

EFFECTO DE GLUTENINAS DE ALTO PESO MOLECULAR DE LOS GENOMAS A Y B SOBRE PROPIEDADES REOLÓGICAS Y VOLUMEN DE PAN EN TRIGOS HARINEROS

EFFECT OF DIFFERENT HIGH MOLECULAR WEIGHT GLUTENIN ALLELES OF A AND B GENOMES OF BREAD WHEAT ON RHEOLOGICAL PROPERTIES AND BREAD VOLUME OF BREAD WHEAT

Eliel Martínez-Cruz¹, Eduardo Espitia-Rangel², Ignacio Benítez-Riquelme¹, Roberto J. Peña-Bautista³, Amalio Santacruz-Varela¹ y Héctor E. Villaseñor-Mir²

¹Genética. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México.

²Programa de Trigo. Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 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, D.F.

RESUMEN

Con el propósito de determinar la influencia de subunidades específicas de los genomas A y B de gluteninas de alto peso molecular (G-APM) sobre la fuerza y extensibilidad del gluten de la masa y volumen de pan de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.), se probó un grupo de 98 líneas obtenidas de la cruce Rebeca F2000×Baviácora M92 derivadas por la descendencia de una sola semilla de F₂ a F₆. Los genotipos y los progenitores se sembraron en dos localidades del Campo experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en el ciclo primavera-verano 2004. Se estudiaron los alelos 1 y 2* del genoma A, 7+9 y 17+18 del genoma B. El análisis de variables de calidad y la identificación electroforética de las gluteninas de alto peso molecular se efectuó en el laboratorio de calidad de trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). La calidad del gluten se evaluó con base en volumen de sedimentación, tiempo de desarrollo de masa, estabilidad al amasado, tolerancia al sobre amasado, alveograma-W y P/L, y volumen de pan. La combinación 2*, 17+18, 5+10 de G-APM, mostró los mejores valores de fuerza y extensibilidad del gluten ($p \leq 0.05$) seguida por las combinaciones 1, 17+18, 5+10, 1, 7+9, 5+10 y 2*, 7+9, 5+10. Al sustituir el alelo 7+9 por el 17+18 del genoma B, se observó incremento en extensibilidad y volumen de pan ($p \leq 0.05$), lo cual indica que el alelo 17+18 tiene una mejor contribución panadera que 7+9. No se observaron diferencias significativas entre los alelos 1 y 2* del genoma A ($p \leq 0.05$).

Palabras clave: *Triticum aestivum* L., calidad panadera, fuerza y extensibilidad del gluten, genomas A y B.

ABSTRACT

To determine the influence of specific subunits of the A and B genomes of high molecular weight glutenins (G-APM) on the elasticity and extensibility of dough gluten and bread volume of bread wheat (*Triticum aestivum* L.), we tested a group of 98 lines, F₂ to F₆, obtained from the cross Rebeca F2000×Baviácora M92 derived from descendents of a single seed of F₂ to F₆. The genotypes and parents were sown in two sites at the Valley of México experimental station of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) during the 2004 spring-summer crop cycle. Alleles 1 and 2* of the A genome, 7+9 and 17+18 of the B genome were studied. Analysis of quality variables and electrophoretic identification of the high molecular weight glutenins was conducted in the wheat quality laboratory of the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Gluten quality was assessed on the basis of sedimentation volume, mixing development time, stability in kneading, tolerance to over-kneading, W alveogram and alveogram P/L, and bread volume. The combination 2*, 17+18, 5+10 of G-APM showed better gluten strength and extensibility values ($p \leq 0.05$), followed by the combinations 1, 17+18, 5+10, 1, 7+9, 5+10 and 2*, 7+9, 5+10. When allele 7+9 was substituted by 17+18 of the B genome, an increase in extensibility and bread volume ($p \leq 0.05$) was observed, indicating that allele 17+18 contributes more to bread quality than 7+9. No significant differences were observed between alleles 1 and 2* of the A genome ($p \leq 0.05$).

Key words: *Triticum aestivum* L., bread quality, gluten strength and extensibility, genomes A and B.

INTRODUCTION

Dough gluten strength and extensibility in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) are directly affected by the proportion of its main

Recibido: Febrero, 2006. Aprobado: Diciembre, 2006.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 153-160. 2007.

INTRODUCCIÓN

La fuerza y extensibilidad del gluten de la masa de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) están influenciadas directamente por la proporción de sus componentes principales, gliadinas y gluteninas, así como por la combinación de alelos o sub-unidades específicas de gluteninas de alto peso molecular (G-APM), gluteninas de bajo peso molecular (G-BPM) y gliadinas, las cuales contribuyen de manera diferente a la definición de fuerza y extensibilidad del gluten (Weegels *et al.*, 1996). Las gluteninas, después de reducir sus puentes disulfuro, de acuerdo con su peso molecular y movilidad electroforética en geles de poliácridamida en presencia de dodecil sulfato de sodio como agente reductor, pueden clasificarse en G-APM (80–120 kDa) y G-BPM (30–51 kDa) (Payne y Corfield, 1979). Las G-APM representan 5 a 10 % de la proteína total (Payne, 1986). Aun cuando el grupo de G-APM representa la menor proporción de la proteína total, es el que más contribuye a la elasticidad (fuerza) del gluten (Payne, 1987; Shewry *et al.*, 1992). Se han asociado alelos específicos de G-APM a variables de fuerza general del gluten como volumen de sedimentación y alveograma-W: con efecto positivo a los alelos 1 y 2* (genoma A), 17+18 (genoma B) y 5+10 (genoma D); con efecto negativo al alelo nulo (genoma A) y a los alelos 7, 20, 6+8, 13+19 (genoma B) y 3+12, 4+12, 5+12 y 2+12 (genoma D); con efecto intermedio al alelo 7+9 (genoma B) (Payne 1987 y Pogna *et al.*, 1992).

El efecto genético individual de tales alelos de G-APM sobre las características de fuerza y extensibilidad del gluten ha sido el más estudiado, no así el de las distintas combinaciones entre ellos y los efectos génicos que producen en las propiedades del gluten. Una vez reconocidas se pueden manipular y recombinar en los programas de fitomejoramiento para generar variedades de calidades específicas. Dada la importancia del tema de calidad sobre la aceptación del trigo mexicano por el sector industrial, es necesario desarrollar nuevas variedades que posean características de calidad que compitan con las del trigo importado, el cual en la actualidad es preferido por la industria sobre el trigo nacional.

Las variedades mexicanas de trigo Rebeca F2000 y Baviácora M92 presentan los alelos 1 y 2*(genoma A), 17+18 y 7+9 (genoma B) y el alelo 5+10 (genoma D) común para ambas variedades, los cuales se asocian positivamente con la fuerza del gluten. Por tanto, el objetivo del presente estudio fue identificar la mejor combinación de alelos de G-APM que favorezca la fuerza y extensibilidad del gluten en el material segregante de la cruce Rebeca F2000×Baviácora M92.

components gliadins and glutenins, as well as by combinations of alleles or specific subunits of high molecular weight glutenins (HMW-G), low molecular weight glutenins (LMW-G) and gliadin, which contribute in different ways to the definition of gluten elasticity and extensibility (Weegels *et al.*, 1996). Glutenins, after reducing its disulfuric bridges, according to its molecular weight and electrophoretic mobility in polyacrylamide gels in the presence of sodium dodecyl sulfate as a reducing agent, can be classified as HMW-G (80–120 kDa) and G-BPM (30–51 kDa) (Payne and Corfield, 1979). HMW-G account for 5 to 10% of the total protein (Payne, 1986). Even though the HMW-G group represents a smaller proportion of the total protein, it is that which contributes most to gluten elasticity (strength) (Payne, 1987; Shewry *et al.*, 1992). Specific HMW-G alleles have been associated with general dough gluten strength variables such as sedimentation volume and W alveogram: positive effect associated with alleles 1 and 2* (A genome), 17+18 (B genome) and 5+10 (D genome), negative effect with null allele (A genome) and alleles 7, 20, 6+8, 13+19 (B genome) and 3+12, 4+12, 5+12, and 2+12 (D genome); and intermediate effects with allele 7+9 (B genome) (Payne 1987; Pogna *et al.*, 1992).

The individual genetic effect of these HMW-G alleles on the characteristics of gluten strength and extensibility is the most studied effect, but the different combinations of these alleles and the genetic effects they produce in gluten properties have not been studied. Once it is recognized that these can be manipulated and recombined, this knowledge can be used in plant improvement programs to generate varieties with specific qualities. Given the importance of the topic of quality for acceptance of Mexican wheat by the industrial sector, it is necessary to develop new varieties that possess quality characteristics that can compete with imported varieties, which are at present preferred by the industry over domestic wheat.

The Mexican wheat varieties Rebeca F2000 and Baviácora M92 have alleles 1 and 2* (A genome), 17+18 and 7+9 (B genome), and allele 5+10 (D genome) is common to both varieties; these are associated positively with gluten elasticity. Therefore, the objective of this study was to identify the best combination of HMW-G alleles to favor gluten strength and extensibility in the segregating material of the cross Rebeca F2000×Baviácora M92.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

The plant material used was a group of 98 recombining lines, developed from descendants of a single seed from F2 to F6 of the

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El material vegetal usado fue un grupo de 98 líneas recombinantes, desarrolladas por descendencia de una sola semilla de F₂ a F₆ a partir de la cruce Rebeca F2000×Baviácora M92, más los progenitores. Rebeca F2000 tiene los alelos de G-APM en *Glu-A1*, 1; en *Glu-B1*, 17+18; en *Glu-D1*, 5+10, y Baviácora M92 en *Glu-A1*, 2*; en *Glu-B1*, 7+9; en *Glu-D1*, 5+10. Estas combinaciones alélicas permitieron evaluar en líneas recombinantes el efecto individual de los alelos 7+9 y 17+18 sobre la fuerza y extensibilidad del gluten. No fue posible profundizar en el análisis de variantes alélicas del locus *Glu* en el genoma D debido a que ambos progenitores, y por ende toda su descendencia, sólo tienen el alelo 5+10. Las 98 líneas F₆ y los progenitores fueron sembradas en condiciones de temporal con un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones, en Santa Lucía de Prías y Chapingo, México, en el ciclo primavera-verano 2004. La parcela experimental consistió de cuatro surcos (3 m longitud) separados 30 cm entre sí. Las parcelas experimentales se cosecharon con una mini-combinada y las muestras se limpiaron para ser analizadas en el laboratorio.

Análisis de laboratorio

Los análisis químicos, reológicos (fuerza y extensibilidad de la masa), y la separación electroforética de las proteínas, se realizaron en el Laboratorio de Química, Bioquímica y Calidad Industrial de Trigo, del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Las muestras de grano se acondicionaron y molieron en un molino Brabender Quadramat Jr. (C.W. Brabender OHG, Germany). El producto molido fue cernido a través de dos mallas de diámetros 8xx y 10xx para obtener harina refinada. Las variables de calidad evaluadas fueron volumen de sedimentación, propiedades de amasado (tiempo de desarrollo de masa, estabilidad durante el amasado y tolerancia al sobre-amasado), y propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa (alveograma-W, alveograma-P/L) y volumen de pan.

El volumen de sedimentación mide indirectamente la fuerza del gluten: a mayor volumen de sedimentación (mL) mayor fuerza. El volumen de sedimentación se obtuvo de 1 g de harina refinada usando la metodología descrita por Peña *et al.* (1990). Las propiedades de amasado se determinaron con base en el método 54-40 A (AACC, 1995), usando 35 g de harina refinada y el mixógrafo de Swanson (National Mfg., EUA). Del mixograma se obtuvo el tiempo de desarrollo de la masa (TAM), estabilidad durante el amasado (mixograma-estabilidad, MIXE), y la tolerancia al sobre amasado (TSAM). Valores altos de TAM y MIXE expresan mayor fuerza, mientras que valores bajos de TSAM se asocian a mayor fuerza del gluten. Las propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa se determinaron en el alveógrafo de Chopin (Trippette & Renaud, Francia), mediante el método 54-30A (AACC, 1995), con una muestra de 50 g de harina refinada. Del alveograma se calculó la fuerza general del gluten ($W \times 10^{-4}$ J) y la relación de tenacidad/extensibilidad (P/L),

cross Rebeca F2000×Baviácora M92, and the parents. Rebeca F2000 has the HMW-G alleles in *Glu-A1*, 1; in *Glu-B1*, 17+18; in *Glu-D1*, 5+10, and Baviácora M92 in *Glu-A1*, 2*; in *Glu-B1*, 7+9; in *Glu-D1*, 5+10. These allele combinations enabled the assessment of individual effects in recombining lines of the alleles 7+9 and 17+18 on gluten strength and extensibility. It was not possible to do a more in depth analysis of the allele variants of the *Glu* locus in the D genome since both parents, and consequently all of their descendants, have only allele 5+10. The 98 F₆ lines and parents were sown under rainfed conditions and a complete random block experimental design with two replications in Santa Lucía de Prías and Chapingo, México, in the 2004 spring-summer crop cycle. The experimental plot consisted of four rows 3 m long and 30 cm apart. The experimental plots were harvested with a mini-combine and the samples were cleaned to be analyzed in the laboratory.

Laboratory analyses

The chemical, rheological (dough strength and extensibility), and electrophoretic protein separation analyses were performed in the wheat chemical, biochemical and industrial quality laboratory of the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). The grain samples were conditioned and milled in a Brabender Quadramat Jr. mill (C.W. Brabender OHG, Germany). The milled product was sifted through two screens, 8xx and 10xx diameter, to obtain refined flour. The quality variables evaluated were sedimentation volume, kneading properties (mixing development time, stability during kneading and tolerance to over-kneading), dough strength and extensibility properties (W alveogram, alveogram-P/L) and bread volume.

Sedimentation volume indirectly measures gluten strength: the higher the sedimentation volume (mL) the stronger the gluten. Sedimentation volume was obtained from 1 g of refined flour using the methodology described by Peña *et al.* (1990). Kneading properties were determined based on method 54-40 A (AACC, 1995), using 35 g of refined flour and the Swanson mixograph (National Mfg., USA). From the mixogram, mixing development time (TAM), stability during kneading (mixogram-stability, MIXE), and tolerance to over-kneading (TSAM) were obtained. High values of TAM and MIXE express greater dough strength, while low values of TSAM are associated to greater gluten strength. Properties of dough strength and extensibility were determined in a Chopin alveograph (Trippette & Renaud, France) using the 54-30A method (AACC, 1995) with a 50 g sample of refined flour. From the alveogram, the general strength of the gluten ($W \times 10^{-4}$ J) and the ratio tenacity/extensibility (P/L) were calculated: the lower the values the greater the extensibility. In México gluten is classified on the basis of W and P/L alveogram values: values lower than 200×10^{-4} and $P/L < 1$ indicate weak, extensible gluten; 200 to 300×10^{-4} J and $P/L < 1$ is medium strength, extensible gluten; and $> 300 \times 10^{-4}$ J and $P/L < 1$ is strong, extensible gluten. The bread quality test was conducted using the direct dough method with 100 g of refined flour, method 10-09 (AACC, 1995), and bread volume (mL) was determined by colza (*Brassica* sp.) seed displacement using a volurometer. Electrophoretic separation of

que a menores valores asocia mayor extensibilidad. En México el gluten se clasifica con base en valores de alveograma-W y P/L: valores menores de 200×10^{-4} J y $P/L < 1$ como gluten débil y extensible, de 200 a 300×10^{-4} J y $P/L < 1$ como gluten medio fuerte y extensible y $> 300 \times 10^{-4}$ J y $P/L < 1$ como gluten fuerte y extensible. La prueba de calidad panadera se realizó mediante el método de masa directa en 100 g de harina refinada, método 10-09 (AACC, 1995) y se determinó el volumen de pan (mL), por desplazamiento de semillas de colza (*Brassica* sp.) mediante un volutómetro. La separación electroforética de G-APM se hizo con base en el protocolo de electroforesis del laboratorio de química, bioquímica y calidad industrial del trigo del CIMMYT descrito por Peña (2002). La extracción de G-APM se obtuvo de una muestra de 40 mg de harina integral, sobre geles de poliacrilamida en presencia de dodecil sulfato de sodio como agente reductor.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza general para las variables estudiadas. La fuente de variación genotipos se agrupó y se realizó un análisis de varianza adicional para obtener los cuadrados medios respectivos para Combinaciones, Genoma A y Genoma B. Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 1994), para mostrar las diferencias entre las combinaciones totales de G-APM y alelos de los genomas A y B.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los cuadrados medios del análisis de varianza desglosando el efecto de localidad, variedades, combinación total de alelos de G-APM, y por genoma. Para localidades existieron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en volumen de sedimentación, tiempo de desarrollo masa, tolerancia al sobre-amasado y volumen de pan, lo cual indica que las propiedades de fuerza, amasado y expansión de la masa durante la panificación son altamente influenciadas por las condiciones ambientales de cada localidad, lo cual había sido reportado por Espitia *et al.* (2003). Para el factor variedades todas las variables referentes a la extensibilidad y fuerza de la masa presentaron diferencias significativas; es decir, las variedades usadas en este estudio para generar las recombinaciones alélicas son diferentes en sus características reológicas y de calidad panadera. Para la interacción genotipo por ambiente, con la excepción de volumen de sedimentación y tolerancia al sobre-amasado, no hubo interacción significativa, lo que facilita el estudio de tales variables en el promedio de ambientes por su comportamiento paralelo de las variedades en uno y otro ambiente. En volumen de sedimentación y tolerancia al sobre-amasado, el promedio de ambientes no necesariamente refleja el promedio de las variedades.

HMW-G was conducted on the basis of the electrophoresis protocol of the wheat chemical, biochemical and industrial quality laboratory of CIMMYT described by Peña (2002). HMW-G extraction was obtained from a 40 mg sample of whole-wheat flour, on polyacrylamide gels in the presence of sodium dodecyl sulfate as a reducing agent.

Statistical analysis

A general analysis of variance was performed for the studied variables. The source of variation, genotypes, was then grouped and an additional analysis of variance was performed to obtain the respective mean squares for Combinations, A genome and B genome. Means were compared using the Tukey test ($p \leq 0.05$) with the GLM procedure of SAS (SAS Institute, 1994) to show the differences among total combinations of HMW-G and A and B genome alleles.

RESULTS AND DISCUSSION

The mean squares of the analysis of variance with a breakdown by effect of site, varieties, and total combination of HMW-G alleles, and for each genome are shown in Table 1. For sites there were highly significant differences ($p \leq 0.01$) in sedimentation volume, mixing development time, tolerance to over-kneading and bread volume, indicating that the properties of dough strength, kneading quality, and expansion during bread-making are highly affected by the environmental conditions of each site, a result reported previously by Espitia *et al.* (2003). For the factor varieties, all of the variables referring to extensibility and dough strength were significantly different, indicating that the varieties used in this study to generate allele recombinations are different in their rheological characteristics and bread quality. For the interaction genotype \times environment, with the exception of sedimentation volume and tolerance to over-kneading, there was no significant interaction; this facilitates the study of these variables in average environments because of the parallel behavior of the varieties in either environment. In the sedimentation volume and tolerance to over-kneading, the average of the environments does not necessarily reflect the average of the varieties.

For the total combinations of HMW-G alleles, highly significant differences were found for bread volume and significant differences were found for sedimentation volume, mixogram-stability and tolerance to over-kneading, indicating that the four combinations affected these dough characteristics differently. For the A genome, no significant differences were detected for any of the variables, indicating that the alleles 1 and 2* of the A genome do not differentially affect dough strength and extensibility in the genotypes; this coincides with that reported by Ikeda *et al.* (2003), who found

Cuadro 1. Cuadrados medios de propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa de trigos harineros. Chapingo y Santa Lucía de Prías, México, P-V/2004.

Table 1. Mean squares of bread wheat dough strength and extensibility properties. Chapingo and Santa Lucía de Prías, Mexico, Spring-summer, 2004.

Fuente de variación	Gl	SDS	TAM	MIXE	TSAM	W	P/L	VOLP
Localidad	1	58.2 [†]	7.8**	0.9	30.3 [‡]	2826.6	0.14	303024.6 [‡]
Repetición(loc)	2	12.7	0.8	4.0	14.9	11146.2	0.15	11752.2
Variedades	86	2.4 [†]	0.6 [†]	2.5 [‡]	11.6 [‡]	26454.0 [†]	0.14 [†]	7425.4 [‡]
Loc*Variedades	72	1.9 [†]	0.3	1.4	6.1 [†]	17081.4	0.07	2930.1
Combinación	3	5.6 [†]	0.5	4.8 [†]	22.4 [†]	4878.6	0.19	19778.7 [‡]
Genoma A	1	1.0	0.1	1.2	1.8	9917.9	1.5×10 ⁻⁵	919.2
Genoma B	1	14.9 [‡]	1.2	11.7 [‡]	41.5 [†]	5256.9	0.5 [†]	46266.7 [‡]
Error [§]	129	1.2	0.4	1.1	4.3	18149.5	0.06	3346.2

[†], [‡], Significativas con p≤0.05 y p≤0.01.

gl: grados de libertad.

[§] Error del análisis general.

SDS=volumen de sedimentación, TAM=tiempo de desarrollo de la masa, MIXE=mixograma-estabilidad, TSAM=tolerancia al sobre-amasado, W=alveograma-w, P/L=alveograma-P/L y VOLP=volumen de pan.

Para las combinaciones totales de alelos de G-APM hubo diferencias altamente significativas para volumen de pan y significativas para volumen de sedimentación, mixograma-estabilidad y tolerancia sobre amasado, indicando que las cuatro combinaciones afectaron diferentemente estas características de la masa. Para el genoma A no se detectaron diferencias significativas para ninguna de las variables, lo cual indica que los alelos 1 y 2* del genoma A no afectaron de manera diferencial la fuerza y extensibilidad de la masa en los genotipos, lo que concuerda con lo reportado por Ikeda *et al.* (2003) quienes no encontraron diferencias significativas entre dichos alelos del genoma A, en la presencia del alelo 5+10 del genoma D. Este resultado refuerza lo reportado por Payne *et al.* (1987) quienes asocian a este alelo como el de mayor efecto sobre la fuerza del gluten. Para el genoma B hubo diferencias altamente significativas para volumen de sedimentación, mixograma-estabilidad y volumen de pan, y diferencias significativas para tolerancia al sobre amasado y alveograma-P/L. Dentro de las variables genotípicas estudiadas sólo la asociada con variaciones en genoma B mostró diferencias significativas sobre la extensibilidad de la masa. Las diferencias significativas encontradas para el genoma B explican el efecto, dada la presencia o ausencia de los alelos 7+9 y 17+18 de este genoma, los cuales favorecen o demeritan la fuerza o la extensibilidad de la masa.

En el Cuadro 2 se presenta la comparación de medias de las cuatro combinaciones alélicas de G-APM obtenidas de la cruce Rebeca F2000×Baviácora M92. Las combinaciones 2*, 17+18, 5+10 y 1, 17+18, 5+10 presentaron los volúmenes de sedimentación y

no significant differences between these alleles, in the presence of the allele 5+10 of the D genome. This result reinforces that reported by Payne *et al.* (1987) who associated this allele with greatest effect on gluten elasticity. For the B genome, there were highly significant differences for sedimentation volume, mixogram-stability and bread volume, and significant differences for tolerance to over-kneading and alveogram P/L. Within the studied genotypic variables, only that associated with variations in the B genome showed significant differences in dough extensibility. The significant differences found for the B genome explain the effect, given the presence or absence of the alleles 7+9 and 17+18 of this genome, which enhances or diminishes dough strength or extensibility.

The comparison of means of the four HMW-G allele combinations obtained from the cross Rebeca F2000×Baviácora M92 is shown in Table 2. The combinations 2*, 17+18, 5+10 and 1, 17+18, 5+10 had higher sedimentation and bread volumes, strong gluten W alveogram and lower P/L values (more extensible dough), coinciding with Payne (1987), Payne *et al.* (1987), and Pogna *et al.*, (1992), who associated a positive effect on dough strength with the alleles present in these combinations. The combinations also exhibited acceptable mixing development times, mixogram-stability, and tolerance to over-kneading for semi-mechanized and mechanized bread-making.

The combinations 1, 7+9, 5+10 and 2*, 7+9, 5+10 had good values for bread volume; however, these were lower than the first two combinations. Even when the groups that have the 7+9 subunit, according to W alveogram, sedimentation volume, mixing development time, mixogram-stability and tolerance to over-kneading, obtained values of strong gluten, these

pan más altos, alveograma-W de gluten fuerte y valores de P/L más bajos (masas mas extensibles), lo cual concuerda con Payne (1987), Payne *et al.* (1987) y Pogna *et al.* (1992), quienes asocian a un efecto positivo sobre la fuerza de la masa a los alelos presentes en dichas combinaciones. Estas combinaciones mostraron, además, tiempos de desarrollo de masa, mixograma-estabilidad y tolerancia al sobre amasado aceptables para la elaboración semi-mecanizada y mecanizada de pan.

Las combinaciones 1, 7+9, 5+10 y 2*, 7+9, 5+10 presentaron buenos valores de volumen de pan; sin embargo, estos fueron menores a las dos primeras combinaciones. Aun cuando los grupos que poseen la subunidad 7+9 mostraron valores, de acuerdo con alveograma-W, volumen de sedimentación, tiempo de desarrollo de masa, mixograma-estabilidad y tolerancia al sobreamasado, de gluten fuerte, estos grupos tendieron a formar masas menos extensible que las obtenidas de los grupos que poseen la subunidad 17+18, lo cual se manifiesta en menor volumen de panificación. La combinación 2*, 7+9, 5+10 presentó el valor más alto de tenacidad y el menor volumen de pan, esto concuerda por lo reportado por Payne (1987) quien asoció la presencia del alelo 7+9 con un efecto intermedio sobre la fuerza del gluten. Johansson y Svensson (1995) reportaron que la sustitución del alelo 7+9 por el alelo 17+18, en la combinación 1, 17+18, 5+10, mostró valores más altos de alveograma-P/L, característico de gluten tenaz.

En el Cuadro 3 se presentan las medias de grupos que representan a los alelos 1 y 2* presentes en el genoma A. Al comparar las características de calidad de los genotipos agrupados en relación con su composición en el genoma A, se observó que, en general, ambos grupos tuvieron características reológicas y de panificación similares. No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las variables evaluadas. Estos resultados indican que, al menos en los genotipos estudiados, las proteínas asociadas con los alelos 1 y 2* contribuyen de manera similar a la definición de las propiedades reológicas y de panificación de las masas de trigo.

En el Cuadro 4 se presentan las medias de grupos que representan a los alelos en el genoma B, 17+18 y 7+9. El grupo con el alelo 17+18 presentó mayores volúmenes de sedimentación y de pan que los del grupo con el alelo 7+9. El grupo con 7+9 presentó mayor mixograma-estabilidad y mejor tolerancia al sobreamasado. Ambos grupos fueron similares en fuerza de gluten (alveograma-W). Estos resultados indican que el alelo 17+18 favorece la extensibilidad de masa con respecto al 7+9. Según Payne *et al.* (1987) y Pogna *et al.* (1992) estos dos alelos favorecen la

Cuadro 2. Comparación de medias por combinación total de gluteninas de alto peso molecular sobre propiedades de fuerza y extensibilidad de la masa de trigos harineros. Chapingo y Santa Lucía de Prías, México, P-V/2004.

Table 2. Comparison of means by total combinations of high molecular weight glutenins in bread wheat dough strength and extensibility properties. Chapingo and Santa Lucía de Prías, México. Spring-summer, 2004.

Genoma	Combinaciones			
	1	2	3	4
Genoma A	1	1	2*	2*
Genoma B	17+18	7+9	17+18	7+9
Genoma D	5+10	5+10	5+10	5+10
n	71	79	52	88
SDS (ml)	20.7b a [†]	20.2 b	20.8 a	20.4 ba
TAM (min)	4.0 a	4.1 a	3.8 a	4.0 a
MIXE (min)	3.9 ba	4.1 ba	3.8 b	4.3 a
TSAM (mm)	6.3 ba	6.0 b	7.2 a	5.8 b
W (10 ⁻⁴ J)	581.4 a	591.3 a	594.7 a	600.2 a
P/L (0.16)	1.3 a	1.3 a	1.2 a	1.4 a
VOLP (ml)	909.7 ba	896.8 ba	925.0 a	885.0 b

[†] Valores con la misma letra dentro de filas no son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤0.05).

SDS=Volumen de sedimentación, TAM=Tiempo de desarrollo de la masa, MIXE=Mixograma-estabilidad, TSAM=Tolerancia al sobreamasado, W=Alveograma-w, P/L=Alveograma-P/L y VOLP=Volumen de pan.

groups tended to form less extensible doughs than those obtained from groups that have the subunit 17+18, manifested in smaller bread volume. The combination 2*, 7+9, 5+10 had the highest tenacity value and the lowest bread volume; this coincides with results reported by Payne (1987) who associated the presence of the allele 7+9 with an intermediate effect on gluten strength. Johansson and Svensson (1995) reported that the substitution of the allele 7+9 for the allele 17+18, in the combination 1, 17+18, 5+10, showed higher alveogram P/L values characteristic of tenacious gluten.

The means of the groups that represent alleles 1 and 2* present in the A genome are shown in Table 3. When comparisons are made of quality characteristics of the genotypes grouped by their composition in the A genome, it is observed that, in general, both groups had similar rheological and bread-making characteristics. No significant differences were found for any of the assessed variables. These results indicate that, at least in the studied genotypes, the proteins associated with alleles 1 and 2* contribute in a similar way to the definition of rheological and bread-making properties of wheat doughs.

The means of the groups that represent the alleles present in the B genome, 17+18 and 7+9 are shown in Table 4. The group with allele 17+18 had higher

Cuadro 3. Comparación de medias por alelos del genoma A de gluteninas de alto peso molecular en la fuerza y extensibilidad de la masa de trigos harineros. Chapingo y Santa Lucía de Prías, México, P-V/2004.

Table 3. Comparison of means by alleles of the A genome of high molecular weight glutenins in wheat flour dough strength and extensibility. Chapingo and Santa Lucía de Prías, México. Spring-summer, 2004.

Variable	Alelos	
	2*	1
n	140	150
Volumen de sedimentación (ml)	20.6 a	20.4 a
Tiempo de desarrollo de la masa (min)	4.0 a	4.0 a
Mixograma-estabilidad (min)	4.1 a	4.0 a
Tolerancia al sobreamasado (mm)	6.3 a	6.2 a
Alveograma-w(10 ⁻⁴ J)	598.1 a	586.7 a
Alveograma-P/L(0.1-6)	1.3 a	1.3 a
volumen de pan (ml)	899.8 a	902.9 a

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

fuerza del gluten. Sin embargo, Johansson y Svensson (1995) observaron que el alelo 7+9 se asocia a valores altos de alveograma-P/L, lo que indica menor extensibilidad del gluten.

Los resultados del análisis del efecto de alelos del genoma B sobre las variables de calidad indican que las variantes alélicas en este genoma explican las diferencias observadas en valores de alveograma-P/L (extensibilidad) entre los grupos genotípicos.

CONCLUSIONES

Existieron diferencias en variables de calidad entre genotipos derivados de la cruz Rebeca F2000× Baviácora M92. De las cuatro combinaciones de G-APM obtenidas, la combinación 2*, 17+18, 5+10 mostró los mejores valores de fuerza y extensibilidad del gluten y consecuentemente el mayor volumen de pan. No se encontró efecto diferencial de los alelos 1 y 2* del genoma A en la fuerza, extensibilidad y el volumen de pan. La presencia del alelo 17+18 en lugar de 7+9 en el genoma B, estuvo consistentemente asociado con la mayor extensibilidad de la masa y mayor volumen de sedimentación y de panificación. De las cuatro diferentes combinaciones de G-APM estudiadas, se propone a la combinación 2*, 17+18, 5+10 como la mejor para desarrollar nuevos trigos que posean alta fuerza de gluten. Sin embargo, ninguna de las cuatro combinaciones estudiadas mostró un alto grado de extensibilidad, lo cual sugiere que las variaciones alélicas asociadas con las G-APM influyen sólo parcialmente la extensibilidad del gluten.

Cuadro 4. Comparación de medias por alelos del genoma B de gluteninas de alto peso molecular en la fuerza y extensibilidad de la masa de trigos harineros. Chapingo y Santa Lucía de Prías, México, P-V/2004.

Table 4. Comparison of means by alleles of the B genome of high molecular weight glutenins in wheat flour dough strength and extensibility. Chapingo and Santa Lucía de Prías, México. Spring-summer, 2004.

Variable	Alelos	
	17+18	7+9
n	123	167
Volumen de sedimentación (ml)	20.8 a	20.3 b
Tiempo de desarrollo de la masa (min)	3.9 a	4.0 a
Mixograma-estabilidad (min)	3.8 b	4.2 a
Tolerancia al sobre-amasado (mm)	6.7 a	5.9 b
Alveograma-w(10 ⁻⁴ J)	587.1 a	596.0 a
alveograma-P/L(0.1-6)	1.3 b	1.4 a
volumen de pan (ml)	916.2 a	890.5 b

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

sedimentation and bread volumes than the group with allele 7+9 are shown in Table 4. The group with 7+9 had higher mixogram-stability and better tolerance to over-kneading. Both groups were similar in terms of gluten strength (W alveogram). These results indicate that allele 17+18 enhances dough extensibility, compared with 7+9. According to Payne *et al.* (1987) and Pogna *et al.* (1992), these two alleles favor gluten strength. Johansson and Svensson (1995), however, observed that allele 7+9 is associated with high alveogram P/L values, indicating lower gluten extensibility.

The results of the analysis of the effect of the alleles of the B genome on quality variables indicate that the allele variants in this genome explain the differences observed in alveogram P/L values (extensibility) among groups of genotypes.

CONCLUSIONS

There were differences in quality variables among the genotypes derived from the cross Rebeca F2000×Baviácora M92. Of the four combinations of HMW-G obtained, the combination 2*, 17+18, 5+10 showed the best values of gluten strength and extensibility, and consequently, greater bread volume. No differential effect of the alleles 1 and 2* of the A genome on strength, extensibility and bread volume. The presence of allele 17+18 instead of 7+9 in the B genome was consistently associated with greater dough extensibility and higher sedimentation and bread volume. Of the four different HMW-G combinations studied, the combination 2*, 17+18, 5+10 is proposed

AGRADECIMIENTOS

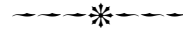
Los autores agradecen al CONACYT (Proyecto 34718-B) el financiamiento otorgado para la realización de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- AACC. 1995. Approved Methods of the AACC. 9th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- Espitia, R. E., R. J. Peña, 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.
- Ikedo, T. M., T. Nakamichi, T. Nagamine, H. Yano, and A. Yanagisawa. 2003. Identification of specific Low-Molecular-Weight-Glutelin subunits related to gluten quality in bread wheats. *Jpn. Agric. Res. Quart.* 37(2): 99-103.
- Johansson, E., and G. Svensson G. 1995. Contribution of the high molecular weight glutenin subunit 21* to breadmaking quality of swedish wheats. *Cereal Chem.* 72(3): 287-290.
- Payne, P. I. 1986. Endosperm proteins. *In: Plant Gene Research: a Genetic Approach to Plant Biochemistry.* Blonstein A. D., and P. J. King (eds). Springer-Verlag. New York. pp. 207-301.
- Payne, P. I. 1987. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread making quality. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 8: 141-153.
- Payne, P. I., and K.G. Corfield. 1979. Subunit composition of wheat glutenin proteins, isolated by gel filtration in a dissociating medium. *Planta* 145:83-88.
- Payne, P. I., M. A. Nightingale, A. F. Krattiger, and L. M. Holt. 1987. The relationship between HMW glutenin subunit

as the best for developing new wheat varieties that have high gluten strength. However, none of the four combinations studied showed a high degree of extensibility, suggesting that the allele variations associated with HMW-G had only partial influence on gluten extensibility.

—End of the English version—



- composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *J. Sci. Food Agric.* 40:51-65.
- Peña, R. J. 2002. Wheat for bread and other foods. *In: Bread Wheat Improvement and Production.* Curtis B.C. S.S. Rajaram, and H. Gómez Macpherson (eds). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. pp: 483-542.
- Peña, R. J., A. Amaya, S. Rajaram, and A. Mujeeb-Kazi. 1990. Variation in quality characteristics associated with some spring 1B/1R translocation wheats. *J. Cereal Sci.* 12:105-112.
- Pogna, N. E., R. Radaelli, T. Dackevitch, A. Curioni, and A. Dal Belin-Perufo. 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.
- SAS Institute. 1994. SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP. 6.04. Fourth ed. Cary, NC. pp: 891-996.
- Shewry, P. R., N. G. Halford, and A. S. Tatham. 1992. High molecular weight subunits of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.* 15:105-120.
- Weegels, P. L., R. J. Hamer, and J.D. Schofield. 1996. Critical review: functional properties of wheat glutenin. *J. Cereal Sci.* 23: 1-18.