY OF DOUGH AND ITS RELATIONSHIP WITH DIFFERENT GLUTENIN LOCI IN BREAD WHEAT (*Triticum aestivum* L.)

Eliel Martínez-Cruz¹, Eduardo Espitia-Rangel^{1*}, Héctor E. Villaseñor-Mir¹,
Rene Hortelano-Santa Rosa¹, María F. Rodríguez-García¹, Roberto J. Peña-Bautista²

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

RESUMEN

La fuerza y extensibilidad de la masa del trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) depende parcialmente de los alelos de gluteninas de peso molecular alto (GAPM) y gluteninas de peso molecular bajo (GBPM) en la harina. El objetivo de esta investigación fue identificar el efecto de once variantes alélicas en la calidad de la masa de líneas recombinantes F₆, derivadas de Rebeca F2000×Bacanora T88, Verano S92×Salamanca S75 y Gálvez M87×Verano S92. Los genotipos se sembraron en el ciclo otoño-invierno de 2008-2009 en el Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), México. El diseño experimental fue bloques completos al azar con dos repeticiones por tratamiento. Las variables fueron el tiempo de amasado, la estabilidad al amasado, la tolerancia al sobre amasado, la fuerza de la masa y la relación tenacidad/extensibilidad. Los alelos de GAPM 1 y 2* del locus Glu-A1 así como 7+9 y 17+18 del Glu-B1, de la cruz Rebeca F2000×Bacanora T88, se asociaron con características que favorecieron la fuerza de la masa y su extensibilidad. En la cruz Verano S92×Salamanca S75, las GBPM, c y e de Glu-A3 se clasificaron como variantes de gluten medio fuerte con buena extensibilidad y comportamiento similar en los alelos g y h de Glu-B3. Los alelos 2* de Glu-A1 y b de Glu-B3, de la cruz Gálvez M87×Verano S92, superaron la fuerza del gluten de su contraparte 1 y e, respectivamente, y la variante c del locus Glu-D3 se clasificó como de gluten medio fuerte y la b como de gluten débil. Los seis alelos evaluados en esta cruz mostraron buena extensibilidad. Mediante la recombinación de las variantes alélicas de GAPM y GBPM es posible derivar

ABSTRACT

The dough strength and extensibility of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) depends partly on the alleles of high molecular weight glutenins (HMWG) and low molecular weight glutenins (LMWG) in flour. The objective of this research was to identify the effect of eleven allelic variants on dough quality of recombinant F₆ lines, derived from Rebeca F2000×Bacanora T88, Verano S92×Salamanca S75 and Gálvez M87×Verano S92. Genotypes were sown at the Experimental Field Bajío of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Mexico in the summer-winter cycle 2008-2009. The experimental design was randomized complete blocks with two replications per treatment. The variables were kneading time, stability to kneading, tolerance to over-kneading, dough strength and tenacity/extensibility relationship. The alleles of HMWG 1 and 2* of locus Glu-A1 as well as 7+9 and 17+18 of Glu-B1, of the cross Rebeca F2000×Bacanora T88, were associated with characteristics favoring the dough strength and its extensibility. In the cross Verano S92×Salamanca S75, the LMWG, c and e of Glu-A3 were classified as variants of medium-strong gluten with good extensibility and similar behavior in alleles g and h of Glu-B3. The alleles 2* of Glu-A1 and b of Glu-B3, of the cross Gálvez M87×Verano S92, exceeded the gluten strength of its counterpart 1 and e, respectively, and the c variant of locus Glu-D3 was classified as medium-strong gluten and b as weak gluten. The six alleles evaluated in this cross showed good extensibility. By recombination of allelic variants of LMWG and HMWG is possible to derive combinations of specific glutenins to favor the quality of cookie, bread and tortilla-making products and for baking pastries.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2013. Aprobado: abril, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 48: 403-411. 2014.

Key words: Bread wheat, allelic variants, high and low molecular weight glutenins, dough quality.

combinaciones de gluteninas específicas para favorecer la calidad de los productos de panadería, galletería, tortillería y repostería.

Palabras clave: Trigo harinero, variantes alélicas, gluteninas de alto y bajo peso molecular, calidad de la masa.

INTRODUCCIÓN

Las características industriales de la masa, fuerza y extensibilidad, y la calidad del producto final (panes, galletas, pasteles y tortillas) derivados del trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) son determinadas parcialmente por la cantidad de proteína (Park *et al.*, 2006), la presencia de variantes alélicas de las proteínas gluteninas y gliadinas, y la relación glutenina/gliadina (Sissons, 2008). La cantidad de proteína es significativamente afectada por las condiciones del cultivo, mientras que los alelos de gluteninas y gliadinas y la relación glutenina/gliadina son determinadas fundamentalmente por el genotipo (Triboi *et al.*, 2000).

Con base en su movilidad electroforética en geles de poliacrilamida y condiciones de pH básico, las gluteninas se clasifican como de peso molecular alto (GAPM) de 70-90 kDa y bajo (GBPM) de 20-45 kDa, y las gliadinas se dividen en α , β , γ y ω , por su movilidad en geles de poliacrilamida en condiciones de pH ácido (D'Ovidio y Masci, 2004). Hay estudios que caracterizan e identifican el efecto de las GAPM, GBPM y gliadinas sobre la calidad de la masa (Sissons, 2008), y se describen combinaciones específicas de alelos de GAPM 1, 17+18, 5+10 y GBPM b, h, c las cuales se asocian con mayor calidad panadera debido a su efecto favorable sobre la fuerza y extensibilidad de la masa, mientras que combinaciones 2*, 17+18, 2+12, de GAPM y e, g, b de GBPM presentan gluten débil (Martínez-Cruz *et al.*, 2010) adecuadas en la fabricación de galletas. Entonces, los alelos específicos de gluteninas que conforman las combinaciones afectan la fuerza y extensibilidad de la masa, y es importante determinar el efecto de cada variante alélica para identificar combinaciones de gluteninas que generen harinas para un uso industrial específico. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue identificar el efecto de alelos de GAPM y GBPM, de trigos harineros, sobre la fuerza y extensibilidad de la masa.

INTRODUCTION

Industrial characteristics of the dough, strength and extensibility, and quality of the final product (breads, cookies, cakes and tortillas) derived from bread wheat (*Triticum aestivum* L.) are partially determined the amount of protein (Park *et al.* 2006), by the presence of allelic variants of the glutenin and gliadin proteins, and the glutenin/gliadin ratio (Sissons, 2008). The amount of protein is significantly affected by culture conditions, whereas alleles of glutenin and gliadin and the glutenin/gliadin relationship are fundamentally determined by the genotype (Triboi *et al.*, 2000).

Based on its electrophoretic mobility in gels of polyacrylamide and basic pH conditions, glutenins are classified as high molecular weight (HMWG) of 70-90 kDa and low (LMWG) of 20-45 kDa, and gliadins are divided into α , β , γ and ω by its mobility on polyacrylamide gels in acidic pH conditions (D'Ovidio and Masci, 2004). There are studies that characterize and identify the effect of HMWG, LMWG and gliadins on dough quality (Sissons, 2008), and specific combinations were described of HMWG alleles 1, 17+18, 5+10 and LMWG b, h, c which are associated with higher baking quality due to its favorable effect on the strength and extensibility of the dough, whereas combinations 2*, 17+18, 2+12 of HMWG and e, g, b of LMWG have weak gluten (Martínez-Cruz *et al.*, 2010) appropriate in making cookies. Then, specific glutenin alleles that comprise the combinations affect the strength and extensibility of the dough, and it is important to determine the effect of each allelic variant to identify combinations of glutenin that produce flours for a specific industrial use. Therefore, the objective of this research was to identify the effect of HMWG and LMWG alleles of bread wheat on the dough strength and extensibility.

MATERIALS AND METHODS

In this study the parents Rebeca F2000×Bacanora T88, Verano S92×Salamanca S75 and Galvez M87×Verano S92 as well as 98 F₆ lines were used, for each crossing derived by progeny of one single seed from F₂ to F₆. Genotypes were sown in the Experimental Field El Bajío at Roque, state of Guanajuato, Mexico, in the fall-winter cycle 2008-2009. The experimental design was randomized complete blocks with two replications,

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se usaron los progenitores Rebeca F2000×Bacanora T88, Verano S92×Salamanca S75 y Gálvez M87×Verano S92, así como 98 líneas F_6 por cada cruzamiento derivadas por descendencia de una sola semilla de F_2 a F_6 . Los genotipos se sembraron en el Campo Experimental el Bajío (CEBAJ) en Roque, estado de Guanajuato, México, durante el ciclo otoño-invierno de 2008-2009. El diseño experimental fue bloques completos al azar con dos repeticiones y la unidad experimental fue de cuatro surcos de 3 m de longitud con una separación de 30 cm.

La harina refinada se obtuvo usando un molino de laboratorio (Brabender, Quadrumat Senior, C. W. Brabender OHG, Alemania) con un cernido a través de dos mallas (diámetros 183 μm y 129 μm) en el Laboratorio de Calidad Industrial de Trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Mediante el mixógrafo de Swanson (National Mfg. Co., EE.UU.) se determinó el tiempo de amasado (min), la estabilidad al amasado (min) y la tolerancia al sobre amasado (mm) usando 35 g de harina refinada con el método 54-40A de la AACC (2005). La fuerza ($W \times 10^{-4}$ J) y la relación de tenacidad/extensibilidad (PL, 0.1-6.0) de la masa se calculó del alveograma, el cual se obtuvo en el Alveógrafo de Chopin (Tripette & Renaud, Francia), usando 50 g de harina refinada con el método 54-30A de la AACC (2005). Mediante las variables alveográficas (W y PL), las masas se catalogan así: 1) con PL se agrupan en balanceado (PL=1.1), extensible (PL<1) y tenaz (PL>1.2); 2) con W se clasifican en masas fuertes mayores de 300×10^{-4} J, masas medias fuertes de 200×10^{-4} J a 300×10^{-4} J, y masas débiles menores de 200×10^{-4} J.

Las proteínas GAPM y GBPM se separaron mediante electroforesis a partir de una muestra de 40 mg de harina integral en geles de 14 % de acrilamida con pH 8.5, aplicando 9 mA por gel durante 17 h, usando dodecilsulfato de sodio como agente desnaturante (Peña *et al.*, 2004). Los loci *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1* que codifican para las GAPM se nombraron con el método descrito por Payne y Lawrence (1983), mientras que las GBPM codificadas por los loci *Glu-A3* y *Glu-B3* se identificaron de acuerdo con Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996) y Branlard *et al.* (2003), y para el locus *Glu-D3* se utilizó la nomenclatura propuesta por Branlard *et al.* (2003).

Análisis de los datos

Para cruces se realizó un análisis de varianza general de las variables, luego se efectuó otro análisis de la fuente de variación genotipos para obtener los cuadrados medios por combinación y locus, y las medias se compararon con la prueba de Tukey

and the experimental unit was four 3 m long fur rows with separation of 30 cm.

Refined flour was obtained using a laboratory mill (Brabender, Quadrumat Sr, C. W. Brabender OHG, Germany) with a sieving through two meshes (diameters 183 μm and 129 μm) in the Laboratory of Industrial Wheat Quality at the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). By the Swanson mixograph (National Mfg. Co., USA) it was determined the kneading time (min), stability to kneading (min) and tolerance to over-kneading (mm) using 35 g of refined flour with the 54-40A method of AACC (2005). The strength ($W \times 10^{-4}$ J) and the tenacity/extensibility relationship (PL, 0.1-6.0) of the dough was calculated from the alveogram, which was obtained in the Chopin Alveograph (Tripette & Renaud, France), using 50 g of refined flour with 54-30A method of AACC (2005). Through alveographic variables (W and PL), dough is categorized as follows: 1) with PL dough is grouped into balanced (PL=1.1), extensible (PL<1) and tenacious (PL>1.2); 2) with W it is classified into strong dough higher than 300×10^{-4} J, medium-strong dough of 200×10^{-4} J to 300×10^{-4} J, and weak dough lower than 200×10^{-4} J.

LMWG and HMWG proteins were separated by electrophoresis from a sample of 40 mg of whole wheat flour in gels of 14 % acrylamide with pH 8.5, using 9 mA per gel for 17 h, using sodium dodecylsulfate as denaturing agent (Peña *et al.*, 2004). *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1* loci encoding the HMWG were named with the method described by Payne and Lawrence (1983), whereas LMWG encoded by loci *Glu-A3* and *Glu-B3* were identified according to Singh *et al.* (1991), Jackson *et al.* (1996) and Branlard *et al.* (2003), and for *Glu-D3* locus the nomenclature proposed by Branlard *et al.* (2003) was used.

Data analysis

For crosses a general analysis of variance was performed on the variables, then another analysis of the source of variation genotypes was carried out to obtain the mean squares by combination and locus, and the means were compared with Tukey's test ($p \leq 0.05$) with the GLM procedure (SAS Institute, 2002) to identify differences between loci.

RESULTS AND DISCUSSION

In the cross Rebeca F2000×Bacanora T88 significant differences were observed for all variables studied between combinations as well as for *Glu-A1* and *Glu-B1* loci (Table 1). This indicates that the allelic variants present at these loci were associated differentially with the strength and extensibility of

($p \leq 0.05$) con el procedimiento GLM (SAS Institute, 2002) para identificar las diferencias entre *loci*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la cruza Rebeca F2000×Bacanora T88 se observaron diferencias significativas para todas las variables estudiadas entre combinaciones así como para los *loci* Glu-A1 y Glu-B1 (Cuadro 1). Lo anterior indica que las variantes alélicas presentes en estos *loci* se asociaron de manera diferencial con la fuerza y la extensibilidad de la masa, lo cual concuerda con lo encontrado por Martínez-Cruz *et al.* (2012).

En la cruza Rebeca F2000×Bacanora T88, los alelos 2* y 7+9 superaron a 1 y 17+18 en tiempo de amasado, estabilidad al amasado y tolerancia al sobre amasado (para tolerancia al sobre amasado valores menores indican mayor fuerza de la masa) (Cuadro 2). Estos resultados concuerdan con los de Jin *et al.* (2013) quienes asociaron al alelo 17+18 con efectos favorables sobre las características de amasado en el mixógrafo. Las cuatro variantes se clasificaron como de masas fuertes por sus valores de $W > 300 \times 10^{-4}$ J. Los alelos 1 y 17+18 favorecieron la extensibilidad debido a su PL menor a uno, mientras que 2* y 7+9 la disminuyeron por su PL de 1.2, pero los cuatro alelos mostraron características de fuerza y extensibilidad apropiadas para la industria de la panificación. Esto concuerda con lo reportado por Wrigley (2003), quien asoció estos cuatro alelos con efectos favorables sobre la fuerza y con altos volúmenes de pan.

the dough, which is consistent with that found by Martínez-Cruz *et al.* (2012).

In the cross Rebeca F2000×Bacanora T88, alleles 2* and 7+9 exceeded 1 and 17+18 in kneading time, stability to kneading and tolerance to over-kneading (for tolerance to over-kneading lower values indicate higher strength of dough) (Table 2). These results agree with those of Jin *et al.* (2013) who associated allele 17+18 with favorable effects on the characteristics of kneading in the mixograph. The four variants were classified as strong dough by its values of $W > 300 \times 10^{-4}$ J. Alleles 1 and 17+18 favored extensibility due to its PL less than one, while 2* and 7+9 reduced it by its PL of 1.2, but the four alleles showed strength and extensibility characteristics appropriate for the baking industry. This is consistent with that reported by Wrigley (2003), who associated these four alleles with favorable effects on strength and high volumes of bread.

In the cross Verano S92×Salamanca S75 significant differences were found between combinations for all variables studied, whereas Glu-A3 alleles did not differentially affect the strength and the tenacity/extensibility relationship (Table 3). Furthermore, the effect of the alleles at Glu-B3 was different except for kneading time, which is consistent with that reported by Ito *et al.* (2011).

From alleles identified in *loci* Glu-A3 and Glu-B3 in the cross Verano S92×Salamanca S75, the allele c exceeded e in its kneading characteristics which is similar to that reported by Hernández *et*

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza por genotipo, combinación y locus de variables de calidad industrial de la masa de líneas derivadas de la cruza Rebeca F2000×Bacanora T88. Roque, Guanajuato. Otoño-invierno de 2008-2009.

Table 1. Mean squares for analysis of variance per genotype, combination and locus of variables of industrial quality of dough of lines derived from the cross Rebeca F2000×Bacanora T88. Roque, Guanajuato. Fall-winter 2008-2009.

FV	GL	TAM	EAM	TSAM	W	PL
Genotipo	7	**	**	**	**	**
Combinación	1	*	**	*	*	**
<i>Glu-A1</i>	1	*	**	*	*	**
<i>Glu-B1</i>	1	*	**	*	*	**
†Error	14	0.06	0.11	5.3	1938.2	0.02

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; GL: grados de libertad; †error del análisis general; TAM: tiempo de amasado; EAM: estabilidad al amasado; TSAM: tolerancia al sobre amasado; W: fuerza general de la masa; PL: tenacidad/extensibilidad * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; GL: degrees of freedom; †error of general analysis; TAM: kneading time; EAM: stability to kneading; TSAM: tolerance to over-kneading; W: general dough strength; PL: tenacity/extensibility.

Cuadro 2. Medias de líneas con alelos de los loci *Glu-A1* y *Glu-B1* de variables de calidad industrial de la masa, derivadas de la cruza Rebeca F2000×Bacanora T88. Roque, Guanajuato. Otoño-invierno de 2008-2009.

Table 2. Means of lines with alleles of the loci *Glu-A1* and *Glu-B1* of variables of industrial quality of dough, derived from crossing Rebeca F2000×Bacanora T88. Roque, Guanajuato. Fall-winter 2008-2009.

Variable	<i>Locus Glu-A1</i>		<i>Locus Glu-B1</i>	
	Alelos		Alelos	
	2*†	1	7+9	17+18
Tiempo de amasado (min)	3.5 a	3.1 b	3.5 a	3.1 b
Estabilidad al amasado (min)	3.7 a	2.8 b	3.7 a	2.8 b
Tolerancia al sobre amasado (mm)	9.3 b	12.6 a	9.3 b	12.6 a
Fuerza de la masa (×10 ⁻⁴ J)	385.6 a	322.2 b	385.6 a	322.2 b
Tenacidad/extensibilidad (0.1 - 6.0)	1.2 a	0.8 b	1.2 a	0.8 b

†Valores medios con diferente letra en un renglón son estadísticamente diferentes (p≤0.05) ❖ †Mean values with different letters in a row are statistically different (p≤0.05).

En la cruza Verano S92×Salamanca S75 se encontraron diferencias significativas entre combinaciones para todas las variables estudiadas, mientras que los alelos de *Glu-A3* no afectaron diferencialmente la fuerza y la relación tenacidad/extensibilidad (Cuadro 3). Además, el efecto de los alelos en *Glu-B3* fue diferente excepto para tiempo de amasado, lo cual concuerda con lo reportado por Ito *et al.* (2011).

De los alelos identificados en los loci *Glu-A3* y *Glu-B3* en la cruza Verano S92×Salamanca S75, el alelo c superó a e en sus características de amasado, lo cual es similar a lo reportado por Hernández *et al.*

(2012), who associated allele *Glu-A3* with short times of kneading in the mixograph. The variants g and h of *Glu-B3* showed kneading characteristics similar, except for stability to the kneading where the g allele exceeded h, which is consistent with Zhang *et al.* (2012), who associated the g allele with higher values of sedimentation volume and bread volume. Based on the strength of the dough the four alleles were associated with medium-strong gluten for its $W > 200 \times 10^{-4}$ J and favored the dough extensibility by its PL values lower than unity (Table 4).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza por genotipo, combinación y locus de variables de calidad industrial de la masa, de líneas derivadas de la cruza Verano S92×Salamanca S75. Roque, Guanajuato. Otoño-invierno de 2008-2009.

Table 3. Mean squares of the analysis of variance per genotype, combination and locus of variables of industrial quality of the dough, lines derived from crossing Verano S92×Salamanca S75. Roque, Guanajuato. Fall-winter 2008-2009.

FV	GL	TAM	EAM	TSAM	W	PL
Genotipo	23	**	**	**	**	**
Combinación	3	**	**	**	**	**
<i>Glu-A3</i>	1	**	**	**	ns	ns
<i>Glu-B3</i>	1	ns	**	**	*	**
†Error	46	0.018	0.048	2.1	931.4	0.031

*p≤0.05; **p≤0.01; ns: no significativo; GL: grados de libertad; †error del análisis general; TAM: tiempo de amasado; EAM: estabilidad al amasado; TSAM: tolerancia al sobre amasado; W: fuerza general de la masa; PL: tenacidad/extensibilidad ❖ *p≤0.05; **p≤0.01; ns: not significant; GL: degrees of freedom; †error of general analysis; TAM: kneading time; EAM: stability to kneading; TSAM: tolerance to over-kneading; W: general dough strength; PL: tenacity/extensibility.

(2012), quienes asociaron al alelo Glu-A3 con tiempos cortos de amasado en el mixógrafo. Las variantes g y h de Glu-B3 mostraron características de amasado similares, excepto para estabilidad al amasado donde el alelo g superó a h, lo que concuerda con Zhang *et al.* (2012), quienes asociaron al alelo g con valores más altos de volumen de sedimentación y volumen de pan. Con base en la fuerza de la masa los cuatro alelos se asociaron con gluten medio fuerte por su $W > 200 \times 10^{-4} \text{ J}$ y favorecieron la extensibilidad de la masa por sus valores de PL menores a la unidad (Cuadro 4).

Hubo diferencias significativas entre combinaciones derivadas de la crucea Gálvez M87 × Verano S92 para las variables estudiadas, excepto para la relación tenacidad/extensibilidad. Los alelos del locus Glu-A3 afectaron diferencialmente todas las variables estudiadas, aunque las variantes de Glu-A1 y Glu-D3 no mostraron efectos distintos sobre la fuerza de la masa y la relación tenacidad/extensibilidad (Cuadro 5), pero sí para las variables de amasado, lo cual concuerda con lo reportado por Li *et al.* (2010).

En la crucea Gálvez M87 × Verano S92 los alelos 2*, b y c superaron en tiempo de amasado, estabilidad al masado y tolerancia al sobre amasado a su contraparte 1, e y b. Con base en sus valores de fuerza de la masa y la relación tenacidad/extensibilidad, las variantes 1 y 2* de Glu-A1, así como b y c de Glu-D3 se caracterizaron por presentar valores similares. Numéricamente los alelos 2* y c se clasificaron por su $W > 200 \times 10^{-4} \text{ J}$ como de gluten medio fuerte,

There were significant differences between combinations derived from the Gálvez M87 × Verano S92 cross for the studied variables, except for the tenacity/extensibility relationship. The alleles of the Glu-A3 locus differentially affected all variables studied, although variants of Glu-A1 and Glu-D3 did not show different effects on dough strength and the tenacity/extensibility relationship (Table 5), but they did it for kneading variables, which is consistent with that reported by Li *et al.* (2010).

In the Gálvez M87 × Verano S92 cross alleles 2*, b and c exceeded in kneading time, stability to kneading and tolerance to over-kneading to its counterpart 1, e and b. Based on their values of dough strength and the tenacity/extensibility relationship, the variants 1 and 2* of Glu-A1, as well as b and c of Glu-D3 were characterized by presenting similar values. Numerically 2* and c alleles were classified by their $W > 200 \times 10^{-4} \text{ J}$ as medium-strong gluten, whereas 1 and b were associated with weak gluten for its $W < 200 \times 10^{-4} \text{ J}$ (Table 6). These results are similar to those reported by Martínez-Cruz *et al.* (2011) who associated the b allele of Glu-D3 with strong dough. In the Glu-A3 locus allele b was classified as medium-strong gluten therefore it exceeded variant e, which was associated with weak dough, confirming the report of Zhang *et al.* (2012), and Hernández *et al.* (2012) who associated the allele e of Glu-3 with lower strength of the dough. Based on its medium-strong gluten and favorable extensibility, variants 2*, b and c can be used to promote bread quality, whereas alleles

Cuadro 4. Medias de líneas con alelos de los loci Glu-A3 y Glu-B3 de variables de calidad industrial de la masa derivadas de la crucea Verano S92 × Salamanca S75. Roque, Guanajuato. Otoño-invierno de 2008-2009.

Table 4. Mean of lines with alleles of the loci Glu-A3 and Glu-B3 of variables of industrial quality of dough, derived from crossing Verano S92 × Salamanca S75. Roque, Guanajuato. Fall-winter 2008-2009.

Variable	Locus Glu-A3		Locus Glu-B3	
	Alelos		Alelos	
	c	e	g	h
Tiempo de amasado (min)	1.9 a [†]	1.6 b	1.8 a	1.7 a
Estabilidad al amasado (min)	2.8 a	2.3 b	2.7 a	2.3 b
Tolerancia al sobre amasado (mm)	10.6 a	12.6 b	10.6 a	12.8 b
Fuerza de la masa ($\times 10^{-4} \text{ J}$)	245.0 a	225.2 a	249.1 a	218.5 b
Tenacidad/extensibilidad (0.1 – 6.0)	0.7 a	0.8 a	0.8 a	0.6 b

[†]Valores medios con diferente letra en un renglón son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$) ❖ [†]Mean values with different letters in a row are statistically different ($p \leq 0.05$).

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de varianza por genotipo, combinación y locus de variables de calidad industrial de la masa de líneas derivadas de la cruza Galvez M87×Verano S92. Roque, Guanajuato. Otoño-invierno de 2008-2009.

Table 5. Mean squares of the analysis of variance per genotype, combination and locus of variables of industrial quality of the dough, lines derived from crossing Galvez M87×Verano S92. Roque, Guanajuato. Fall-winter 2008-2009.

FV	GL	TAM	EAM	TSAM	W	PL
Genotipo	8	**	**	**	**	*
Combinación	3	**	**	**	**	ns
<i>Glu-A1</i>	1	**	**	**	ns	ns
<i>Glu-A3</i>	1	*	**	**	**	**
<i>Glu-D3</i>	1	**	**	**	ns	ns
†Error	16	0.02	0.08	2.1	2248.8	0.02

*p≤0.05; **p≤0.01; ns: no significativo; GL: grados de libertad; †error del análisis general; TAM: tiempo de amasado; EAM: estabilidad al amasado; TSAM: tolerancia al sobre amasado; W: fuerza general de la masa; PL: tenacidad/extensibilidad ❖ *p≤0.05; **p≤0.01; ns: not significant; GL: degrees of freedom; †error of general analysis; TAM: kneading time; EAM: stability to kneading; TSAM: tolerance to over-kneading; W: general dough strength; PL: tenacity/extensibility.

mientras que 1 y b se asociaron a gluten débil por su $W < 200 \times 10^{-4} J$ (Cuadro 6). Estos resultados son similares a los reportados por Martínez-Cruz *et al.* (2011) quienes asociaron el alelo b de *Glu-D3* con masas fuertes. En el locus *Glu-A3* el alelo b se clasificó como de gluten medio fuerte por lo que superó a la variante e, la cual se asoció con masas débiles, corroborando el reporte de Zhang *et al.* (2012), y Hernández *et al.* (2012) quienes asociaron al alelo e

1, e and b due to their weak and extensible gluten are appropriate for the manufacture of cookies.

Alleles 1 and 2* of *Glu-A1* identified in the crosses Rebeca F2000×Bacanora T88 and Gálvez M87×Verano S92 were associated with different values of dough strength (Table 2 and Table 6), which may be due to the use of different parents as well as the presence of various gliadins, which were not identified in this study.

Cuadro 6. Medias de líneas con alelos de los loci *Glu-A1*, *Glu-A3* y *Glu-D3* de variables de calidad industrial de la masa, derivadas de Galvez M87×Verano S92. Roque, Guanajuato. Otoño-invierno de 2008-2009.

Table 6. Means of lines with alleles of the loci *Glu-A1*, *Glu-A3* and *Glu-D3* of variables of industrial quality of dough, derived from Galvez M87×Verano S92. Roque, Guanajuato. Fall-winter 2008-2009.

Variable	<i>Locus Glu-A1</i>		<i>Locus Glu-A3</i>		<i>Locus Glu-D3</i>	
	Alelos		Alelos		Alelos	
	1	2*	b	e	b	c
TAM (min)	1.5 a [†]	1.9 b	1.8 a	1.5 b	1.5 a	1.9 b
EAM (min)	2.0 b	2.9 a	2.7 a	1.9 b	2.0 b	2.9 a
TSAM (mm)	13.8 a	9.9 b	10.8 b	13.7 a	13.8 a	9.9 b
W ($\times 10^{-4} J$)	190.2 a	225.6 a	242.4 a	160.3 b	190.2 a	225.6 a
PL (0.1-6.0)	0.5 a	0.5 a	0.5 a	0.6 a	0.5 a	0.5 a

† Valores medios con diferente letra en un renglón son estadísticamente diferentes (p≤0.05). TAM: tiempo de amasado; EAM: estabilidad al amasado; TSAM: tolerancia al sobre amasado, W: fuerza general de la masa; PL: tenacidad/extensibilidad ❖ †Mean values with different letter in a row are statistically different (p≤0.05). TAM: kneading time; EAM: stability to kneading; TSAM: tolerance to over-kneading; W: general dough strength; PL: tenacity/extensibility.

de Glu-A3 con menor fuerza de la masa. Con base en su gluten medio fuerte y extensibilidad favorable las variantes 2*, b y c pueden usarse para favorecer la calidad panadera, mientras que los alelos 1, e y b por su gluten débil y extensible son apropiados para la elaboración de productos de galletería.

Los alelos 1 y 2* del Glu-A1 identificados en los cruzamientos Rebeca F2000×Bacanora T88 y Gálvez M87×Verano S92 se asociaron a valores diferentes de fuerza de la masa (Cuadro 2 y Cuadro 6), lo cual puede deberse al uso de distintos progenitores así como a la presencia de diversas gliadinas, las cuales no fueron identificadas en este estudio.

CONCLUSIONES

Las variantes alélicas de los *loci* Glu-A1, Glu-B1, Glu-A3, Glu-B3 y Glu-D3 afectaron en forma diferente las características de calidad industrial de la masa. Las variantes alélicas 1 y 2* de Glu-A1; 7+8 y 17+18 de Glu-B1; g, h y b de Glu-B3; y c de Glu-D3, favorecieron la fuerza y extensibilidad de la masa por lo cual deben ser parte de las combinaciones de gluteninas para el mejoramiento genético de la calidad panadera en México. Y las variantes e de Glu-A3 y b de Glu-D3 podrían usarse para mejorar la calidad galletera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT (Proyecto: 146788) el financiamiento para la publicación de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- AACC. 2005. Approved Methods of the AACC. 9th 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.
- D'Ovidio, R., and S. Masci. 2004. The low-molecular-weight glutenin subunits of wheat gluten. *J. Cereal Sci.* 39: 321-339.
- Hernández, Z. J. E., J. D. C. Figueroa, P. Rayas-Duarte, H. E. Martínez-Flores, G. V. Arámbula, G. B. Luna, and R. J. Peña. 2012. Influence of high and low molecular weight glutenins on stress relaxation of wheat kernels and the relation to sedimentation and rheological properties. *J. Cereal Sci.* 55(3): 344-350.
- Ito, M., S. Fushie, W. Maruyama-Funatsuki, T. M. Ikeda, Z. Nishio, K. Nagasawa, T. Tabiki, and H. Yamauchi. 2011. Effect of allelic variation in three glutenin loci on dough

CONCLUSIONS

The allelic variants of the *loci* Glu-A1, Glu-B1, Glu-A3, Glu-B3 and Glu-D3 affected differently the characteristics of industrial quality of the dough. Allelic variants 1 and 2* of Glu-A1; 7+8 and 17+18 of Glu-B1; g, h and b of Glu-B3; and c of Glu-D3 favored dough strength and extensibility so that they should be part of the glutenin combinations for genetic improvement of bread-making quality in Mexico. And the variants e of Glu-A3 and b of Glu-D3 could be used to improve the cookie quality.

—End of the English version—



- properties and bread-making qualities of winter wheat. *Breed. Sci.* 61: 281-287.
- Jackson, E. A., M. H. Morel, T. Sontag-Strohm, G. Branlard, E. V. Metakovsky, and R. Redaelli. 1996. Proposal for combining the classification systems of alleles of *Glu-1* and *Glu-3* loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Genet. Breed.* 50: 321-336.
- Jin, H., Y. Zhang, G. Li, P. Mu, Z. Fan, X. Xia, and Z. He. 2013. Effects of allelic variation of HMW-GS and LMW-GS on mixograph properties and Chinese noodle and steamed bread qualities in a set of Aroona near-isogenic wheat lines. *J. Cereal Sci.* 57(1): 146-152.
- Li, Y., R. Zhou, G. Branlard, and J. Jia. 2010. Development of introgression lines with 18 alleles of glutenin subunits and evaluation of the effects of various alleles on quality related traits in wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Cereal Sci.* 51(1): 127-133.
- Martínez-Cruz, E., E. Espitia-Rangel, H. E. Villaseñor-Mir, J. D. Molina-Galán, I. Benítez-Riquelme, A. Santacruz-Varela, and R. J. Peña-Bautista. 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.
- Martínez-Cruz, E., E. Espitia-Rangel, H. E. Villaseñor-Mir, J. D. Molina-Galán, I. Benítez-Riquelme, A. Santacruz-Varela, and R. J. Peña-Bautista. 2011. Dough rheology of wheat recombinant lines in relation to allelic variants of Glu-1 and Glu-3 loci. *Cereal Res. Commun.* 39(3): 386-393.
- Martínez-Cruz E., E. Espitia-Rangel, H. E. Villaseñor-Mir, y R. J. Peña-Bautista. 2012. Contribución de los loci Glu-B1, Glu-D1 y Glu-B3 a la calidad de la masa del trigo harinero. *Rev. Fitotec. Mex.* 35 (2): 135-142.
- Park, S. H., S. R. Bean, O. K. Chung, and P. A. Seib. 2006. Levels of Protein and Protein composition in hard winter wheat flours and the relationship to breadmaking. *Cereal Chem.* 83(4): 418-423.
- 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, B. R. J., H. S. González, 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). Proceedings of the 8th International Gluten Workshop.* Viterbo, Italy. pp: 156-157.
- 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.
- Sissons, M. 2008. Role of durum wheat composition on the quality of pasta and bread. *Food 2:* 75-90.
- Triboi E., A. Abad, A. Michelena, J. Lloveras, J. L. Ollier, and C. Daniel. 2000. Environmental effects on the quality of two wheat genotypes: I. Quantitative and qualitative variation of storage proteins. *Eur. J. Agron.* 13: 47-64.
- Wrigley, C. 2003. Using marker proteins to predict dough quality. *Cereal Foods World* 48: 260-262.
- Zhang, X., H. Jin, Y. Zhang, D. Liu, G. Li, X. Xia, Z. He, and A. Zhang. 2012. Composition and functional analysis of low-molecular-weight glutenin alleles with Aroona near-isogenic lines of bread wheat. *BMC Plant Biol.* 12: 1-16.