

EFFECTO DE DIFERENTES ALELOS DE GLUTENINAS DE ALTO PESO MOLECULAR SOBRE LAS PROPIEDADES VISCOELÁSTICAS DE LA MASA DE TRIGOS HARINEROS

EFFECT OF DIFFERENT HIGH MOLECULAR WEIGHT GLUTENIN ALLELES ON THE VISCOELASTIC PROPERTIES OF BREAD WHEAT DOUGH

Micaela de la O-Olán¹, Eduardo Espitia-Rangel², José D. Molina-Galán¹, Roberto J. Peña-Bautista³,
Amalio Santacruz-Varela¹, Héctor E. Villaseñor-Mir²

¹Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México (micad@colpos.mx). ²Programa de Trigo. Campo Experimental Valle de México, INIFAP. 56230 Chapingo, Estado de México (espitia.eduardo@inifap.gob.mx). ³Programa de Trigo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apartado Postal 6-641. 06600. México, Distrito Federal.

RESUMEN

La calidad de industrialización del trigo (*Triticum aestivum* L.) esta íntimamente relacionada con la cantidad y la calidad de proteínas; esta última depende de la presencia de diferentes alelos de gluteninas de alto peso molecular. Para determinar el efecto de diferentes alelos de gluteninas de alto peso molecular sobre las propiedades viscoelásticas de la masa, se probó un grupo de 69 líneas derivadas de la cruce Rebeca F2000 por Salamanca S75 por descendencia de una sola semilla de F₂ a F₆, junto con las variedades parentales. Las líneas se sembraron en Roque, Estado de Guanajuato, México. (Otoño-Invierno 2003-2004) con riego normal (cinco riegos) y restringido (tres riegos). El diseño experimental fue de bloques completos al azar y las medias se compararon con Tukey ($p \leq 0.05$). Se evaluaron las propiedades viscoelásticas de la masa mediante las variables tiempo de amasado (min), tipo mixográfico, alveograma-W, alveograma-P/L y alveograma-P/G. Las combinaciones 1-17+18-5+10, 2*-7+8-5+10 y 1-7+8-5+10 presentaron las mejores propiedades viscoelásticas de la harina. En el genoma A, la subunidad 1 se caracterizó por inducir mayor tiempo de amasado y tipo mixográfico. En el genoma B las subunidades 17+18 y 7+8 tuvieron efecto positivo en las propiedades viscoelásticas de la masa. En el genoma D, la subunidad 5+10 estuvo asociada con un efecto positivo sobre las propiedades viscoelásticas, mientras que la subunidad 2+12 se asoció con un efecto negativo. Al comparar las combinaciones se encontró que el efecto de sustituir 5+10 por 2+12 fue muy marcado, ya que donde se presentó el alelo 5+10 se tuvieron valores altos de alveograma-W, alveograma-P/L y alveograma-P/G, los cuales aumentaron la fuerza y la tenacidad, mientras que disminuyó la extensibilidad de la masa. En contraste, cuando se presentó la subunidad 2+12 se perdió fuerza, pero aumentó extensibilidad, debido tal vez a un efecto pleiotrópico de los genes que controlan las subunidades 5+10 y 2+12.

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum* L.) industrialization quality is intimately related to the quantity and quality of proteins; this depends on the presence of different alleles of glutenin of high molecular weight. To determine the effect of different high molecular weight glutenin alleles on the viscoelastic properties of bread wheat dough, tests were made on a group of 69 lines derived from the cross Rebeca F2000 by Salamanca S75 by single seed descent from F₂ to F₆, along with the parental varieties. The lines were sown in Roque, State of Guanajuato, México (Fall-Winter 2003-2004) with normal irrigation (five irrigations) and restricted irrigation (three irrigations). The experimental design was randomized complete blocks, and the means were compared with Tukey ($p \leq 0.05$). The viscoelastic properties of the dough were evaluated with the variables kneading time (min), mixographic type, alveogram-W, alveogram-P/L and alveogram-P/G. The combinations 1-17+18-5+10, 2*-7+8-5+10 and 1-7+8-5+10 presented the best viscoelastic properties of the flour. In genome A, subunit 1 was characterized by inducing greater kneading time and mixographic type. In genome B, subunits 17+18 and 7+8 had a positive effect on the viscoelastic properties of the dough. In genome D, subunit 5+10 was associated with a positive effect on the viscoelastic properties, while subunit 2+12 was associated with a negative effect. When comparing the combinations, it was found that the effect of substituting 5+10 with 2+12 was very marked, given that where the allele 5+10 appeared, high values were found for alveogram-W, alveogram-P/L and alveogram-P/G, which increased the strength and tenacity, whereas the extensibility of the dough was reduced. In contrast, when subunit 2+12 appeared, strength was reduced, but extensibility increased, perhaps due to a pleiotropic effect of the genes that control subunits 5+10 and 2+12.

Recibido: Julio, 2005. Aprobado: Abril, 2006.
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 40: 461-469. 2006.

Key words: *Triticum aestivum* L., wheat quality, high molecular weight glutenins, viscoelastic properties.

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., calidad de trigo, gluteninas de alto peso molecular, propiedades viscoelásticas.

INTRODUCCIÓN

México es un país importador de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) debido a que la superficie de riego se ha reducido drásticamente por la escasez de agua y por la reconversión de ésta hacia cultivos más rentables (hortalizas); además, los productores enfrentan problemas para comercializar el grano porque la industria molinera prefiere importar trigo del mercado internacional arguyendo que los trigos mexicanos no poseen la calidad de panificación requerida (Espitia *et al.*, 2004). Los productores buscan variedades que satisfagan sus necesidades de producción y los requerimientos de calidad del mercado. La composición de la proteína del endospermo (gluten), que determina las diferencias en la calidad de panificación entre variedades de trigo, puede modificarse mediante el fitomejoramiento (Peña *et al.*, 2002). Las gluteninas y gliadinas son proteínas del trigo que forman el gluten, y determinan la calidad de panificación; las gluteninas de alto peso molecular (APM) son importantes, ya que ejercen mayor influencia sobre la fuerza del gluten. Las subunidades de gluteninas de APM son codificadas por genes en tres loci genéticamente diferentes, *Glu-A1*, *Glu-B1* y *Glu-D1*, localizados en los cromosomas 1A, 1B y 1D. Los alelos de las subunidades de gluteninas se pueden distinguir fácilmente a través de electroforesis en poliacrilamida SDS-PAGE (Peña, 2002).

La función de las gluteninas dentro del gluten depende de su peso molecular; las de APM contribuyen a la elasticidad del gluten (Payne *et al.*, 1981) y las de bajo peso molecular (BPM) tienen mayor efecto en la extensibilidad (Gupta *et al.*, 1989). Payne *et al.* (1981), al analizar cruces de progenies entre variedades de trigo común demostraron la variación alélica del locus *Glu-D1*, donde identificaron que la subunidad 5+10 está asociada con una buena calidad, mientras que la 2+12 está asociada con una mala calidad de la masa. Branlard y Dardevet (1985) encontraron que la fuerza y la tenacidad del gluten están relacionados positivamente con las subunidades 7+9 y 5+10, y negativamente con la 2+12, mientras que la subunidad 1 tiene un efecto positivo para fuerza y las subunidades 2* y 17+18 con extensibilidad. Entre las gluteninas que tienen un efecto conocido sobre las características de la fuerza del gluten se encuentran las subunidades 1, 2*, 7+8, 7+9, 13+16, 17+18 y 5+10, con efecto positivo; las subunidades 7+9 y 2+12, con efecto intermedio; y las subunidades 0, 7, 20, 13+19, 3+12 y 4+12 con efecto negativo (Pogna *et al.*, 1992).

INTRODUCTION

México is a country that imports bread wheat (*Triticum aestivum* L.), due to the fact that the irrigated surface has been drastically reduced by the scarcity of water and the reconversion towards more profitable crops (vegetables); furthermore, the growers face problems in the commercialization of the grain, as the milling industry prefers to import wheat from the international market, arguing that the Mexican wheats do not possess the required quality for bread-making (Espitia *et al.*, 2004). The producers seek varieties that satisfy their production needs and the quality requirements of the market. The composition of the protein of the endosperm (gluten), which determines the differences in quality of bread-making among varieties of wheat, can be modified through plant breeding (Peña *et al.*, 2002). The glutenins and gliadins are wheat proteins that form the gluten, and determine the bread-making quality; the high molecular weight (HMW) glutenins are important, as they exert greater influence on the strength of the gluten. The subunits of high molecular weight glutenins are codified by genes in three genetically different loci, *Glu-A1*, *Glu-B1* and *Glu-D1*, located in chromosomes 1A, 1B and 1D. The alleles of the glutenin subunits can be easily distinguished through electrophoresis in polyacrylamid SDS-PAGE (Peña, 2002).

The function of the glutenins within the gluten depends on its molecular weight; those of HMW contribute to the elasticity of the gluten (Payne *et al.*, 1981) and those of low molecular weight (LMW) have a greater effect on extensibility (Gupta *et al.*, 1989). Payne *et al.* (1981), when analyzing crosses of descendents among common wheat varieties, demonstrated the allelic variation of the locus *Glu-D1*, where they identified that subunit 5+10 is associated with good quality, whereas 2+12 is associated with poor dough quality. Branlard and Dardevet (1985) found that the strength and tenacity of the gluten are positively related with subunits 7+9 and 5+10, and negatively with 2+12, while subunit 1 has a positive effect on strength, and subunits 2* and 17+18 on extensibility. Among the glutenins that have a known effect on the strength characteristics of gluten are 1, 2*, 7+8, 7+9, 13+16, 17+18 and 5+10, with a positive effect; subunits 7+9 and 2+12 with an intermediate effect; and subunits 0, 7, 20, 13+19, 3+12 and 4+12 with a negative effect (Pogna *et al.*, 1992).

In an improved cultivar it is indispensable for at least one of the progenitors to possess the desired characteristic, and that it be genetically recombinant. Therefore, the purpose of the present study was to determine the effect of different high molecular

En una variedad mejorada es indispensable que al menos uno de los progenitores posea la característica deseable, y que ésta sea genéticamente recombinable. Por tanto, el propósito del presente estudio fue determinar el efecto de diferentes alelos de gluteninas de alto peso molecular sobre las propiedades viscoelásticas de la masa de un grupo de líneas derivadas de la cruce entre los trigos mexicanos Rebeca F2000 y Salamanca S75.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones experimentales

Se utilizaron las variedades de trigo harinero Rebeca F2000 y Salamanca S75, y un grupo de 69 líneas desarrolladas por descendencia de una sola semilla de F_2 a F_6 a partir de la cruce entre las dos variedades. Los 71 genotipos se sembraron en el Campo Experimental del Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Roque, Estado de Guanajuato, México, en el ciclo Otoño-Invierno/2003-2004. El cultivo se desarrolló con riego restringido (tres riegos) o normal (cinco riegos). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de tres metros de longitud con una separación de 30 cm entre ellos.

Características de los progenitores

Las subunidades de gluteninas de APM en REBECA F 2000 están en *Glu-A1* 1, *Glu-B1* 17+18 y *Glu-D1* 5+10, mientras que en SALAMANCA S-75 están en *Glu-A1* 2*, *Glu-B1* 7+8 y *Glu-D1* 2+12 (Villaseñor y Espitia, 2000).

Análisis de laboratorio

Los análisis para las variables de calidad se efectuaron en el Laboratorio de Calidad de Trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Las muestras de grano se molieron en un molino Brabender Quadramat para obtener harina refinada. En el análisis de las propiedades viscoelásticas de la masa se incluyeron cinco variables: tiempo de amasado, tipo mixográfico, alveograma-W, alveograma-P/L y alveograma-P/G. La variable tiempo de amasado (min) se determinó usando el mixógrafo de Swanson (National Manufacturing Co., Lincoln, NE), y se calculó por el método 54-40A de la AACC (1995); a mayor tiempo de amasado mayor fuerza de gluten y viceversa. Con datos obtenidos de la curva producida por la masa en el mixógrafo, se calculó el tipo mixográfico, que clasifica los trigos de acuerdo al tipo de gluten en una escala de 1 a 6: 1 corresponde a trigos de gluten débil con tiempos cortos de amasado y baja resistencia al amasado mecánico, mientras que 6 corresponde a trigos de gluten fuerte con tiempos largos de amasado y resistencia extrema al amasado mecánico. Las variables alveográficas

weight glutenin alleles on the viscoelastic properties of the dough of a group of lines derived from the cross among the Mexican wheats Rebeca F2000 and Salamanca S75.

MATERIALS AND METHODS

Plant material and experimental conditions

The bread wheat varieties Rebeca F2000 and Salamanca S75 were used, and a group of 69 lines developed through single seed descent from F_2 to F_6 from the cross between the two varieties. The 71 genotypes were sown in the Campo Experimental del Bajío (CEBAJ) of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), in Roque, State of Guanajuato, México, in the Fall-Winter cycle 2003/2004. The crop was developed with restricted irrigation (three irrigations) or normal irrigation (five irrigations). An experimental design of complete randomized blocks was used, with two replicates. The experimental unit consisted of four rows of three meters in length with a separation of 30 cm between each row.

Characteristics of the progenitors

The subunits of glutenins of HMW in REBECA F-200 are in *Glu-B1* 17+18 and *Glu-D1* 5+10, while in SALAMANCA S-75, they are in *Glu-A1* 2*, *Glu-B1* 7+8 and *Glu-D1* 2+12 (Villaseñor and Espitia, 2000).

Laboratory analysis

The analyses for the quality variables were carried out in the Laboratorio de Calidad de Trigo of the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). The grain samples were ground in a Brabender Quadramat mill to obtain refined flour. In the analysis of the viscoelastic properties of the dough, five variables were included: kneading time, mixographic type, alveogram-W, alveogram-P/L and alveogram-P/G. The variable kneading time (min) was determined using the Swanson mixograph (National Manufacturing Co., Lincoln, NE), and was calculated by the 54-40A method of the AACC (1995); the longer the kneading time, the greater the gluten strength, and viceversa. With data obtained from the curve produced by the dough in the mixograph, the mixographic type was calculated, which classifies the wheat according to the type of gluten in a scale from 1 to 6: 1 corresponds to wheats of weak gluten with short kneading times and low resistance to mechanical kneading, whereas 6 corresponds to wheats of strong gluten with long kneading times and extreme resistance to mechanical kneading. The alveographic variables W, P/L and P/G were obtained by introducing a sample of 50 g of dough in the Copin Alveograph (Trippette and Renaud, París, France) and using the method 54-30A of the AACC (1995). The variable alveogram-W measures the strength of the dough (10^{-4} J): values under 200 correspond to wheats of weak gluten; values between

W, P/L y P/G se obtuvieron introduciendo una muestra de 50 g de masa en el Alveógrafo de Chopin (Trippette y Renaud, París, Francia) y usando el método 54-30A de la AACC (1995). La variable alveograma-W mide la fuerza de la masa (10^{-4} J): valores menores a 200 corresponden a trigos de gluten débil; valores entre 200 y 300 corresponden a trigos de gluten medio fuerte; y valores mayores a 300 caracterizan a trigos de gluten fuerte. La variable alveograma-P/L es la relación entre la altura y la longitud del alveograma y se determinó mediante una escala adimensional de 0.1 a 6, donde la mayor extensibilidad corresponde a los valores menores. La variable alveograma-P/G es una relación entre la altura y el índice de expansión (tenacidad/extensibilidad) y se midió usando una escala adimensional de 1.5 a 14, donde una mayor extensibilidad corresponde a valores menores.

Las gluteninas de APM se identificaron por electroforesis en gel SDS-Poliacrilamida (SDS-PAGE). Para extraer las proteínas se colocaron 40 g de harina integral en un tubo Eppendorf durante 20 min a 20-22 °C, con 600 μ L de solución amortiguadora HCl 62.5 mM (pH 6.8) conteniendo 12% (p/v) glicerol, 2% (p/v) dodecil sulfato sódico, 0.003% (p/v) azul de bromofenol y 5% 2-mercaptoetanol. Después, las muestras se centrifugaron 5 min a 10 000 rpm (aproximadamente 8000 \times g). Se utilizaron 4 μ L de extracto de proteína para la separación sobre un gel de 18 cm de acrilamida al 10%. Para el corrimiento electroforético se utilizaron 11 mA por 16.5 h a 15 °C. Para revelar las bandas de proteína los geles estuvieron 8 h en solución de tinción conteniendo solución acuosa de 0.13% cumasina azul brillante R250, alcohol butílico y ácido acético (53:40:7 v/v). La destinción del gel se hizo con agua durante la noche. Las subunidades de APM se identificaron con la nomenclatura de Payne *et al.* (1984), y como referencia, el patrón de bandedo de las variedades Chinese Spring, Opata, Pitic y Pavón.

Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza para las variables estudiadas; la fuente de variación genotipos se agrupó, y se realizó por separado el análisis de varianza para combinaciones Genoma A, Genoma B y Genoma D. Se usó el procedimiento GLM (SAS, 1994) y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza por condición de riego, genotipos, combinación de gluteninas de APM y por genoma (A, B y D). Hubo diferencias altamente significativas en todas las variables para condiciones de riego, lo que indica que la humedad disponible durante el desarrollo del cultivo influyó en las propiedades viscoelásticas de la masa. Este resultado concuerda con Espitia *et al.* (2003), quienes encontraron que las variables de calidad están influenciadas principalmente por efectos ambientales.

200 and 300 correspond to wheats of medium strength gluten; and values over 300 characterize wheats of strong gluten. The variable alveogram-P/L is the relationship between the height and the length of the alveogram, and was determined by an adimensional scale of 0.1 to 6, where the greater extensibility corresponds to the lower values. The variable alveogram-P/G is a relationship between the height and the expansion index (tenacity/extensibility) and was measured using an adimensional scale of 1.5 to 14, where a greater extensibility corresponds to lower values.

The glutenins of HMW were identified through electrophoresis in gel SDS-Polyacrylamide (SDS-PAGE). To extract the proteins, 40 g of whole wheat flour were placed in an Eppendorf tube during 20 min at 20-22 °C, with 600 μ L of buffer solution HCl 62.5 mM (pH 6.8) containing 12% (p/v) glycerol, 2% (w/v) sodium dodecil sulfate, 0.003% (w/v) bromophenol blue and 5% 2-mercaptoethanol. Next, the samples were centrifuged for 5 min at 10 000 rpm (approximately 8000 \times g). Four μ L of protein extract were used for the separation on a gel of 18 cm of acrylamide at 10%. For the electrophoresis, 11 mA were used for 16.5 h at 15 °C. To reveal the protein bands, the gels were 8 h in a stained solution containing an aqueous solution of 0.13% bright blue cumasine R250, butylic alcohol and acetic acid (53:40:7 v/v). The gel was de-stained with water during the night. The subunits of HMW were identified with the nomenclature of Payne *et al.* (1984), and as reference, the band pattern of the varieties Chinese Spring, Opata, Pitic and Pavón.

Statistical analysis

Analyses of variance were carried out for the variables studied; the genotypes source of variation was grouped, and an analysis of variance was made separately for combinations Genome A, Genome B and Genome D. The GLM procedure (SAS, 1994) was used, and the means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 shows the mean squares of the variance analysis by irrigation condition, genotypes, combination of glutenins of HMW and by genome (A, B and D). There were highly significant differences in all of the variables for irrigation conditions, which indicates that the moisture available during crop development influenced the viscoelastic properties of the dough. This result coincides with Espitia *et al.* (2003), who found that the variables of quality are mainly influenced by environmental effects.

For genotypes and the different combinations of HMW glutenins, the differences were highly significant for all of the variables. This indicates that the different alleles of glutenin in the lines exert a differential effect on the variables of the viscoelastic properties of the dough. For genome A, there were highly significant differences in the variables kneading time and

Cuadro 1. Cuadros medios del análisis de varianza de propiedades viscoelásticas de la masa de trigos harineros. Roque, Guanajuato, México. O-I/2003-2004.**Table 1. Mean squares of the analysis of variance of viscoelastic properties of bread wheat doughs. Roque, Guanajuato, México. F-W/2003-2004.**

Fuente de variación	gl	Tiempo de amasado	Tipo de mixograma	Alveograma-W	Alveograma-P/L	Alveograma-P/G
Riego	1	19.07 †	38.45 †	251764.0 †	3.94 †	53.02 †
Rep (Riego)	2	0.046	0.127	1214.0	0.1436	0.598
Genotipos	70	1.68 †	3.71 †	26458.0 †	0.949 †	10.32 †
Riego*Genotipos	70	0.17 ns	0.40 †	1955.8 ns	0.060 ns	0.63 ns
Combinación	7	7.49 †	13.08 †	126039.0 †	3.62 †	42.58 †
Genoma A	1	3.90 †	5.90 †	15126.0 ns	0.622 ns	6.64 ns
Genoma B	1	1.16 ns	4.00 ns	52160.0 †	0.713 ns	11.63 ns
Genoma D	1	36.43 †	49.08 †	639927.0 †	23.84 †	275.19 †
§Error	140	0.13	0.22	1771	0.07	0.62

†, †, ns: Diferencias significativas, altamente significativas y no significativas; gl: grados de libertad; §: Error del análisis general ($p \leq 0.05$).

Para genotipos y las diferentes combinaciones de gluteninas de APM, las diferencias fueron altamente significativas para todas las variables. Esto indica que los diferentes alelos de gluteninas en las líneas ejercen un efecto diferencial en las variables de las propiedades viscoelásticas de la masa. Para el genoma A hubo diferencias altamente significativas en las variables tiempo de amasado y tipo mixográfico, lo que significa que los dos alelos estudiados en dicho genoma expresan un efecto diferente sobre dichas variables, pero no en las variables alveográficas W, P/G y P/L. En el genoma B hubo diferencias significativas para la variable Alveograma-W; es decir, existe un efecto diferencial de los alelos 17+18 y 7+8 del genoma B. Para el genoma D hubo diferencias altamente significativas en todas las variables, lo que indica que los alelos 5+10 y 2+12 presentan efectos totalmente contrastantes. Las diferencias significativas en los tres genomas indican un gran potencial para manipular variables de calidad harinera, enfocando el mejoramiento genético a un número relativamente reducido de loci.

En el Cuadro 2 se presenta la comparación de medias para las ocho combinaciones alélicas encontradas en la cruce. Las combinaciones 1-17+18-5+10, 2*-7+8-5+10 y 1-7+8-5+10 presentaron los valores más altos de tiempo de amasado y tipo mixográfico. Estos resultados son similares a los reportados por Dong *et al.* (1991), quienes observaron que las combinaciones con la subunidad 5+10 tienen efectos positivos sobre tipo mixográfico y tiempo de amasado. Las líneas con la subunidad 5+10, de trigo harinero, presentaron altos valores mixográficos y mayor tiempo de amasado (Radovanovic *et al.*, 2002). Dichas combinaciones presentaron valores altos para alveograma-W (mayor fuerza) que es una de las características asociada a una buena calidad panadera, pero presentaron los valores más altos para alveograma-P/G y alveograma-P/L, por lo que el efecto de 5+10 es disminuir la extensibilidad y aumentar la tenacidad.

mixographic type, which means that the two alleles studied in this genome express a different effect on these variables, but not on the alveographic variables W, P/G and P/L. In genome B, there were significant differences for the variable Alveogram-W; that is, there is a differential effect of the alleles 17+18 and 7+8 of genome B. For genome D, there were highly significant differences in all of the variables, which indicates that the alleles 5+10 and 2+12 present totally contrasting effects. The significant differences in the three genomes indicate a great potential for the manipulation of variables of bread-making quality, focusing the genetic improvement on a relatively small number of loci.

Table 2 presents the comparison of means for the eight allelic combinations found in the cross. The combinations 1-17+18-5+10, 2*-7+8-5+10 and 1-7+8-5+10 presented the highest values of kneading time and mixographic type. These results are similar to those reported by Dong *et al.* (1991), who observed that the combinations with the subunit 5+10 have positive effects on mixographic type and kneading time. The lines with subunit 5+10, of bread wheat, presented high mixographic values and longer kneading time (Radovanovic *et al.*, 2002). These combinations presented high values for alveogram-W (greater strength), which is one of the characteristics associated with good bread-making quality, but presented the highest values for alveogram-P/G and alveogram-P/L, thus the effect of 5+10 is to diminish extensibility and increase tenacity. The combinations 1-17+18-2+12, 2*-17+18-5+10 and 2*-7+8-2+12 gave intermediate values for kneading time, mixographic type and alveogram-W, acceptable for the bread-making industry. In combination 1-7+8-2+12, the lowest values were obtained of kneading time, mixographic type and alveogram-W, which is classified as a weak type of gluten, not desirable for the bread-making industry.

Cuadro 2. Medias por combinación de alelos de gluteninas de alto peso molecular de las propiedades viscoelásticas de la masa de trigos harineros, Roque, Guanajuato, México. O-I/2003-2004.

Table 2. Means per combination of alleles of high molecular weight glutenins of the viscoelastic properties of bread wheat doughs. Roque, Guanajuato, México. F-W/2003-2004.

	1	1	1	1	2	2	2	2
Genoma A								
Genoma B	17+18	17+18	7+8	7+8	17+18	17+18	7+8	7+8
Genoma D	5+10	2+12	5+10	2+12	5+10	2+12	5+10	2+12
	Rebeca							Salamanca
N	9	6	13	9	9	9	8	8
Tiempo de amasado (min)	3.9 a [†]	3.1 c	3.6 ab	2.6 d	3.1 bc	3 dc	3.6 ab	2.8 dc
Tipo de mixograma (1-6)	5 a	4.5 bc	5 a	3.5 d	4 dc	4 dc	5 a	4 dc
Alveograma-W (10 ⁻⁴ J)	378 a	268 dc	300 bc	196 e	295 bc	232 de	336 ab	230 de
Alveograma-P/L (0.1-6)	1.61 a	1.09 bc	1.55 a	0.86 c	1.56 a	0.98 c	1.42 ab	0.95 c
Alveograma-P/G (1.5-14)	6.37 a	4.54 b	5.87 a	3.56 b	5.92 a	4.05 b	5.69 a	3.95 b

[†] Valores con diferente letra en una hilera son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

Las combinaciones 1-17+18-2+12, 2*-17+18-5+10 y 2*-7+8-2+12 dieron valores intermedios para tiempo de amasado, tipo mixográfico y alveograma-W, aceptable para la industria de la panificación. En la combinación 1-7+8-2+12 se obtuvieron los valores más bajos para tiempo de amasado, tipo mixográfico y alveograma-W que se clasifica como un tipo de gluten débil, no deseable para la industria de la panificación.

En el Cuadro 3 se presentan las medias de los genotipos que contienen las variaciones alélicas del genoma A. El alelo 1 tuvo un alto tiempo de amasado y tipo mixográfico en comparación con el alelo 2*; así, es más deseable tener el alelo 1 que el alelo 2* para las variables mencionadas. Para las variables alveograma-W, alveograma-P/G y alveograma-P/L no existieron diferencias significativas entre el alelo 1 y el 2*, lo que concuerda con lo reportado por Peña *et al.* (2002) y Pogna *et al.* (1992), quienes mencionan que para lograr buena calidad en la panificación es deseable tener en el locus *Glu-A1* la subunidad 1 y la 2*. Al comparar variaciones alélicas de gluteninas de alto peso molecular en el locus *Glu-A1*, Branlard *et al.* (2001), no observaron diferencias entre los alelos 2* y 1 en los efectos sobre la fuerza, extensibilidad y tenacidad.

En el Cuadro 2 se observa que no hubo efecto significativo al sustituir el alelo 1 por el 2* en el genoma A, al comparar los pares de combinaciones: 1-17+18-5+10 vs 2*-17+18-5+10, 1-17+18-2+12 vs 2*-17+18-2+12, 1-7+8-5+10 vs 2*-7+8-5+10 y 1-7+8-2+12 vs 2*-7+8-2+12 para las variables tiempo de masado, tipo mixográfico, alveograma-W, alveograma-P/G y alveograma-P/L.

En el Cuadro 4 se presentan las medias de las variables de calidad para las subunidades alélicas del genoma B. Las subunidades más comunes en las líneas evaluadas fueron 17+18 y 7+8, en las cuales no hubo diferencias para tiempo de amasado, tipo mixográfico,

Table 3 shows the means of the genotypes that contain the allelic variations of genome A. Allele 1 had a high kneading time and mixographic type compared with allele 2*; thus, it is more desirable to have allele 1 than allele 2* for the variables mentioned. For the variables alveogram-W, alveogram-P/G and alveogram-P/L, there were no significant differences between alleles 1 and 2*, which coincides with what was reported by Peña *et al.* (2002) and Pogna *et al.* (1992), who mention that to achieve good bread-making quality, it is desirable to have subunits 1 and 2* in locus *Glu-A1*. When comparing allelic variations of high molecular weight glutenins in locus *Glu-A1*, Branlard *et al.* (2001) observed no differences between alleles 1 and 2* in the effects on strength, extensibility and tenacity.

In Table 2 it can be observed that there was no significant effect when allele 1 was substituted by allele 2* in genome A, when comparing the pairs of combinations: 1-17+18-5+10 vs 2*-17+18-5+10, 1-17+18-2+12 vs 2*-17+18-2+12, 1-7+8-5+10 vs 2*-7+8-5+10 and 1-7+8-2+12 vs 2*-7+8-2+12 for the variables kneading time, mixographic type, alveogram-W, alveogram-P/G and alveogram-P/L.

Cuadro 3. Medias por alelo en el Genoma A de las propiedades viscoelásticas de la masa de trigos harineros. Roque, Guanajuato, México. O-I/2003-2004.

Table 3. Means per allele in Genome A of the viscoelastic properties of bread wheat doughs. Roque, Guanajuato, México. F-W/2003-2004.

Variable	1	2*
Tiempo de amasado (min)	3.3 a [†]	3.1 b
Tipo de mixograma (1-6)	4.5 a	4.0 b
Alveograma-W (10 ⁻⁴ J)	287.9 a	273.2 a
Alveograma-P/L	1.3 a	1.2 a
Alveograma-P/G	5.2 a	4.9 a

[†] Valores con diferente letra en una hilera son estadísticamente diferentes (p≤0.05).

Cuadro 4. Medias por alelo en el genoma B de las propiedades viscoelásticas de la masa de trigos harineros. Roque, Guanajuato, O-I/2003-2004.

Table 4. Means per allele in Genome B of the viscoelastic properties of bread wheat doughs. Roque, Guanajuato, F-W/2003-2004.

Variable	17+18	7+8
Tiempo de amasado (min)	3.3 a [†]	3.2 a
Tipo de mixograma (1-6)	4.4 a	4.2 a
Alveograma-W (10 ⁻⁴ J)	295.2 a	268.3 b
Alveograma-P/L	1.3 a	1.2 a
Alveograma-P/G	5.2 a	4.8 a

[†] Valores con diferente letra en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

alveograma-P/G y alveograma-P/L. En el alveograma-W la subunidad 17+18 tuvo un mayor valor que la subunidad alélica 7+8, pero las dos subunidades se localizan en un tipo de gluten medio fuerte. Por tanto, los alelos 17+18 y 7+8 del locus *Glu-B1* tuvieron un efecto positivo en la calidad de panificación, lo que concuerda con los resultados de Pogna *et al.* (1992). En la comparación de los pares de combinaciones 1-17+18-5+10 vs 1-7+8-5+10, 2*-17+18-5+10 vs 2*-7+8-5+10, 1-17+18-2+12 vs 1-7+8-2+12 y 2*-17+18-2+12 vs 2*-7+8-2+12 no hubo un efecto significativo en las variables estudiadas al sustituir el alelo 17+18 por el 7+8 en el genoma B (Cuadro 2).

En el Cuadro 5 se presenta la comparación de medias para las subunidades alélicas en el genoma D. El alelo 5+10 confirió valores altos en el alveograma-W y tiempo de amasado. El alelo 2+12 estuvo asociado con valores intermedios del alveograma-W y tiempos de amasados cortos; por tanto, su efecto sobre la calidad panadera es de intermedio a negativo. Ésto coincide con lo reportado por Payne *et al.* (1981), quienes evaluaron la variación alélica del locus *Glu-D1* en trigos harineros y observaron que las subunidades 5+10 estuvieron asociados con una buena calidad y 2+12 con débil calidad de la masa. Según Peña *et al.* (2002), las líneas que poseen la subunidad 5+10 superan en fuerza a aquellas que presentan la subunidad 2+12. Hay efectos muy determinantes sobre el tiempo de amasado al momento de sustituir genes, principalmente los codificados en el locus *Glu-D1*.

Al comparar los pares de combinaciones 1-17+18-5+10 vs 1-17+18-2+12, 2*-17+18-5+10 vs 2*-17+18-2+12, 1-7+8-5+10 vs 1-7+8-2+12 y 2*-7+8-5+10 vs 2*-7+8-2+12, el efecto de sustituir únicamente el alelo 5+10 por el 2+12 es totalmente contrastante, ya que donde está el alelo 5+10 hay valores altos de alveograma-W, alveograma-P/L y alveograma-P/G. Por tanto, aumenta la fuerza y

Table 4 shows the means of the variables of quality for the allelic subunits of genome B. The most common subunits in the lines evaluated were 17+18 and 7+8, in which there were no differences for kneading time, mixographic type, alveogram-P/G and alveogram-P/L. In alveogram-W, subunit 17+18 had a higher value than the allelic subunit 7+8, but both subunits are located in a medium strength type of gluten. Therefore, alleles 17+18 and 7+8 of locus *Glu-B1* had a positive effect on the bread-making quality, which coincides with the results of Pogna *et al.* (1992). In the comparison of the pairs of combinations 1-17+18-5+10 vs 1-7+8-5+10, 2*-17+18-5+10 vs 2*-7+8-5+10, 1-17+18-2+12 vs 1-7+8-2+12 and 2*-17+18-2+12 vs 2*-7+8-2+12 there was no significant effect in the variables studied when substituting the allele 17+18 by that of 7+8 in genome B (Table 2).

Table 5 presents the comparison of means for the allelic subunits in genome D. The allele 5+10 conferred high values in alveogram-W and kneading time. Allele 2+12 was associated with intermediate values of alveogram-W and short kneading times; therefore, its effect on bread-making quality is from intermediate to negative. This coincides with what was reported by Payne *et al.* (1981), who evaluated the allelic variation of locus *Glu-D1* in bread wheats and observed that subunits 5+10 were associated with good quality and 2+12 with a weak quality of dough. According to Peña *et al.* (2002), the lines that possess subunit 5+10 are stronger than those that present subunit 2+12. There are very determinant effects on kneading time when genes are substituted, principally those codified in locus *Glu-D1*.

When comparing the pairs of combinations 1-17+18-5+10 vs 1-17+18-2+12, 2*-17+18-5+10 vs 2*-17+18-2+12, 1-7+8-5+10 vs 1-7+8-2+12 and 2*-7+8-5+10 vs 2*-7+8-2+12, the effect of substituting only allele

Cuadro 5. Medias por alelo en el genoma D de las propiedades viscoelásticas de la masa de trigos harineros. Roque, Guanajuato, México. O-I/2003-2004.

Table 5. Means per allele in Genome D of the viscoelastic properties of bread wheat doughs. Roque, Guanajuato, México. F-W/2003-2004.

Variable	2+12	5+10
Tiempo de amasado (min)	2.8 b	3.5 a [†]
Tipo de mixograma (1-6)	3.8 b	4.7 a
Alveograma-W (J)	228.6 b	324.3 a
Alveograma-P/L	0.96 b	1.5 a
Alveograma-P/G	3.9 b	5.9 a

[†] Valores con diferente letra en una hilera son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

aumenta la tenacidad, pero disminuye la extensibilidad de la masa. Sin embargo, cuando esta presente el alelo 2+12 se pierde fuerza pero aumenta la extensibilidad de la masa, lo que puede deberse a un efecto pleiotrópico sobre dichos caracteres de los genes que controlan las subunidades 5+10 y 2+12 del genoma D (Cuadro 2).

CONCLUSIONES

Las combinaciones 1-17+18-5+10, 2*-7+8-5+10 y 1-7+8-5+10 mostraron mejores valores para las propiedades viscoelásticas en la calidad de la masa del trigo. En el genoma A las subunidades alélicas 2* y 1 están asociados con un efecto positivo en la calidad panadera, aunque en combinación con alelos de otros genes no muestran un efecto marcado al sustituir el alelo 1 por el 2* y viceversa. En el genoma B, las subunidades alélicas 17+18 y 7+8 están asociadas con un efecto positivo en las propiedades viscoelásticas del trigo. En el genoma D la subunidad 5+10 está asociada con un efecto positivo sobre la calidad panadera, mientras que la subunidad alélica 2+12 se asocia a un efecto negativo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONACYT (Proyecto 34718-B) e INIFAP (Proyecto 2056029A) el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación.

LITERATURA CITADA

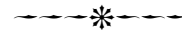
- AACC. 1995. Approved methods of the AACC. 9th ed. American Association of Cereal Chemist, St. Paul, MN, USA.
- Branlard, G., and M. Dardevet. 1985. Diversity of grain protein and bread wheat quality. II. Correlation between high molecular subunits of glutenin and flour quality characteristics. *J. Cereal Sci.* 3: 345-354.
- Branlard, G., M. Dardevet, R. Saccomano, F. Lagoutte, and J. Gourdon. 2001. Genetic diversity of wheat storage proteins and bread wheat quality. *In: Wheat in a Global Environment*. Bedo, Z., and L. Lang (eds). Kluwer Academia Publishers. The Netherlands. pp: 157-169.
- Dong, H., T. S. Cox, R. G. Sears, and G. L. Lookhart. 1991. High molecular weight glutenin genes: effects on quality in wheat. *Crop Sci.* 31: 974-979.
- Espitia, R. E., R. Peña B., E. Villaseñor M., J. Huerta, E., y A. Limón O. 2003. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I. Comparación de variedades y causas de la variación. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(4): 249-256.
- Espitia, R. E., E. Villaseñor M., R. Peña B., J. Huerta E., y A. Limón, O. 2004. Calidad Industrial de trigos harineros mexicanos para temporal: II. Variabilidad genética y criterios de selección. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 27(1): 249-256.
- Gupta, R. B., N. K. Singh, and K. W. Shepherd. 1989. The accumulative effect of allelic variation in LMW and HMW glutenin subunits on dough properties in the progeny of two bread wheats. *Theor. Appl. Genet.* 77: 57-64.

5+10 by 2+12 is totally contrasting, given that where allele 5+10 is found, there are high values of alveogram-W, alveogram-P/L and alveogram-P/G. Therefore, the strength and tenacity are increased, but the extensibility of the dough is diminished. However, when the allele 2+12 is present, strength is reduced but extensibility of the dough is increased, which may be due to a pleiotropic effect on those characters of the genes that are controlled by the subunits 5+10 and 2+12 of genome D (Table 2).

CONCLUSIONS

The combinations 1-17+18-5+10, 2*-7+8-5+10 and 1-7+8-5+10 showed better values for the viscoelastic properties in the quality of bread wheat dough. In genome A the allelic subunits 2* and 1 are associated with a positive effect on bread-making quality, although in combination with alleles of other genes they do not show a marked effect when allele 1 is substituted by allele 2* and viceversa. In genome B, the allelic subunits 17+18 and 7+8 are associated with a positive effect on the viscoelastic properties of the wheat. In genome D, the subunit 5+10 is associated with a positive effect on the bread-making quality, whereas the allelic subunit 2+12 is associated with a negative effect.

—End of the English version—



- Payne, P. I., K. G. Corfield, L. M. Holt, and J. A. Blackman. 1981. Correlations between the inheritance of certain high-molecular-weight subunits of glutenin and bread-making quality in progenies of six crosses of bread wheat. *J. Sci Food Agric.* 32: 51-60.
- Payne, P. I., L. M. Holt, E. A. Jackson, and C. N. Law. 1984. Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* 304: 359-371.
- Peña B., J. 2002. Wheat for bread and other foods. *In: Bread Wheat Improvement and Production*. Curtis, B. C., S. S. Rajaram, H. Gómez Macpherson (eds). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. pp: 483-542.
- Peña, B. J., R. Trethowan, W. H. Pfeiffer, and M. Van-Ginkel. 2002. Quality (end-use) improvement in wheat: compositional, genetic, and environmental factors. *In: Quality Improvement in Field Crops*. Basra A. S., L.S. Randhawa (eds). Food Products Press. The Haworth Press, New York. pp: 1-37.
- Pogna, N. E., R. Rdaelli, T. Dackevitch, A. Curioni, and A. Dal Belin Peruffo. 1992. Benefits from genetics and molecular biology to improve the end use properties of cereals. *In: Cereal Chemistry and Technology: a Long Past and a Bright Future*. Feillet P. (ed.). INRA. Montpellier, France. pp: 83-93.
- Radovanovic, C. N., S. Cloutier, D. Brow, D. G. Humphreys, and O. M. Lukow. 2002. Genetic variance for gluten strength contributed by high molecular weight glutenin proteins. *Cereal Chem.* 79(6): 843-849.

SAS Institute. 1994. SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP. 6.04. Fourth ed. Cary, NC. pp: 891-996.
Villaseñor, M. E., y E. Espitia R. 2000. Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en México. *In*: El Trigo

de Temporal en México. Villaseñor M. E., E. Espitia R. (eds). Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Chapingo, Edo. de México. 313 p.