

CALIDAD INDUSTRIAL DE GERMOPLASMA INTRODUCIDO DE TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN CONDICIONES DE TEMPORAL EN MÉXICO

END-USE QUALITY OF INTRODUCED WHEAT (*Triticum aestivum* L.) GERMPLASM UNDER RAINFED CONDITIONS IN MÉXICO

Eliel Martínez-Cruz, Eduardo Espitia-Rangel^{*}, H. Eduardo Villaseñor-Mir, R. Hortelano Santa-Rosa, Patricia Pérez-Herrera, Agustín Limón-Ortega

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. 56230. Chapingo, Estado de México.

RESUMEN

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) de temporal en México enfrenta limitaciones en su comercialización por su calidad industrial inadecuada, la cual es influenciada por factores genéticos y ambientales y por su interacción. El objetivo de esta investigación fue identificar la contribución de estos factores en la calidad de genotipos introducidos, de EE.UU. y Canadá, y utilizarlos como fuente genética en el programa de trigo de temporal del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Se sembraron 16 genotipos en ocho sitios en condiciones de secano. La evaluación de la calidad industrial incluyó peso hectolítrico, dureza y contenido de proteína del grano, volumen de sedimentación de la harina, fuerza, relación tenacidad/extensibilidad de la masa y volumen de pan. La dureza y contenido de proteína fueron afectados 60 y 56 % por el genotipo, mientras que el efecto en el peso hectolítrico, volumen de sedimentación, fuerza de la masa y volumen de pan se debió a las localidades, pues explicaron 48, 45, y 38 % de la variación total, respectivamente. Para la fuerza de la masa la participación de las varianzas ambientales y genotípicas tuvieron una contribución similar de 40 y 37 %. Los genotipos Keene, SD3249, HY437, BW725, Blue sky y Kulm destacaron por sus volúmenes de pan superiores a 873 mL, debido a que conjuntaron porcentajes altos de proteína, gluten fuerte y extensible o balanceado; HY439 y HY632 se asociaron con los valores mayores a 15.9 % de contenido de proteína en grano. Con base en lo anterior en el germoplasma introducido existen genotipos que deben utilizarse como progenitores dentro del plan de cruzamientos del programa de trigo harinero de secano para mejorar el volumen de pan, fuerza y extensibilidad de la masa, y contenido de proteína en grano.

ABSTRACT

Rainfed bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in Mexico faces marketing limitations due to its inadequate industrial quality, which is influenced by genetic and environmental factors and by its interaction. The aim of this research was to identify the contribution of these factors in the quality of genotypes introduced from the USA and Canada, and use them as a genetic source in the rainfed wheat program of the National Forestry, Agriculture, and Livestock Research Institute (INIFAP). Sixteen genotypes were planted in eight places under rainfed conditions. The evaluation of the industrial quality included hectoliter weight, grain hardness and grain protein, sedimentation volume, dough strength, extensibility, and bread volume. Grain hardness and protein content were affected 60 and 56 % by the genotype, whereas the effect on the hectoliter weight, volume of sedimentation, dough strength and bread volume were due to the locations, since they accounted for 48, 45, and 38 % of the total variation, respectively. For dough strength, the participation of environmental and genotypical variances had similar contributions of 40 and 37 %. The genotypes Keene, SD3249, HY437, BW725, Blue sky and Kulm stood out for their volumes of bread higher than 873 mL, since combined, they presented high percentages of protein, and strong and extensible or balanced gluten; HY439 and HY632 were related to values higher than 15.9 % of protein content in grains. Based on this, in the introduced germplasm, there are genotypes that must be used as parents in the crossing plan of the rainfed bread wheat breeding program to improve the bread volume, firmness and extensibility of the dough, and protein content in the grain.

Key words: Bread wheat, introduced germplasm, end-use quality, parents.

^{*} Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2015. Aprobado: diciembre, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 50: 449-458. 2016.

Palabras clave: Trigo harinero, germoplasma introducido, calidad industrial, progenitores.

INTRODUCCIÓN

En el año 2013 en México se consumieron 6.6 millones Mg de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y cristalino (*T. durum* L.); de esa cantidad se importaron 4.6 millones Mg, principalmente de EE.UU. y Canadá. El total de las importaciones correspondió a trigo harinero y 63 % fue de trigos clasificados como: duros rojos de invierno, suave rojo de invierno y duro rojo de primavera (CANIMOLT, 2014). Los industriales están a favor de las importaciones, ya que en el mercado nacional no existe la calidad industrial demandada. Así, el trigo de temporal con frecuencia enfrenta problemas de comercialización, debido a su calidad industrial heterogénea por su cultivo en condiciones ambientales variables (Hortelano *et al.*, 2013).

Una opción para incrementar la producción de trigo nacional y disminuir nuestra dependencia alimentaria son las siembras en condiciones de secano, las que aportaron 5 % a la producción nacional en el 2014 (SIAP, 2015), en zonas donde la siembra de maíz sufre siniestros debido a sequías iniciales o heladas tempranas, y el trigo sería una alternativa por su ciclo menor de cultivo. Tlaxcala y el Estado de México aportaron más de 50 % de la producción de secano en 2014 (SIAP, 2015), y hay potencial para sembrar trigo en 200 000 a 300 000 ha, respectivamente, con rendimientos de 2.1 a 4.8 Mg ha⁻¹, lo cual depende de la localidad y la variedad utilizada (Villaseñor y Espitia, 2000; Hortelano *et al.*, 2013). En esos estados se sembraron 33 806 y 9 073 ha en el 2013 (SIAP, 2014). Una ventaja de estos estados es su cercanía a los centros principales de molienda y consumo, el Distrito Federal y el Estado de México, donde se demanda más de 60% de grano molido (CANIMOLT, 2014).

Así, el trigo nacional debe competir, en precio y en calidad industrial, con el trigo importado. Algunas características de calidad industrial del trigo duro rojo de invierno son: proteína 12.6 %, peso hectolítrico 79.4 kg hL⁻¹, fuerza de la masa 350 x 10⁻⁴ J, relación tenacidad/extensibilidad 1.2, y volúmenes de pan 842 mL. El trigo duro rojo de primavera tiene 14.6 % proteína, peso hectolítrico 79.2 kg hL⁻¹,

INTRODUCTION

In the year 2013, Mexico consumed 6.6 million Mg of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and durum wheat (*T. durum* L.), out of which 4.6 million Mg were imported, mainly from the USA and Canada. The total of wheat imports were bread wheat, out of which 63 % were wheats classified as: hard red winter, soft red winter, and hard red spring wheats (CANIMOLT, 2014). The industries are in favor of imports, since the national market does not have the industrial quality required. Thus, rainfed wheat frequently faces marketing problems due to its heterogeneous industrial quality because it is grown under variable environmental conditions (Hortelano *et al.*, 2013).

An option to increase the national wheat production and reduce our food dependence is sowing under rainfed conditions, which contributed 5 % to the national production in 2014 (SIAP, 2015), in areas where maize production suffers initial droughts or early frost, and wheat would be an alternative due to its shorter growth cycle. Tlaxcala and Estado de Mexico provided over 50 % of the rainfed production in 2014 (SIAP, 2015), and there is potential to grow 200,000 to 300,000 ha of wheat, respectively, with yields of 2.1 to 4.8 Mg ha⁻¹, depending on the location and the variety used (Villaseñor and Espitia, 2000; Hortelano *et al.*, 2013). In those states wheat was sown on 33 806 and 9073 ha in 2013 (SIAP, 2014). An advantage of these states is their proximity to the main milling and consumption centers, Mexico City and the Estado de Mexico, where demand is over 60 % of milled grain (CANIMOLT, 2014).

Thus, Mexican wheat must compete in price and industrial quality with imported wheat. Some characteristics of the industrial quality of hard red wheat are: protein 12.6 %, hectoliter weight 79.4 kg hL⁻¹, firmness of dough 350 x 10⁻⁴ J, dough firmness/extensibility ratio 1.2, and bread volume 842 mL. The hard red spring wheat has 14.6 % protein, hectoliter weight 79.2 kg hL⁻¹, firmness of dough 500 x 10⁻⁴ J, dough firmness/extensibility ratio 0.9, and bread volume 946 cc (Maghirang *et al.*, 2006). In Canada, specific actions were carried out for improving of the industrial quality, and varieties were developed with 15.2 % protein, related with extra

fuerza de la masa 500×10^{-4} J, relación tenacidad/extensibilidad 0.9, y volúmenes de pan 946 cc (Maghirang *et al.*, 2006). En Canadá se realizaron acciones específicas para mejorar de la calidad industrial, y se desarrollaron variedades con 15.2 % de proteína, asociado con masas extra fuertes (McCallum y DePauw, 2008). Según Espitia *et al.* (2003), es necesario mejorar el contenido de proteína y volumen de pan de las variedades mexicanas producidas en condiciones de secano. Para esto se debe identificar fuentes genéticas con contenido alto de proteína (>12.5 % en harina refinada) y calidad panadera buena (>800 mL) que puedan incorporarse a los programas de mejoramiento.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad industrial de genotipos de trigo harinero provenientes de EE.UU. y Canadá, cultivados en condiciones de secano en los valles altos del centro de México, e identificar los caracteres deseables e incorporarlos en el programa de fitomejoramiento del Campo Experimental Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los 16 genotipos usados fueron: 12 introducidos, Náhuatl F2000 y Kronstad F2004 como testigos y las líneas avanzadas GAVIA/ROM/3/PIRUL/GUI//TEMP/AGR/4/JUCH (línea 1) y PAMDOLY-PABG-Tardía-C4 (línea 2), del programa de mejoramiento de trigo de secano del INIFAP. Los genotipos Kulm, Keene, Waldron, SD3249, SD3195 y SD3236 son originarios de EE.UU.; y Bluesky, AC Vista, BW725, HY437, HY439, HY632 de Canadá.

Los 16 genotipos de trigo se sembraron en ocho sitios del Estado de México, sin riego, en el ciclo primavera-verano durante 2009 y 2010. Las localidades fueron Santa Lucía de Prias, Juchitepec, Coatepec y Chapingo. Las siembras se establecieron en la primera semana de junio. En Santa Lucía 2009, Chapingo primera fecha 2009 y Chapingo 2010, Coatepec 2009, Juchitepec 2009; Coatepec 2010 y Juchitepec 2010 durante la tercera semana de junio; en Chapingo se estableció la segunda fecha de 2009, 20 d después de la primera fecha de siembra. Chapingo se sitúa a $19^{\circ} 13' N$ y $98^{\circ} 51' O$, a 2250 msnm, la temperatura es $15.9^{\circ} C$, la precipitación es 620 mm año^{-1} , el clima es templado subhúmedo (tipo C (Wo) (W) b (y) g); Santa Lucía de Prias tiene clima similar, está ubicada a $19^{\circ} 44' N$, $98^{\circ} 87' O$ y 2260 msnm, su precipitación es 636 mm y $16.1^{\circ} C$ de temperatura media anual; Juchitepec está entre $19^{\circ} 06' N$, y $98^{\circ} 53' O$ a 2571 msnm,

firm doughs (McCallum and DePauw, 2008). Espitia *et al.* (2003) pointed out the need to improve protein content and bread volume of the Mexican varieties produced under rainfed conditions. Therefore, it is necessary to identify genetic sources with high protein content (>12.5 % in refined flour) and good baking quality (>800 mL) that can be incorporated into improvement programs.

The aim of this research was to evaluate the industrial quality of genotypes of bread wheat from the USA and Canada grown under rainfed conditions in the Highland valleys of Central Mexico, and identify the desirable traits and incorporating them into the plant improvement program of the Valle de México Experimental Field, of the National Forestry, Agriculture, and Livestock Research Institute (CEVAMEX-INIFAP).

MATERIALS AND METHODS

Out of the 16 genotypes used, there were 12 introduced, Náhuatl F2000 and Kronstad F2004 as controls, and the advanced lines GAVIA/ROM/3/PIRUL/GUI//TEMP/AGR/4/JUCH (line 1) and PAMDOLY-PABG-Tardía-C4 (line 2), of the INIFAP rainfed wheat improvement program. The genotypes Kulm, Keene, Waldron, SD3249, SD3195 and SD3236 are from USA; and Bluesky, AC Vista, BW725, HY437, HY439, HY632 are from Canada.

The 16 wheat genotypes were sown in eight sites of the Estado de Mexico, without irrigation, in the spring-summer cycle during 2009 and 2010. The locations were Santa Lucía de Prias, Juchitepec, Coatepec and Chapingo. Sowing was carried out in the first week of June: Coatepec in 2009, Juchitepec in 2009; Coatepec in 2010 and Juchitepec in 2010 during the third week in June; in Chapingo, it was established in the second date in 2009, 20 d after the first sowing season. Chapingo is located at $19^{\circ} 13' N$ and $98^{\circ} 51' W$, at 2250 masl, the temperature is $15.9^{\circ} C$ and rainfall is 620 mm year^{-1} , the climate is temperate subhumid (typeC (Wo) (W) b (y) g); Santa Lucía de Prias has a similar climate and is located at $19^{\circ} 44' N$, $98^{\circ} 87' W$ and 2260 masl, its rainfall is 636 mm and $16.1^{\circ} C$ is the average annual temperature; Juchitepec is between $19^{\circ} 06' N$, and $98^{\circ} 53' W$ a 2571 masl, rainfall is 807 mm year^{-1} and the average annual temperature is $15.5^{\circ} C$, its climate is humid; Coatepec has a humid climate, is located at 2320 masl and the rainfall and average annual temperature is 660 mm and $15.1^{\circ} C$ (García, 1981). The soil in Chapingo is fluvisol, in Santa Lucía, it is epipedon, in Juchitepec it is regosol and in Coatepec it is phaeozem (FAO, 1998).

la precipitación es 807 mm año⁻¹ y la temperatura media anual es 15.5 °C, su clima es húmedo; Coatepec tiene clima húmedo, se localiza a 2320 msnm y la precipitación y temperatura media anual es 660 mm y 15.1 °C (García, 1981). El suelo en Chapingo es fluvisol, en Santa Lucía es epipedon, en Juchitepec es regosol y en Coatepec es phaeozem (FAO; 1998).

El diseño experimental fue bloques completos al azar con dos repeticiones en cada localidad y la unidad experimental fue cuatro surcos de 3 m de longitud con una separación de 30 cm. La densidad de siembra fue 120 kg ha⁻¹, se fertilizó con 40-20-0, todo el N y todo el P₂O₅ se aplicaron durante la siembra. La fuente de fertilización fue urea [(CO (NH₂)₂)] con 46 % N y superfosfato de calcio triple [Ca (H₂PO₄)₂] con 46 % P₂O₅. Las malezas de hoja angosta se controlaron con 900 mL ha⁻¹ de Topik 24EC[®], 30 d después de la siembra (dds) y las de hoja ancha con 1 L ha⁻¹ de Esteron 47[®]: a los 35 dds. Durante la etapa de vaina engrosada (embuche) se aplicaron 500 mL ha⁻¹ de Folicur[®], para controlar enfermedades. Cuando la humedad del grano fue menor a 14 % se cosechó con una máquina mini-combinada.

Los análisis de calidad industrial se realizaron en el Laboratorio de Farinología del CEVAMEX-INIFAP. El peso hectolítrico (kg hL⁻¹) se determinó en una muestra de 500 g de grano en balanza volumétrica (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL.). La dureza de grano se midió mediante el índice de perlado en 20 g de grano (perladora tipo Strong Scot-EE.UU.), que indica la facilidad para eliminar parcialmente las capas externas del grano; el procedimiento estandarizado incluyó abrasión por 1 min, tamizado a través de malla de 1.25 μ y evaluación del peso del grano; los valores menores indican menor dureza de grano. Del grano se obtuvo la harina refinada con molino Brabender (Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Alemania) y tamizado a través de malla de 129 μm. El contenido de proteína en grano (%) se midió con el analizador NIR infralyzer 300 (método 39-10; AACC, 2005). El volumen de sedimentación (mL) fue determinado en una muestra de 3.2 g de harina refinada mediante la presencia de ácido láctico y alcohol isopropílico (Zeleny, 1946), que indica la capacidad de hidratación y expansión de la proteína; en esta prueba el volumen mayor indica más fuerza. En el Alveógrafo de Chopin (Tripette & Renaud, Francia) se obtuvo el alveograma, con el método 54-30A de la AACC (2005), y 60 g de harina refinada; con el alveograma se calculó la fuerza (W) y la relación de tenacidad/extensibilidad (PL) de la masa. Los valores W y PL se utilizan para clasificar la masa. Valores de W mayores a 300×10⁻⁴ J corresponden a masas fuertes, 200×10⁻⁴ J a 300×10⁻⁴ J a masas medias fuertes y menores de 200×10⁻⁴ J a masas débiles. Los valores de PL clasifican a la masa como balanceada (PL = 1.1), extensible (PL<1) y tenaz (PL>1.2) (Martínez-Cruz *et al.*, 2014). El volumen de pan (mL) se obtuvo en panes preparados con el procedimiento de masa directa (método 10-09, AACC, 2005),

The experimental design was complete randomized blocks with two repetitions in each location and the experimental unit consisted of four furrows, 3 m long and separated by 30 cm. The planting density was 120 kg ha⁻¹, we fertilized using the formula 40-20-0, and all the N and P₂O₅ were applied during sowing. As a source of fertilization we used urea [(CO (NH₂)₂)] with 46 % N and triple calcium superphosphate [Ca (H₂PO₄)₂] with 46 % P₂O₅. Narrow leaf weeds were controlled with 900 mL ha⁻¹ of Topik 24EC[®] 30 d after planting (das), and wide leaf weeds were controlled with 1 L ha⁻¹ of Esteron 47[®] 35 das. During booting stage 500 mL ha⁻¹ of Folicur[®] were applied to control diseases. Harvesting was carried out when the humidity of the grain was lower than 14%, using a mini-combined machine.

The industrial quality analyses were carried out in the Wheat Quality Laboratory of the CEVAMEX-INIFAP. The hectoliter weight (kg hL⁻¹) was determined in a 500 g grain sample using a volumetric scale (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL.). Grain hardness was measured using the pearling index on 20 g of grain (Strong Scott pearler-USA), indicating the ease for partially eliminating the external layers of the grain. The standard procedure included abrasion for 1 min, sieving with a 1.25 μ mesh and evaluation of the grain weight. Refined flour was obtained from the grain, using a Brabender mill (Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Germany) and sieved through a 129 μm mesh. Protein content in the grain (%) was measured with a NIR infralyzer 300 (method 39-10; AACC, 2005). The volume of sedimentation (mL) was determined in a 3.2 g sample of refined flour with the presence of lactic acid and isopropyl alcohol (Zeleny, 1946), which indicates the hydration and expansion capacity of the protein; in this test, greater volume indicates more strength. In the Chopin Alveograph (Tripette & Renaud, France) we obtained the alveogram, using the method 54-30A of the AACC (2005), and 60 g of refined flour; the alveogram helped calculate the firmness (W) and the tenacity: extensibility ratio (PL) of the dough. Values W and PL are used to classify the dough. Values for W greater than 300×10⁻⁴ J correspond to strong dough, 200×10⁻⁴ J to 300×10⁻⁴ J, to medium strong dough, and below 200×10⁻⁴ J, weak dough. The PL values classify dough as balanced (PL = 1.1), extensible (PL<1) and strong (PL>1.2) (Martínez-Cruz *et al.*, 2014). The volume of bread (mL) was obtained from bread baked using the procedure of direct dough (method 10-09, AACC, 2005), from 100 g refined flour, 3 g powdered milk, 3 g vegetable oil, 25 mL of a yeast solution at 24 % and 25 mL of a sugar-salt solution at 20 and 4 %, respectively, fermentation for 3 h and 25 min in 90 % relative humidity and 35 °C. It was baked in a Despatech Oven Co. (Minneapolis USA) brand oven at 220 °C, for 25 min; the volume was measured in a volutometer with the displacement of *Brassica campestris* L. seeds.

con 100 g harina refinada, 3 g leche en polvo, 3 g grasa vegetal, 25 mL de una solución de levadura al 24 % y 25 mL de una solución azúcar-sal al 20 y 4 %, respectivamente, fermentación por 3 h y 25 min, en 90 % humedad relativa y 35 °C. La cocción se realizó en horno Despatech Oven Co. (Minneapolis, EE.UU.) a 220 °C, por 25 min; el volumen se midió en un volutómetro mediante del desplazamiento de semilla de colza (*Brassica campestris* L.).

Análisis de los datos

Un análisis de varianza se realizó en conjunto para las ocho localidades y los 16 genotipos y todas las variables evaluadas. Los valores porcentuales de dureza de grano y contenido de proteína en grano se transformaron a logaritmo para el análisis. Los genotipos y ambientes se consideraron como factores de efectos aleatorios; el análisis de varianza se realizó con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2002). Las varianzas se estimaron con el procedimiento VARCOMP de SAS para cada fuente de variación y se expresaron gráficamente como porcentajes de la variación total ($\sigma^2_L + \sigma^2_R + \sigma^2_G + \sigma^2_{L \times G} + \sigma^2_E = 100$ %; donde σ^2_L = varianza debido a la localidad, σ^2_R = varianza de repeticiones, σ^2_G = varianza debido a los genotipos, $\sigma^2_{L \times G}$ = varianza debida a interacción localidad por genotipo y σ^2_E = varianza del error experimental), y las medias se compararon con HSD ($p \leq 0.05$) para identificar las diferencias entre genotipos y ambientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diferencias altamente significativas se detectaron en todas las variables estudiadas entre localidades y genotipos, y la interacción genotipo x localidad fue también significativa (Cuadro 1). Lo anterior concuerda con lo observado por Williams *et al.* (2008), Zecevic *et al.* (2013) y Hasniza *et al.* (2014), quienes reportaron el efecto de estos factores en variables de calidad industrial de trigo harinero.

La variación ambiental fue la más importante para peso hectolítrico, volumen de sedimentación, fuerza de la masa y volumen de pan; la variación debida al genotipo lo fue para contenido de proteína y dureza de grano; la variación por la interacción genotipo x localidad fue más importante para la relación tenacidad/extensibilidad. Así, más de 30 % de la variación total fue explicada por las localidades para las variables peso hectolítrico, volumen de sedimentación, fuerza de la masa y volumen de pan, respectivamente (Figura 1). Estos resultados son similares a los obtenidos por Aucamp *et al.* (2006), Dencic *et al.* (2011),

Data analysis

An analysis of variance was carried out for the eight locations and the 16 genotypes, together with all the variables evaluated. The percentages for grain firmness and content of protein in the grain became logarithms for the analysis. The genotypes and environments were considered factors of random effects; the analysis of variance was carried out using the GLM procedure in SAS (SAS Institute, 2002). The variances were estimated using the procedure VARCOMP in SAS for each source of variation, and were expressed graphically as percentages of the total variation ($\sigma^2_L + \sigma^2_R + \sigma^2_G + \sigma^2_{L \times G} + \sigma^2_E = 100$ %; where, σ^2_L = variance due to the location, σ^2_R = variance of repetitions, σ^2_G = variance due to genotypes, $\sigma^2_{L \times G}$ = variance due to the interaction environment by genotype and σ^2_E = variance of the experimental error), and averages were compared using HSD ($p \leq 0.05$) to identify differences between genotypes and environments.

RESULTS AND DISCUSSION

Highly significant differences were found in all variables studied between locations and genotypes, and the genotype x environment was also significant (Table 1). This agrees with observations by Williams *et al.* (2008), Zecevic *et al.* (2013) and Hasniza *et al.* (2014), who reported the effect of these variables in the industrial quality of bread wheat.

The environmental variation was the most important for the hectoliter weight, volume of sedimentation, dough strength, and bread volume; the variation due to genotype was for the content of protein and of grain hardness; the variation by the genotype x environment interaction was the most important for the tenacity: extensibility ratio. In this way, more than 30 % of the total variation was explained by the locations for the variables of hectoliter weight, volume of sedimentation, firmness of dough and volume of bread, respectively (Figure 1). These results are similar to those obtained by Aucamp *et al.* (2006), Dencic *et al.* (2011), Surma *et al.* (2012) and Rozbickia *et al.* (2015), who indicated that the environments were the main source of variation in these variables of industrial quality. For firmness of the dough, the participation of environmental and genotypic variances were similar (Figure 1) with regard to the total variation. These results are similar to those reported by Uthayakumaran *et al.* (2012).

The genotypic variation provided more than 50 % of the total variation to the firmness and protein

Cuadro 1. Significancia de los cuadrados medios del análisis de varianza para variables de calidad de genotipos de trigo harinero evaluados en secano, para el ciclo primavera-verano de 2009 y 2010.

Table 1. Significance of the average squares of the analysis of variance for variables of quality of the genotypes of bread wheat evaluated in rainfed, for the spring-summer cycles of 2009 and 2010.

FV	GL	PHL	PG	DG	VS	W	PL	VP
Localidad (L)	7	**	**	**	**	**	**	**
Repetición (L)	18							
Genotipo (G)	15	**	**	**	**	**	**	**
G*L	102	**	**	**	**	**	**	**
†Error	216	1.3	25.5	0.3	7.9	4365.2	0.2	2273.4

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; GL: grados de libertad; †error del análisis general; FV: fuente de variación; PHL: peso hectolítrico; PG: proteína en grano; DG: dureza de grano; VS: volumen de sedimentación; W: fuerza general de la masa; PL: tenacidad/extensibilidad; VP: volumen de pan * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; DF: degrees of freedom; †error of the general analysis; SV: source of variation; HLW: hectoliter weight; PG: grain protein; FG: grain hardness; VS: sedimentation volume; W: dough strength; PL: tenacity/extensibility; VB: bread volume.

Surma *et al.* (2012) y Rozbickia *et al.* (2015), quienes indicaron que los ambientes fueron el origen principal de la variación en esas variables de calidad industrial. Para fuerza de la masa, la participación de las varianzas ambientales y genotípicas fueron similares (Figura 1) respecto a la variación total. Estos resultados son similares a los reportados por Uthayakumar *et al.* (2012).

La variación genotípica aportó más de 50 % a la variación total de la dureza y contenido de proteína en grano (Figura 1). Lo anterior concuerda con

content in the grain (Figure 1). This agrees with observations by Yong *et al.* (2004) and Surma *et al.* (2012) for grain firmness. However, for protein content in grains, it is the opposite to the conclusions reached by Vázquez *et al.* (2012), Surma *et al.* (2012) and Finlay *et al.* (2007), who pointed out that the environment provides the greatest variation.

The participation of the total variation due to the genotype x environment interaction did not surpass 20 %; the highest were for hectoliter weight and the ratio tenacity: extensibility. For dough strength, grain

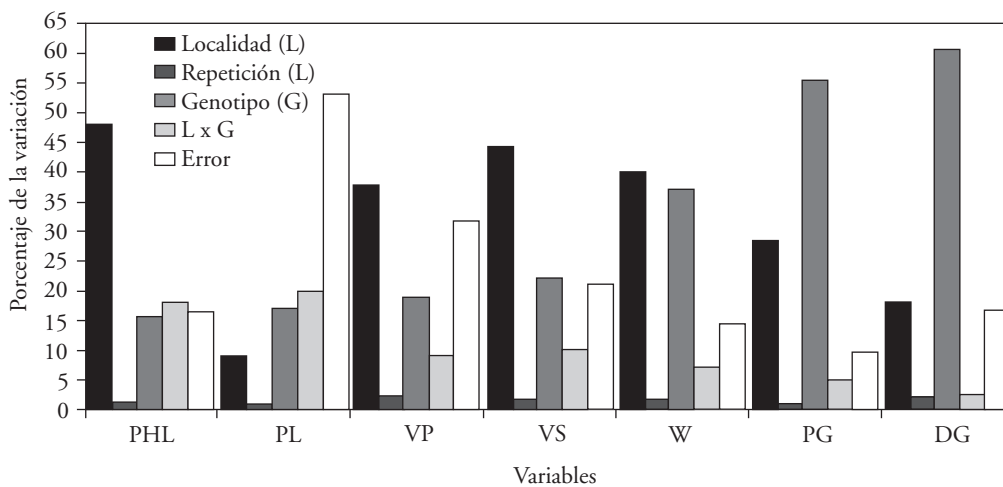


Figura 1. Proporción de la variación debida a las fuentes de variación de variables de calidad industrial de genotipos de trigo harinero. PHL: peso hectolítrico; PG: proteína en grano; DG: dureza de grano; VS: volumen de sedimentación; W: fuerza general de la masa; PL: tenacidad/extensibilidad; VP: volumen de pan.

Figure 1. Proportion of the variation due to the sources of variation of end-use quality traits of bread wheat genotypes. HLW: hectoliter weight; PG: protein in grain; FG: grain hardness; VS: sedimentation volume; W: dough strength; PL: tenacity: extensibility; VB: bread volume.

lo observado por Yong *et al.* (2004) y Surma *et al.* (2012) para la dureza de grano. Sin embargo, para contenido de proteína en grano es opuesto a lo concluido por Vázquez *et al.* (2012), Surma *et al.* (2012) y Finlay *et al.* (2007), quienes señalaron que el ambiente aporta la variación mayor.

La participación a la variación total debida a la interacción genotipo x ambiente no superó 20 %; las más altas fueron para peso hectolítrico y la relación tenacidad/extensibilidad. Para fuerza de la masa, proteína en grano y volumen de pan, no excedió 10 % el aporte a la variación de la interacción (Figura 1).

El volumen de pan varió de 786 a 919 mL. Los genotipos Keene, SD3249, HY437, BW725, Bluesky y Kulm destacaron por sus valores superiores a 870 mL. Esto se debe a que estos genotipos combinaron más de 13.9% de proteína en grano, y superaron al mejor testigo Náhuatl F2000. Además, mostraron masa fuerte (mayor a 300×10^{-4} J) y extensible, y relación tenacidad/extensibilidad menor a 1.1 o balanceada por su PL = 1 (Cuadro 2). Los genotipos HY439 y HY632 se asociaron a volúmenes de panes intermedios, cercanos a 850 mL pero presentaron los valores mayores de contenido de proteína en grano, una variable que favorece la calidad industrial y nutricional del pan. Lo anterior concuerda con lo reportado por Clarke *et al.* (1994); Maghirang *et al.* (2006); McCallum y DePauw (2008) y Humphreys *et al.* (2010), quienes indicaron que fuerza alta de la masa, asociada con valores PL bajos y contenido alto de proteína, favorecen la calidad panadera. Además de su calidad panadera buena, los genotipos BW725 y Bluesky se clasificaron como de grano duro por sus valores menores a 47 %, lo cual desfavorece la germinación en la espiga cuando hay lluvias durante la madurez fisiológica y disminuye la calidad (Dencic *et al.*, 2013).

Los intervalos de los promedios entre localidades, respecto de genotipos, fueron mayores para peso hectolítrico, volumen de sedimentación, fuerza de la masa y volumen de pan (Cuadro 2 y Cuadro 3). Esto confirmó su importancia en la variación total de variables asociadas con la calidad industrial de acuerdo con Vázquez *et al.* (2012), quienes describieron el efecto del ambiente en la calidad industrial. En Santa Lucia 2009 se obtuvo el volumen mayor de pan debido a la combinación de los valores mayores de contenido de proteína en grano y fuerza de la masa, asociada con extensibilidad buena. Un

protein, and bread volume, the contribution to the variation of interaction did not exceed 10 % (Figure 1).

The bread volume varied between 786 and 919 mL. Genotypes Keene, SD3249, HY437, BW725, Bluesky and Kulm stood out for their values of over 870 mL. This is due to the fact that these genotypes combined over 13.9 %, protein in grains, and surpassed the best control, Náhuatl F2000. Besides, they displayed dough strength (higher than 300×10^{-4} J) as well as extensible, and a ratio tenacity: extensibility lower than 1.1 or balanced by its PL=1 (Table 2). Genotypes HY439 and HY632 were related to of intermediate bread volume, near to 850 mL, although they displayed the highest values of grain protein content, which is a variable that favors the bread end-use and nutritional quality. This agrees with reports by Clarke *et al.* (1994); Maghirang *et al.* (2006); McCallum and DePauw (2008) and Humphreys *et al.* (2010), who indicated that a high strength of the dough, related to low PL values and a high protein content, favors the quality of bread. Besides their good quality for bread, genotypes BW725 and Bluesky were classified as having hard grains due to their values below 47 %, which is unfavorable for germination in the spike in rains during physiological maturity, which reduces the quality (Dencic *et al.*, 2013).

The intervals of the averages between locations, regarding genotypes, were greater for hectoliter weight, volume of sedimentation, firmness of dough, and volume of bread (Table 2 and Table 3). This confirmed its importance in the total variation of variables related to the industrial quality, according to Vázquez *et al.* (2012) who described the effect of the environment on industrial quality. Santa Lucia 2009 gave the highest volume of bread due to the combination of the highest values for protein content in grains and firmness of dough, related to good extensibility. An opposite behavior was displayed by wheat obtained in Coatepec in 2010 and Juchitepec in 2010, which decreased these variables, and therefore the volume of bread (Table 3).

CONCLUSIONS

The variables of the industrial quality of bread wheat protein and firmness of grain were mostly controlled by the genotype, and for firmness

Cuadro 2. Medias de variables de calidad de genotipos de trigo harinero evaluados bajo temporal. Ciclo primavera-verano de 2009 y 2010.**Table 2. Averages of variables of quality of bread wheat genotypes evaluated under rainfed conditions. Spring-Summer cycles 2009 and 2010.**

Genotipo	VP (mL)	PL (0-7)	W (10 ⁻⁴ J)	VS (mL)	PG (%)	DG (%)	PHL (kg hL ⁻¹)
Keene	919.2 a [†]	0.8 ed	551.0 ba	65.4 a	14.1 dc	53.2 b	73.4 ed
SD3249	911.4 a	1.1 bcd	551.2 ba	64.9 a	14.4 c	50.8 b	75.8 a
HY437	890.0 ba	0.9 ecd	436.2 dc	57.6 bdc	15.4 b	52.5 b	71.7 gf
BW725	889.7 ba	0.6 e	313.3 f	52.2 fe	14.0 dce	45.2 dce	73.4 ed
Bluesky	885.2 bac	1.0 ecd	579.5 a	64.5 a	14.0 dfce	46.7 c	72.7 ef
Kulm	873.0 bac	1.0 cd	467.0 c	55.6 fedc	13.5 fg	42.8 dfe	73.5 ed
Kronstad F2004	855.4 bdc	1.0 ecd	492.6 bc	61.4 ba	12.4 i	41.4 f	75.8 a
HY439	854.7 bdc	1.3 bc	377.3 dfe	56.5 fbedc	16.1 a	58.0 a	73.5 edc
HY632	849.3 bdc	1.0 ecd	368.0 fe	56.8 bedc	16.0 a	56.3 a	73.3 ed
Náhuatl F2000	843.1 bdc	0.9 ecd	550.3 ba	65.0 a	13.4 g	42.3 fe	74.7 bac
Línea 1	842.9 bdc	1.0 cd	544.0 ba	64.8 a	12.2 i	40.7 f	71.0 g
Waldron	840.9 dc	0.8 ed	380.4 dfe	51.5 fg	12.9 h	45.6 dc	74.4 bdc
Línea 2	824.1 ed	1.0 ecd	393.2 de	58.2 bdc	12.9 h	40.8 f	74.7 bac
AC Vista	814.8 ed	0.7 ed	190.0 g	46.6 g	12.6 ih	42.0 f	73.6 edc
SD3195	788.4 e	1.7 a	470.0 c	60.5 bac	13.6 fge	40.8 f	75.2 ba
SD3236	786.0 e	1.5 ba	428.2 dce	54.5 fed	13.6 dfge	41.4 f	74.1 bdc
CV	5.6	38.2	15.3	9.0	3.6	6.6	1.6

[†]Valores medios con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). PHL: peso hectolítico; DG: dureza de grano; PG: proteína en grano; VS: volumen de sedimentación; W: fuerza general de la masa; PL: tenacidad/extensibilidad; VP: volumen de pan; CV: coeficiente de variación ♦ [†]Average values with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). HLW: hectoliter weight; PG: protein in grain; FG: grain hardness; VS: sedimentation volume; W: general dough firmness; PL: tenacity: extensibility; VB: bread volume; CV: coefficient of variation.

Cuadro 3. Medias de variables de calidad de localidades de genotipos de trigo harinero evaluados en temporal. Ciclo primavera-verano de 2009 y 2010.**Table 3. Averages of variables of quality of locations of bread wheat genotypes evaluated under rainfed conditions. Spring-Summer cycles 2009 and 2010**

Localidad	PHL (kg hL ⁻¹)	PG (%)	DG (%)	VS (mL)	W (10 ⁻⁴ J)	PL (0-7)	VP (mL)
Chapingo, Méx. 2010	75.0 cb [†]	14.2 cb	43.9 cb	59.2 b	349.1 c	1.0 b	838.5 c
Coatepec, Méx. 2010	77.3 a	12.3 e	44.0 cb	40.2 d	209.7 d	1.3 a	741.9 d
Juchitepec, Méx. 2010	73.3 d	12.9 d	40.4 c	46.6 c	259.3 d	1.3 a	770.3 d
Chapingo 1F, Méx. 2009	70.1 e	14.4 b	50.1 a	60.2 ba	521.1 a	0.8 b	916.2 a
Chapingo 2F, Méx. 2009	73.5 d	13.9 cb	45.5 b	60.9 ba	481.4 ba	0.8 b	865.5 bac
Coatepec, Méx. 2009	74.3 cd	13.0 d	44.8 b	55.9 b	430.2 bc	0.9 b	830.5 c
Juchitepec, Méx. 2009	75.8 b	13.8 c	45.5 b	65.1 a	511.8 ba	1.1 ba	862.9 bc
Sta Lucía, Méx. 2009	73.2 d	15.0 a	51.0 a	65.1 a	547.6 a	0.9 b	900.7 ba
CV	1.6	3.6	6.6	9.0	15.3	38.2	5.6

[†]Valores medios con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). 1F: primera fecha de siembra; 2F: segunda fecha de siembra; PHL: peso hectolítico; PG: proteína en grano; DG: dureza de grano; VS: volumen de sedimentación; W: fuerza general de la masa; PL: tenacidad/extensibilidad; VP: volumen de pan; CV: coeficiente de variación ♦ [†]Average values with different letters in a column are statistically different ($p \leq 0.05$). 1F: first day of plantation; 2F: second day of plantation; HLW: hectoliter weight; PG: grain protein content; FG: grain hardness; VS: sedimentation volume; W: dough strength; PL: tenacity: extensibility; VB: bread volume; CV: coefficient of variation.

comportamiento opuesto presentaron los trigos obtenidos en Coatepec en 2010 y Juchitepec en 2010, ya que disminuyeron dichas variables, y por lo tanto el volumen de pan (Cuadro 3).

CONCLUSIONES

Las variables de calidad industrial de trigo harinero proteína y dureza de grano fueron controladas mayormente por el genotipo, y en fuerza de la masa la influencia del ambiente y del genotipo fue similar. Peso hectolítrico, volumen de sedimentación y volumen de pan se afectaron principalmente por el ambiente; y la relación tenacidad/extensibilidad se debió especial en a la interacción genotipo x ambiente.

Keene, SD3249, HY437, BW725, Bluesky y Kulm se deben usar como progenitores dentro del plan de cruzamientos del programa de trigo harinero de secano, para mejorar volumen de pan y contenido de proteína en grano; y HY439 y HY632 para alto contenido de proteína.

AGRADECIMIENTOS

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

LITERATURA CITADA

- AACC. 2005. Approved Methods of the AACC. 9th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Aucamp, U., M. T. Labuschagne, and C.S. van Deventer. 2006. Stability analysis of kernel and milling characteristics in winter and facultative wheat. *S. Afr. J. Plant Soil.* 23: 152-156.
- CANIMOLT (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo). 2014. Reporte Estadístico al 2013. México. CANIMOLT. México. 98 p.
- Clarke, P. J., J. B. Thomas, and R. M. DePauw. 1994. Bluesky red spring wheat. *Can. J. plant Sci.* 74: 135-136.
- Dencic, S., N. Mladenov, B. Kobiljski. 2011. Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. *Int. J. Plant Prod.* 5: 71-82.
- Dencic, S., R. DePauw, B. Kobiljski, and V. Momcilovic. 2013. Hagberg falling number and rheological properties of wheat cultivars in wet and dry preharvest periods. *Plant Prod. Sci.* 16: 342-351.
- Espitia, R. E., R. J. Peña B., H. 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: 249-256.
- FAO, 1998. World reference base for soil resources. World Soil Resource Reports 84. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Roma, Italia. 98 p.

of the dough the influence of the environment and the genotype was similar. Hectoliter weight, sedimentation volume, and bread volume of bread mainly affected by the environment; and the tenacity: extensibility ratio was due mostly to the genotype x environment interaction.

Keene, SD3249, HY437, BW725, Bluesky and Kulm must be used as parents within the plan of the rainfed bread wheat breeding program, to improve the bread volume and grain protein content; and HY439 and HY632 for a high protein content.

—End of the English version—

---*---

- Finlay, G. J., P. R. Bullock, H. D. Sapirstein, H. A. Naeem, A. Hussain, S.V. Angadi, and R. M. DePauw. 2007. Genotypic and environmental variation in grain, flour, dough and bread-making characteristics of western canadian spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 84: 679-690.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana. 3ra. ed. México, D. F. 252 p.
- Hasniza, M. Z. N., M. A. Wilkes, S. Uthayakumaran, and L. Copeland. 2014. Growth environment influences grain protein composition and dough functional properties in three Australian wheat cultivars. *Cereal Chem.* 91: 169-175.
- Hortelano, S. R., H. E. Villaseñor M., E. Martínez C., M. F. Rodríguez G., E. Espitia R. y L. A. Mariscal A. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los Valles Altos de la Mesa Central. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4: 713-725.
- Humphreys, D. G., T. F. Townley-Smith, O. Lukow, B. McCallum, D. Gaudet, J. Gilbert, T. Fetch, J. Menzies, D. Brown, and E. Czarnecki. 2010. Burnside extra strong hard red spring wheat. *Can. J. Plant Sci.* 90: 79-84.
- Maghirang, E. B., G. L. Lookhart, S. R. Bean, R. O. Pierce, F. Xie, M. S. Caley, J. D. Wilson, B. W. Seabourn, M. S. Ram, S. H. Park, O. K. Chung, and F. E. Dowell. 2006. Comparison of quality characteristics and breadmaking functionality of hard red winter and hard red spring wheat. *Cereal Chem.* 83: 520-528.
- Martínez-Cruz, E., E. Espitia-Rangel, H. E. Villaseñor-Mir, R. Hortelano-Santa Rosa, M. F. Rodríguez-García, R. J. Peña-Bautista. 2014. La calidad industrial de la masa y su relación con diferentes loci de gluteninas en trigo harinero (*Triticum aestivum* L.). *Agrociencia* 48: 403-411.
- McCallum, B. D., and R. M. DePauw. 2008. A review of wheat cultivars grown in the Canadian prairies. *Can. J. Plant Sci.* 88: 649-677.
- Rozbickia, J., A. Ceglińskab, D. Gozdowski, M. Jakubczaka, G. Cacak-Pietrzakb, W. Mądryc, J. Golbad, M. Piechocińskia, G. Sobczyńskia, M. Studnickic, and T. Drzazgae. 2015. Influence of the cultivar, environment and management on the

- grain yield and bread-making quality in winter wheat. *J. Cereal Sci.* 61: 126-132.
- SAS Institute. 2002. *SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP*. 6.04. Fourth edition Cary, NC, USA. pp: 891-996.
- SIAP. 2014. Servicio de información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx. (Consulta: Enero 2015).
- SIAP. 2015. Servicio de información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx. (Consulta: Noviembre 2015).
- Surma, M., T. Adamski, Z. Banaszak, Z. Kaczmarek, A. Kuczyn'ska, M. Majcher, B. Ługowska, W. Obuchowski, B. Salmanowicz, and K. Krystkowiak. 2012. Effect of genotype, environment and their interaction on quality parameters of wheat breeding lines of diverse grain hardness. *Plant Prod. Sci.* 15: 192-203.
- Uthayakumar, S., R. I. Tanner, S. Dai, F. Qi, M. Newberry, C. Wrigley, and L. Copeland. 2012. Genotype-based stability of dough quality in wheat from different growth environments. *J. Agric. Sci.* 4: 41-50.
- Vázquez, D., A. G. Berger, M. Cuniberti, C. Bainotti, M. Zavariz de Miranda, P. L. Scheeren, C. Jobet, J. Zúñiga, G. Cabrera, R. Verges, and R. J. Peña. 2012. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. *J. Cereal Sci.* 56: 196-203.
- Villaseñor, M. H. E., y E. Espitia. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal, problemática y condiciones de producción. *In: Villaseñor M. H. E. y E. Espitia (eds). El Trigo de Temporal en México*. Chapingo, México, SAGAR-INIFAP (Libro Técnico No. 1). pp: 85-98.
- Williams, R. M., L. O'Brien, H. A. Eagles, V. A. Solah, and V. Jayasena. 2008. The influences of genotype, environment, and genotype x environment interaction on wheat quality. *Aust. J. Agric. Res.* 59: 95-111.
- Yong, Z., Z. He, G. Ye, Z. Aimin, and M. Van Ginkel. 2004. Effect of environment and genotype on bread-making quality of spring-sown spring wheat cultivars in China. *Euphytica*. 139: 75-83.
- Zecevic, V., J. Boskovic, D. Knezevic, D. Micanovic, and S. Milenkovic. 2013. Influence of cultivar and growing season on quality properties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Afr. J. Agric. Res.* 8: 2545-2550.
- Zeleny, L. 1947. A simple sedimentation test for estimating bread-baking and gluten qualities of wheat flour. *Cereal Chem.* 24: 465-475.