

Variabilidad genética y criterios de selección para calidad industrial de trigos introducidos en condiciones de temporal*

Genetic variability and selection criteria for industrial quality of wheats introduced under temporary conditions

Héctor Eduardo Villaseñor Mir¹, Eliel Martínez Cruz¹, René Hortelano Santa Rosa¹, Miguel González González¹, Adriana Zamudio Colunga¹, Julio Huerta Espino¹ y Eduardo Espitia Rangel^{1§}

¹Campo Experimental Valle de México- INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (villaseñor.hector@inifap.gob.mx; martinez.eliel@inifap.gob.mx; hortelano.rene@inifap.gob.mx; gonzalez.miguel@inifap.gob.mx; adrizamco@gmail.com); huerta.julio@inifap.gob.mx. §Autor para correspondencia: espitia.eduardo@inifap.gob.mx.

Resumen

En el trigo harinero de temporal en México se han identificado las variables de calidad industrial con reducida variabilidad genética las cuales deben ampliarse para su aprovechamiento mediante la selección. Por lo que el objetivo de esta investigación fue estimar la variabilidad genética, heredabilidad y correlacionar variables de calidad que favorezcan el volumen de pan y su estabilidad, en trigos harineros de EE.UU. y Canadá, para utilizarlos como fuentes de variabilidad genética y favorecer la calidad panadera en los programas de fitomejoramiento. Se sembraron 16 genotipos en ocho localidades de temporal. Se midió el peso hectolítrico, contenido de proteína en harina, volumen de sedimentación, la relación tenacidad/extensibilidad, fuerza de la masa y el volumen de pan. La fuerza de la masa presentó el coeficiente de variación genética mayor (24.3) y heredabilidad alta (0.37). La proteína en harina y volumen de sedimentación asoció coeficientes de variación menores a 10 y valores aceptables de heredabilidad, 0.33 y 0.23, respectivamente. El volumen de pan y peso hectolítrico presentaron los coeficientes de variación genética y de heredabilidad más bajos, por lo que se deberán buscar fuentes genéticas nuevas para estos

Abstract

In common wheat of temporary in Mexico the industrial quality variables have been identified with reduced genetic variability which must be extended for its use through selection. Therefore, the objective of this paper was to estimate genetic variability, heritability and correlate quality variables that favor bread volume and its stability, in US and Canada wheat, in order to use them as sources of genetic variability and to favor baking quality in breeding programs. Sixteen genotypes were planted in eight storm sites. The hectoliter weight, protein content in flour, sedimentation volume, the tenacity/extensibility ratio, dough strength and bread volume were measured. The dough strength showed the highest coefficient of genetic variation (24.3) and high heritability (0.37). The protein in flour and sedimentation volume associated coefficients of variation less than 10 and acceptable values of heritability, 0.33 and 0.23, respectively. The volume of bread and hectoliter weight had the lowest coefficients of genetic variation and heritability, so new genetic sources should be searched for these characters. Bread volume correlated positively with protein content, dough strength and sedimentation volume and inversely

* Recibido: febrero de 2017
Aceptado: abril de 2017

caracteres. El volumen de pan se correlacionó positivamente con el contenido de proteína, fuerza de la masa y volumen de sedimentación e inversamente con la relación tenacidad/extensibilidad. Los genotipos Nahuatl F2000, Waldron, Ac Vista, Línea 2, Kronstad F2004 y Kulm mostraron muy buena estabilidad y volúmenes de pan mayores a 800 mL características deseables para la panificación. Con base en lo anterior, se encontraron genotipos que conjuntan volumen de pan alto con estabilidad adecuada los que pueden ser utilizados dentro del programa de mejoramiento genético.

Palabras clave: calidad industrial, criterios de selección, heredabilidad, trigos harineros introducidos, variabilidad genética.

Introducción

En México en 2013 se produjeron 3.3 millones de toneladas de trigo y se importaron 4.6 millones de toneladas para cubrir la demanda nacional. De tal modo que la producción de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) en México tuvo un déficit anual cercano a 70%, lo cual representa la importación de 4.6 millones de ton de EE. UU y Canadá. En este mismo año del total de la producción nacional 94.4% fue bajo condiciones de riego durante el ciclo otoño-invierno 2013-2014, en estas condiciones de producción el cultivo de trigo se enfrenta al desabasto de agua, y la reconversión a cultivos de mayor rentabilidad. Una alternativa para contrarrestar la dependencia del consumo de trigo es incrementar la producción de trigo harinero bajo condiciones de temporal, el cual se caracteriza por su cultivo en condiciones ambientales variables (Hortelano *et al.*, 2013) y por su volumen bajo de producción, el cual en 2014 fue de 5% respecto a la producción nacional (SIAP, 2015). Adicionalmente presenta problemas de comercialización debido a la cosecha de lotes de producción heterogéneos y falta de centros de acopio.

Del total de las importaciones, durante 2013, 63% correspondió a trigo harinero (CANIMOLT, 2014). Las características de calidad de los trigos duros importados son porcentajes de proteína de 12.6 a 15% asociado a fuerza de gluten de 350 a 500*10⁻⁴J y relación tenacidad/extensibilidad balanceada a extensible, de 1.2 a 0.9, respectivamente, lo cual se ve reflejado en la obtención de volúmenes de pan superiores a 800 cm³ (Maghirang *et al.*, 2006; McCallum and DePauw, 2008). Por lo que además de incrementar la superficie sembrada bajo condiciones de temporal se debe

with the tenacity/extensibility ratio. The genotypes Nahuatl F2000, Waldron, Ac Vista, Line 2, Kronstad F2004 and Kulm showed very good stability and bread volumes greater than 800 mL desirable characteristics for baking. Based on the above, genotypes that combine high bread volume with adequate stability that can be used within the breeding program were found.

Keywords: genetic variability, heritability, industrial quality, introduced common wheat, selection criteria.

Introduction

In 2013 in Mexico, 3.3 million tonnes of wheat were produced and 4.6 million tonnes were imported to cover domestic demand. Thus, wheat production (*Triticum aestivum* L.) in Mexico had an annual deficit close to 70%, which represents the import of 4.6 million tons from EE. UU and Canada. In this same year from the total national production 94.4% was under irrigation conditions during the autumn-winter cycle 2013-2014, under these production conditions the wheat crop is facing water shortage, and the conversion to crops of greater cost effectiveness. An alternative to counteract dependence on wheat consumption is to increase common wheat production under temporary conditions, which is characterized by growing under variable environmental conditions (Hortelano *et al.*, 2013) and by its low production volume, which in 2014 was 5% of the national production (SIAP, 2015). In addition, it presents marketing problems due to the harvesting of heterogeneous production lots and the lack of collection centers.

Of the total imports, during 2013, 63% corresponded to common wheat (CANIMOLT, 2014). The quality characteristics of imported hard wheats are protein percentages of 12.6 to 15% associated with gluten strength of 350 to 500*10⁻⁴J and ratio of tenacity/extensibility balanced to extensible, from 1.2 to 0.9, respectively, which is reflected in the production of bread volumes exceeding 800 cm³ (Maghirang *et al.*, 2006; McCallum and DePauw, 2008). Therefore, in addition to increasing the area sown under temporary conditions, common wheat flour be harvested with industrial quality comparable to that of imported wheat and its market price. According to Villaseñor and Espitia, 2000, there is potential for the planting of temporary wheat flour, in more than 500 000 ha in the states of Mexico and Tlaxcala, in addition, the proximity to the main grinding and

cosechar trigo harinero con la calidad industrial equiparable con el trigo importado y con su precio en el mercado. De acuerdo con Villaseñor y Espitia (2000), existe potencial para siembra de trigo harinero de temporal, en más de 500 000 ha en el Estado de México y Tlaxcala, adicionalmente, la cercanía a los principales centros de molienda y consumo, como lo son la Ciudad de México y Estado de México, donde demandan más de 60% de grano molido (CANIMOLT, 2014), incrementaría la rentabilidad debido a al ahorro por concepto de traslado.

Con base en lo anterior la producción de temporal, debe competir en calidad industrial, con el trigo importado. Por lo que se deben de evaluar fuentes genéticas que permitan mejorar las características de calidad física del grano y la calidad de la masa para incrementar la calidad panadera. De acuerdo con Espitia *et al.* (2004) existe la necesidad de incrementar la variabilidad genética en peso hectolítrico, proteína en grano y harina, volumen de sedimentación y volumen de pan. Lo anterior con el objetivo de mejorar la respuesta a la selección, la cual depende de la variabilidad genética y la heredabilidad. De acuerdo con Ehdaie y Waines (1989) el coeficiente de variación genética permite conocer la amplitud de su variabilidad a utilizar y valores altos de heredabilidad indican que la variación es debida a efectos genéticos y que su mejoramiento es fácil de realizar.

El volumen de pan es la variable determinante que expresa la funcionalidad de la masa; por lo que se busca mediante el fitomejoramiento seleccionar genotipos con mayor volumen de pan por cantidad de harina utilizada y adicionalmente mejorar su estabilidad a través de ambientes, la cual ha sido poco estudiado (Hristov *et al.*, 2010). Una limitante para la selección, en las etapas iniciales de segregación, con base en volumen de pan es el tamaño de muestra cosechado por lo que es necesario identificar variables que lo estimen en dichos tamaños de muestro (Seabourn *et al.*, 2012). Por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar, la variabilidad genética, su heredabilidad y su asociación de variables de calidad industrial que favorezcan el volumen de pan y su estabilidad a través de ambientes, en trigos harineros de EE.UU. y Canadá, cultivados en condiciones de temporal en los valles altos del centro de México.

Materiales y métodos

Se utilizaron 16 genotipos: Kulm, Keene, Waldron, SD3249, SD3195 y SD3236 son originarios de Estados Unidos de América y Blue Sky, Ac Vista, BW725, HY437,

consumption centers, as Mexico City and Estado de México, that demand more than 60% of ground grain (CANIMOLT, 2014), it would increase the profitability due to savings by means of transportation.

Based on the above the production of temporary, must compete in industrial quality, with imported wheat. Therefore, genetic sources must be evaluated to improve the physical quality of the grain and the dough quality to increase the quality of baking. According to Espitia *et al.* (2004) there is a need to increase the genetic variability in hectoliter weight, grain protein and flour, sedimentation volume and bread volume. The above with the aim of improving the response to selection, which depends on genetic variability and heritability. According to Ehdaie and Waines (1989) the coefficient of genetic variation allows to know the amplitude of its variability to use and high values of heritability indicate that the variation is due to genetic effects and that its improvement is easy to perform.

Bread volume is the determinant variable that expresses the dough functionality; so it is sought through breeding to select genotypes with more bread volumen per flour used and also to improve its stability through environments, which has not been widely studied yet (Hristov *et al.*, 2010). A limitation for the selection, in the initial stages of segregation, based on bread volume is the sample size harvested, so it is necessary to identify variables that estimate it in these sample sizes (Seabourn *et al.*, 2012). Therefore, the objective of this paper was to determine the genetic variability, its heritability and its association of industrial quality variables that favor bread volume and stability through environments, in US and Canadian common wheat, grown under temporary conditions in the high valleys of central Mexico.

Materials and methods

Sixteen genotypes were used: Kulm, Keene, Waldron, SD3249, SD3195 and SD3236 originate from the United States of America and Blue Sky, Ac Vista, BW725, HY437, HY439, HY632 from Canada; The advanced lines GAVIA/ROM/3/PIRUL/GUI//TEMP/AGR/4/JUCH (line 1) and PAMDOLY-PABG-Tardía-C4 (line 2), as well as the Náhuatl F2000 and Kronstad F2004 as witnesses, which were released by INIFAP's wheat breeding program. These genotypes were planted during June in temporary conditions in the localities known as Santa Lucía 2009, Chapingo first date 2009, Chapingo second date 2009, Coatepec 2009, Juchitepec

HY439, HY632 de Canadá; las líneas avanzadas GAVIA/ROM/3/PIRUL/GUI//TEMP/AGR/4/JUCH (línea 1) y PAMDOLY-PABG-Tardía-C4 (línea 2), así como las variedades Náhuatl F2000 y Kronstad F2004 como testigos, las cuales fueron liberadas por el programa de mejoramiento de trigo del INIFAP. Dichos genotipos se sembraron durante el mes de junio en condiciones de temporal en las localidades reconocidas como Santa Lucía 2009, Chapingo primera fecha 2009, Chapingo segunda fecha 2009, Coatepec 2009, Juchitepec 2009, Chapingo 2010, Coatepec 2010 y Juchitepec 2010, todas las localidades se localizan en el Estado de México, Santa Lucía de Prías y Chapingo se caracterizan por ser de clima templado subhúmedo C(Wo)(W)b(y)g. Chapingo se sitúa a 19° 13' latitud norte y 98° 51' longitud oeste a 2 250 msnm y Santa Lucía de Prías se localiza a 19° 44' latitud norte y 98° 87' longitud oeste a 2 260 msnm. Juchitepec y Coatepec se clasifican como de clima húmedo, Juchitepec se ubica a 2 571 msnm entre los 19° 06' latitud norte y 98° 53' longitud oeste y Coatepec a 2 320 msnm (García, 1981).

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con dos repeticiones en cada localidad y la unidad experimental fue de cuatro surcos de 3 m de longitud con una separación de 30 cm. La densidad de siembra fue de 120 kg ha⁻¹, se fertilizó con la fórmula 40-20-00, todo el N y todo el P₂O₅ a la siembra. Como fuente de fertilización se utilizó urea (CO (NH₂)₂) con 46% de N y superfosfato de calcio triple (Ca (H₂PO₄)₂) con 46% de P₂O₅. Las malezas de hoja angosta se controlaron con Topik 24EC® y las de hoja ancha con Esteron 47®. Durante la etapa de embuche se aplicaron 500 mL ha⁻¹ de Folicur®, para controlar la incidencia de enfermedades. Se cosechó con una mini combinada cuando la humedad del grano fue menor a 14%.

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 limpio en una balanza volumétrica (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL.). A partir del grano se obtuvo la harina refinada usando un molino Brabender (Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Alemania) con un cernido a través de una malla de 129 µm de diámetro. El contenido de proteína en harina (%) 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,

2009, Chapingo 2010, Coatepec 2010 and Juchitepec 2010, all localities are in the Estado de México, Santa Lucía de Prías and Chapingo are characterized by being subhumid temperate climate C(Wo)(W)b(y)g. Chapingo is located at 19° 13' north latitude and 98° 51' west longitude at 2 250 masl and Santa Lucía de Prías is located at 19° 44' north latitude and 98° 87' west longitude at 2 260 masl. Juchitepec and Coatepec are classified as wet weather, Juchitepec is located at 2 571 msnm between 19° 06' north latitude and 98° 53' west longitude and Coatepec at 2 320 msnm (García, 1981).

The experimental design was of randomized complete blocks with two replicates in each locality and the experimental unit was four rows of 3 m in length with a separation of 30 cm. Seed density was 120 kg ha⁻¹, fertilized with the formula 40-20-00, all N and all P₂O₅ at planting. As fertilization source, urea (CO (NH₂)₂) was used with 46% N and triple calcium superphosphate (Ca (H₂PO₄)₂) with 46% P₂O₅. Narrow-leaf weeds were controlled with Topik 24EC® and broad-leafed weeds with Esteron 47®. During the embedding stage 500 mL ha⁻¹ of Folicur® was applied to control the incidence of diseases. It was harvested with a mini combined when the grain moisture was less than 14%.

The industrial quality analyzes were carried out in the Laboratory of Farinology of CEVAMEX-INIFAP. The hectolitic weight (kg hL⁻¹) was determined on a 500 g sample of clean grain in a volumetric balance (Seedburo Equipment CO., Chicago, IL.). From the bean the refined flour was obtained using a Brabender mill (Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Germany) with a sifting through a mesh of 129 µm in diameter. The protein content in flour (%) was measured with the NIR analyzer Infralyzer 300 (method 39-10; AACC, 2005). The sedimentation volume (mL) was determined in a sample of 3.2 g refined flour by the presence of lactic acid and isopropyl alcohol (Zeleny, 1947), indicating the hydration and expansion capacity of the protein; to greater volume greater strength. Using the method 54-30A of the AACC (2005), the alveogram was obtained from Chopin's Alveograph (Tripette and Renaud, France), using a sample of 60 g of refined flour, from which strength (W) and the dough tenacity/extensibility ratio (PL) were obtained.

The doughs based on their W and PL can be classified by their W are grouped into strong doughs greater than 300*10⁻⁴ J, strong medium masses of 200*10⁻⁴ J to 300*10⁻⁴ J and smaller weak masses of 200*10⁻⁴ J and by its PL in balanced (PL= 1.1), extensible (PL <1) and tenacious (PL > 1.2). The bread volume (mL) was obtained by the direct dough method

1947), que indica la capacidad de hidratación y expansión de la proteína; a mayor volumen mayor fuerza. Usando el método 54-30A de la AACC (2005), en el Alveógrafo de Chopin (Tripette and Renaud, Francia) se obtuvo el alveograma, utilizando una muestra de 60 g de harina refinada, del cual se calculó la fuerza (W) y la relación de tenacidad/extensibilidad (PL) de la masa.

Las masas con base en su W y PL es posible clasificarlas por su W se agrupan en masas fuertes mayores de 300×10^{-4} J, masas medias fuertes de 200×10^{-4} J a 300×10^{-4} J y masas débiles menores de 200×10^{-4} J y por su PL en balanceadas (PL= 1.1), extensibles (PL< 1) y tenaces (PL> 1.2). El volumen de pan (mL) se obtuvo mediante el procedimiento de masa directa (AACC, 2005) a partir de 100 g de harina refinada, 3 g de leche en polvo, 3 g de grasa vegetal, a la cual se le adicionó 25 mL de una solución de levadura a 24% y 25 mL de una solución azúcar-sal, a 20 y 4%, respectivamente; el proceso de fermentación fue de 3 h y 25 min, con una humedad relativa del 90% a 35 °C. La cocción se realizó en un horno Despatech Oven Co. (Minneapolis USA) a 220 °C durante un tiempo de 25 min, el volumen total se midió en un volutómetro por medio del desplazamiento de semilla de colza (*Brassica campestris* L.).

Se realizó el análisis de varianza conjunto para las ocho localidades para todas las variables evaluadas. Previo al análisis de varianza de contenido de proteína en harina se realizó una transformación logarítmica de los datos porcentuales. Los genotipos se consideraron como efectos fijos y ambientes se consideraron como efectos aleatorios, el análisis de varianza se realizó mediante el procedimiento GLM del SAS (SAS, 2002), y las medias se compararon entre ellas mediante la diferencia mínima significativa honesta ($p \leq 0.05$) para identificar las diferencias entre genotipos y ambientes. En el Cuadro 1 se presenta la estructura del análisis de varianza y esperanzas de cuadrados medios.

El coeficiente de variación genética se calculó mediante el cociente de la desviación estándar genética entre la media. Coeficientes menores a 20 se clasifican como de variabilidad genética alta, de 12 a 20 variabilidad genética intermedia y mayores a 10 variabilidad baja. La heredabilidad se obtuvo al dividir la varianza genética entre la varianza fenotípica. Adicionalmente se obtuvieron las correlaciones de Pearson mediante el procedimiento CORR del SAS.

(AACC, 2005) from 100 g of refined flour, 3 g of milk powder, 3 g of vegetable fat, to which 25 mL of a 24% yeast solution and 25 mL of a sugar-salt solution were added to 20 and 4%, respectively; the fermentation process was 3 h and 25 min, with a relative humidity of 90% at 35 °C. Baking was carried out in a Despatech Oven Co. oven (Minneapolis USA) at 220 °C for 25 min, the volume was measured in a voltmeter by means of displacement of rapeseed (*Brassica campestris* L.).

A joint variance analysis was performed for the eight locations for all variables evaluated. Prior to the analysis of variance of protein content in flour, a logarithmic transformation of the percentage data was performed. Genotypes were considered as fixed effects and environments were considered as random effects, analysis of variance was performed using the SAS GLM procedure (SAS, 2002), and means were compared using the least significant difference ($p \leq 0.05$) in order to identify the differences between genotypes and environments. Table 1 presents the structure of the analysis of variance and mean square expectations.

Cuadro 1. Estructura del análisis de varianza combinado y esperanzas de cuadrados medios de 16 genotipos de trigo en ocho ambientes de temporal. Ciclo primavera-verano, 2009 y 2010.

Table 1. Structure of combined variance analysis and mean squares expectations of 16 wheat genotypes in eight temporal environments. Spring-summer cycle, 2009 and 2010.

FV	GL	SC	CM	ECM
Ambiente (A)	(a-1)	SCa		
Repeticiones (A)	a(r-1)	SCr(a)		
Genotipo (G)	(g-1)	SCg	CMg	$\sigma^2_e + r \sigma^2_{ag} + ra \sigma^2_g$
G*A	(g-1)(r-1)	SCag	CMag	$\sigma^2_e + r \sigma^2_{ag}$
Error	a(g-1)(r-1)	SCe	CMe	σ^2_e
Total	arg-1			

FV= fuentes de variación; GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; ECM= esperanzas de cuadrados medios; σ^2_g = varianza de genotipos; σ^2_{ag} = varianza de genotipos por ambiente; σ^2_e = varianza del error.

The coefficient of genetic variation was calculated by the quotient of the genetic standard deviation between the mean. Coefficients less than 20 are classified as high genetic variability, from 12 to 20 intermediate genetic variability and greater than 10 low variability. Heritability was obtained by dividing the genetic variance between the phenotypic variance. In addition, the Pearson correlations were obtained by the SAS procedure CORR.

Resultados y discusión

Las variables fuerza de la masa y relación tenacidad/extensibilidad presentaron los coeficientes de variación genética más altos, con 24.3 y 21.7, respectivamente. Ambos valores para estas características de la masa son similares a los encontrados por Espitia *et al.* (2004) en un grupo de variedades mexicanas de trigo producidos bajo temporal. Su amplitud para fuerza de la masa fue de $661 \cdot 10^{-4}$ J y de 2.1 para la relación tenacidad/extensibilidad. Dichos valores altos indican alta variación genética lo cual permitirá seleccionar genotipos con características específicas de fuerza y extensibilidad, los cuales pueden ser utilizados como fuentes genéticas para estas características dentro del programa de mejoramiento.

Por otro lado las variables volumen de sedimentación, proteína en harina, volumen de pan y peso hectolítrico mostraron coeficientes de variación genética menores a 10 lo cual indica que los genotipos introducidos poseen una variación genética reducida para estas características (Cuadro 2) por lo que se complica seleccionar estos caracteres en este grupo de genotipos así como obtener fuentes genéticas. Sin embargo, es importante indicar que en los materiales introducidos el valor máximo para proteína en harina fue mayor a 15 mg g^{-1} y el valor medio para volumen de pan fue mayor a 850 mL ambos valores son mayores respecto a los materiales mexicanos de acuerdo a lo reportado por Espitia *et al.* (2004) por lo que es posible identificar genotipos sobresalientes para estas características.

Results and discussion

The variables dough strength and tenacity/extensibility ratio presented the highest coefficients of genetic variation, with 24.3 and 21.7, respectively. Both values for these characteristics of the dough are similar to those found by Espitia *et al.* (2004) in a group of Mexican varieties of wheat produced under temporary. Its amplitude for dough strength was $661 \cdot 10^{-4}$ J and of 2.1 for the tenacity/extensibility ratio. These high values indicate high genetic variation, which will allow the selection of genotypes with specific characteristics of strength and extensibility, which can be used as genetic sources for these characteristics within the breeding program.

On the other hand, the variables sedimentation volume, flour protein, bread volume and hectoliter weight showed coefficients of genetic variation lower than 10, which indicates that the introduced genotypes have a reduced genetic variation for these characteristics (Table 2). So it would be complicated to apply the selection for these characters in this group of genotypes as well as to obtain genetic sources for these characters. However, it is important to indicate that in the materials introduced the maximum value for protein in flour was greater than 15 mg g^{-1} and the mean value for bread volume was higher than 850 mL, both values are higher than the Mexican materials according to that reported by Espitia *et al.* (2004) so it is possible to identify outstanding genotypes for these characteristics.

Cuadro 2. Parámetros genéticos estimados para variables de calidad industrial de genotipos de trigo harinero evaluados bajo temporal. Ciclo primavera-verano, 2009 y 2010.

Table 2. Estimated genetic parameters for industrial quality variables of common wheat genotypes evaluated under temporal. Spring-Summer cycle, 2009 and 2010.

Variable	CVG	Media	Mínimo	Máximo	h^2
Peso hectolítrico (kg hL^{-1})	1.6	73.8	58.8	82.4	0.16
Volumen de sedimentación (mL)	9.2	58.5	29	73	0.23
Proteína en la harina (mg g^{-1})	7	11.6	7.9	15.3	0.33
Fuerza de la masa (10^{-4} J)	24.3	440.4	80	741	0.37
Tenacidad/extensibilidad (0-7)	21.7	1	0.3	2.4	0.17
Volumen de pan (mL)	4.4	854.1	565	1000	0.19

CVG= coeficiente de variación genética; h^2 = heredabilidad.

Los valores de heredabilidad más altos fueron para fuerza de la masa, proteína en harina y volumen de sedimentación con 0.37, 0.33 y 0.23 respectivamente, lo cual indica que estas características se deben esencialmente a efectos genéticos lo que favorecerá que estos caracteres pueden ser recombinados y heredados en la progenie. Comportamiento contrario fueron volumen de pan, proteína en harina y peso hectolítrico, quienes presentaron heredabilidades menores a 0.2, por lo que su fitomejoramiento es más complicado dado que estas características son influenciadas por el ambiente.

Dado que la calidad panadera se refiere a la capacidad de obtener mayor volumen de pan con la misma cantidad de harina utilizada y dicha característica debe de mantenerse a través de los ambientes es necesario utilizar en el proceso de mejoramiento variables correlacionadas que favorezcan el volumen de pan. El volumen de pan se correlacionó positivamente con el contenido de proteína en la harina lo que concuerda con lo encontrado por Dowell *et al.* (2008) y Barak *et al.* (2013), esta relación positiva también se mostró con fuerza de la masa y volumen de sedimentación y se relacionó inversamente con la relación tenacidad/extensibilidad mismos resultados encontraron Li *et al.* (2013).

Lo anterior, indica que para seleccionar genotipos con mayor volumen de pan, hay que incrementar el contenido de proteína en harina, la fuerza de la masa y la extensibilidad, lo cual coincide con Nash *et al.* (2006) quienes indicaron que debe existir un balance entre fuerza y extensibilidad para favorecer el volumen de pan y no solo incrementar la fuerza de la masa. Dado que la variable tenacidad/extensibilidad no se correlacionó con volumen de sedimentación la cual es una prueba predictiva (Cuadro 3) es necesario implementar en etapas tempranas de segregación una variable de selección que permita favorecer la extensibilidad de la masa lo cual indirectamente favorecerá el volumen de pan.

The highest heritability values were for dough strength, protein in flour and sedimentation volume with 0.37, 0.33 and 0.23 respectively, which indicates that these characteristics are essentially due to genetic effects which will favor these characters to be recombined and inherited in the progeny. Contrary behavior showed volume of bread, protein in flour and hectoliter weight, that presented heritabilities less than 0.2, so that their breeding is more complicated since these characteristics are mostly influenced by the environment.

Since bread quality refers to the ability to obtain a larger volume of bread with the same amount of flour used and this characteristic must be maintained through the environments it is necessary to use in the breeding process correlated variables favoring bread volume. The bread volume was positively correlated with the protein content in the flour, which is consistent with that found by Dowell *et al.* (2008) and Barak *et al.* (2013), this positive relationship was also shown with dough strength and sedimentation volume and was inversely related to the tenacity/extensibility ratio, same results were obtained by Li *et al.* (2013).

This indicates that in order to select genotypes with higher bread volume, it is necessary to increase the protein content in flour, the dough strength as well as its extensibility, which coincides with that reported by Nash *et al.* (2006) who indicated that there must be a balance between strength and extensibility to favor bread volume and not only increase the dough strength. Since the variable tenacity/extensibility was not correlated with sedimentation volume which is a predictive test (Table 3) it is necessary to implement in early stages of segregation a selection variable that favors the dough extensibility, which indirectly favors bread volume.

Cuadro 3. Correlaciones de Pearson entre variables de calidad de 16 genotipos de trigo harinero evaluados bajo temporal. Ciclo primavera-verano, 2009 y 2010.

Table 3. Pearson's correlations among quality variables of 16 common wheat genotypes evaluated under temporal conditions. Spring-Summer cycle, 2009 and 2010.

Variable	VS	PH	W	PL	VP	SVP
Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)	-0.19**	-0.33**	-0.26**	0.15**	-0.36**	-0.37**
Volumen de sedimentación (mL)		0.43**	0.76**	-0.03 ns	0.51**	0.09 ns
Proteína en la harina (mg g ⁻¹)			0.41**	-0.13 ns	0.59**	0.18**
Fuerza de la masa (10 ⁻⁴ J)				0.08 ns	0.54**	0.09 ns
Tenacidad/extensibilidad (0-7)					-0.28**	-0.18**
Volumen de pan (mL)						0.25**

SVP= estabilidad de volumen de pan; ns, *, **= no significativo, significativo y significativo, respectivamente.

La correlación más alta fue entre la fuerza de la masa y volumen de sedimentación (Cuadro 3), lo anterior es similar a lo obtenido por Axford *et al.* (1979) y Zečević *et al.* (2007), dado que valores altos de volumen de sedimentación se han usado como herramienta para seleccionar indirectamente en etapas segregantes del mejoramiento genético genotipos de mayor fuerza de masa así como valores bajos de sedimentación son propios de genotipos con masas con poca fuerza. También se encontraron correlaciones positivas entre proteína en harina y volumen de sedimentación, lo que es concuerda a lo señalado por Espitia *et al.* (2004). La estabilidad del volumen de pan se relacionó positivamente con volumen de pan y proteína en harina e inversamente con peso hectolitrico y la relación tenacidad/extensibilidad, mientras que no hubo relación con volumen de sedimentación y fuerza de la masa.

En la Figura 1 se representan las correlaciones entre volumen de pan y su estabilidad. Los genotipos Náhuatl F2000, Waldron, Ac Vista, Línea 2, Kronstad F2004 y Kulm asociaron mayor estabilidad, dado por su valor menor en la escala numérica, con volúmenes de pan mayores a 800 mL.

De este grupo de genotipos, los que asociaron mayor estabilidad y volúmenes de pan superiores a 840 mL fueron Náhuatl F2000 y Waldron. La variedad Náhuatl F2000 asocio masa fuerte ($W > 500 \cdot 10^{-4}$ J) con una relación tenacidad/extensibilidad cercano a uno así como proteína en harina mayor a 11 mg g^{-1} (Figura 2A). El genotipo introducido Waldron mostró mayor extensibilidad, por su PL menor a 0.9 y masa fuerte con un contenido de proteína en la harina similar a Náhuatl F2000.

Los genotipos Línea 2 y Ac Vista, presentaron entre ellos estabilidad similar pero fue menor respecto a Náhuatl F2000 y Waldron, ambos presentaron volúmenes de pan cercanos a 820 mL. La línea 2 se caracterizó por ser de masa fuerte por su W próximo a $400 \cdot 10^{-4}$ J y extensible por su PL < 1.1 (Figura 2 B y C) lo cual le permitió alcanzar los volúmenes de pan indicados. Por otro lado Ac Vista se caracterizó por presentar los valores de proteína y fuerza de la masa más bajos con contenidos menores a 10.5 mg g^{-1} y $W < 250 \cdot 10^{-4}$ J, respectivamente, clasificándose por su fuerza como de masa media; sin embargo, debido a su excelente extensibilidad por su PL < 0.8, la cual fue la menor de todos los genotipos analizados, obtuvo volumen de pan aceptable, lo anterior concuerda con Różyło y Laskowski, (2011) quienes indicaron que volúmenes de pan altos son favorecidos por una extensibilidad mayor de la masa.

The highest correlation was between dough strength and sedimentation volume (Table 3), the above is similar to that obtained by Axford *et al.* (1979) and Zečević *et al.* (2007), since high values of sedimentation volume have been used as a tool to select genotypes of greater dough strength indirectly in segregating stages of genetic improvement as well as low values of sedimentation are characteristic of genotypes with low masses. Positive correlations were also found between flour protein and sedimentation volume, which is in agreement with Espitia *et al.* (2004). The stability of bread volume was positively related to bread and protein volume in flour and inversely with hectolitic weight and the tenacity/extensibility ratio, while there was no relation with sedimentation volume and dough strength.

Figure 1 shows the correlations between bread volume and its stability. The Nahuatl F2000, Waldron, Ac Vista, Line 2, Kronstad F2004 and Kulm genotypes associated greater stability, given their lower value in the numerical scale, with bread volumes greater than 800 mL.

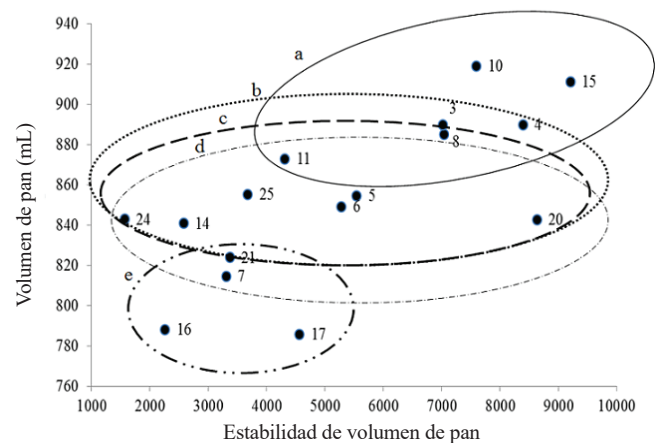


Figura 1. Comparación del volumen de pan (DSH= 48.5) en relación con la estabilidad del volumen de pan de genotipos de trigo harinero evaluados bajo temporal. Ciclo primavera-verano, 2009 y 2010. 3= BW725; 4= HY437; 5= HY439; 6= HY632; 7= AC Vista; 8= Blue sky; 10= Keene; 11= Kulm; 14= Waldron; 15= SD3249; 16= SD3195; 17= SD3236; 20= Línea 1; 21= Línea 2; 24= Náhuatl F2000; y 25= Kronstad F2004.

Figure 1. Comparison of bread volume (DSH = 48.5) in relation to the stability of bread volume of common wheat genotypes evaluated under temporal. Spring-Summer cycle, 2009 and 2010. 3= BW725; 4= HY437; 5= HY439; 6= HY632; 7= AC Vista; 8= Blue sky; 10= Keene; 11= Kulm; 14= Waldron; 15= SD3249; 16= SD3195; 17= SD3236; 20= Línea 1; 21= Línea 2; 24= Náhuatl F2000; y 25= Kronstad F2004.

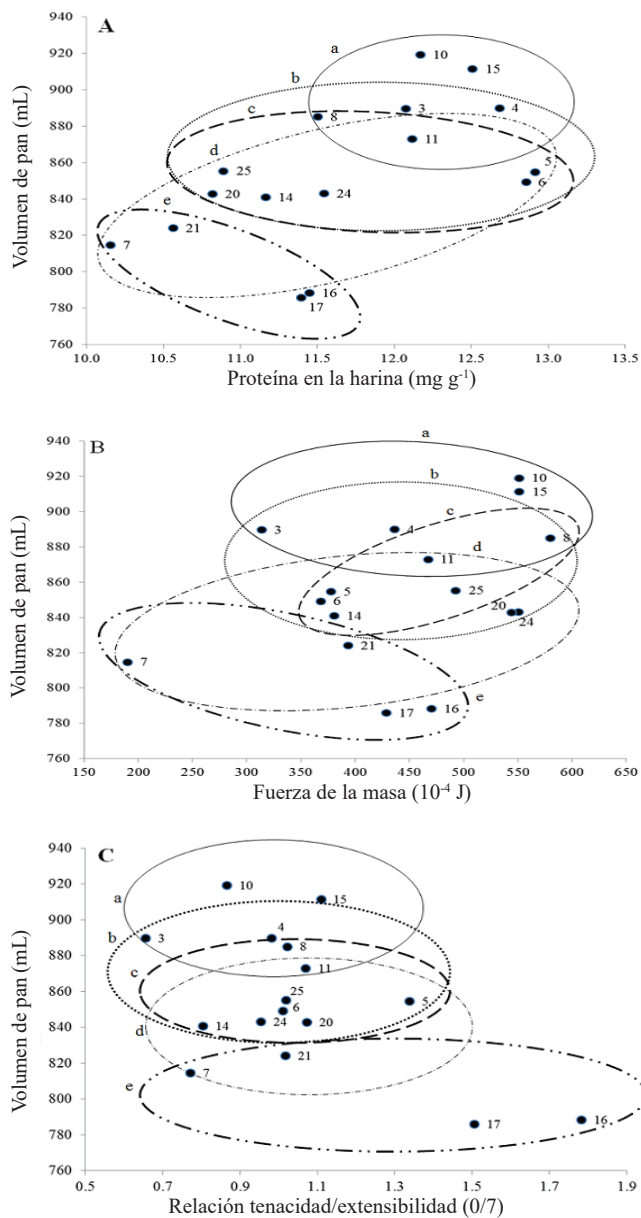


Figura 2. Comparación del volumen de pan (DSH=48.5) en función de proteína en harina (A), fuerza de la masa (B) y la relación tenacidad/extensibilidad (C) de genotipos de trigo harinero evaluados bajo temporal. Ciclo primavera-verano, 2009 y 2010. 3=BW725; 4=HY437; 5=HY439; 6=HY632; 7=AC Vista; 8=Blue sky; 10=Keene; 11=Kulm; 14=Waldron; 15=SD3249; 16=SD3195; 17=SD3236; 20=Línea 1; 21=Línea 2; 24=Náhuatl F2000; y 25=Kronstad F2004.

Figure 2. Comparison of bread volume (DSH=48.5) as a function of flour protein (A), dough strength (B) and tenacity/extensibility (C) ratio of common wheat genotypes evaluated under temporary. Spring-summer cycle, 2009 and 2010. 3=BW725; 4=HY437; 5=HY439; 6=HY632; 7=AC Vista; 8=Blue sky; 10=Keene; 11=Kulm; 14=Waldron; 15=SD3249; 16=SD3195; 17=SD3236; 20=Línea 1; 21=Línea 2; 24=Náhuatl F2000; y 25=Kronstad F2004.

Of this group of genotypes, those that associated greater stability and bread volumes above 840 mL were Nahuatl F2000 and Waldron. The Náhuatl F2000 variety associated strong dough ($W > 500 \cdot 10^{-4}$ J) with a close to tenacity/extensibility ratio as well as flour protein greater than 11 mg g^{-1} (Figure 2A). The introduced Waldron genotype showed greater extensibility, because its PL was lower than 0.9 and strong dough with a protein content in the flour similar to Nahuatl F2000.

The genotypes Line 2 and Ac Vista, presented similar stability among them but was lower with respect to Náhuatl F2000 and Waldron, both presented volumes of bread near 820 mL. Line 2 was characterized by strong dough at its W near $400 \cdot 10^{-4}$ J and extensible by its $PL < 1.1$ (Figure 2 B and C) which allowed it to reach the indicated volumes of bread. On the other hand, Ac Vista was characterized by lower values of protein and dough strength with contents lower than 10.5 mg g^{-1} and $W < 250 \cdot 10^{-4}$ J, respectively, classified by their strength as mean dough; however, due to its excellent extensibility by its $PL < 0.8$, which was the lowest of all genotypes analyzed, it obtained acceptable bread volume, the above agrees with Różyło and Laskowski, (2011) who indicated that high bread volumes are favored by a greater dough extensibility.

The Kronstad F2004 and Kulm genotypes presented intermediate stability values and were associated with bread volumes greater than 850 mL. Both genotypes presented strong dough for their $W > 400 \cdot 10^{-4}$ J and their PL close to one were classified as balanced. However, Kulm added intermediate stability and 870 mL of bread volume higher than Kronstad F2004, which is due in part to its protein content in flour greater than 12 mg g^{-1} , which is in agreement with Barak *et al.* (2013) who indicated that the protein content in the flour increases the bread volume.

The genotypes Keene, SD3249, HY437, BW725 and Blue sky presented values of bread volume higher than 870 mL; however, they showed low stability due to their high value on the numerical scale (Figure 1). The characteristics of these materials were flour protein contents greater than 11.5 mg g^{-1} . Their mass forces were greater than $400 \cdot 10^{-4}$ J, with the exception of BW 725, associated with $PL < 1.2$. On the other hand, the materials SD3195 and SD3236 presented good stability values, however, they were associated with the lower bread volumes < 800 mL, which is due to their masses being classified as tenacious, by their $PL > 1.5$, which according to Li *et al.* (2013) reduces the bread volume.

Los genotipos Kronstad F2004 y Kulm presentaron valores de estabilidad intermedia y se asociaron con volúmenes de pan mayores a 850 mL. Ambos genotipos presentaron masa fuerte por su $W > 400 \cdot 10^{-4}$ J y por su PL cercano a uno se clasificaron como balanceados. Sin embargo, Kulm conjuntó estabilidad intermedia y 870 mL de volumen de pan valor mayor respecto a Kronstad F2004, lo cual se debe en parte a su contenido de proteína en harina mayor a 12 mg g^{-1} , lo cual concuerda con Barak *et al.* (2013) quienes indicaron que el contenido de proteína en la harina incrementa el volumen de pan.

Los genotipos Keene, SD3249, HY437, BW725 y Blue sky presentaron valores de volumen de pan superiores a 870 mL; sin embargo, mostraron baja estabilidad debido a su valor alto en la escala numérica (Figura 1). Las características de estos materiales fueron contenidos de proteína en la harina mayores a 11.5 mg g^{-1} . Sus fuerzas de las masas fueron mayores a $400 \cdot 10^{-4}$ J, con excepción de BW 725, asociadas con $PL < 1.2$. Por otro lado los materiales SD3195 y SD3236 presentaron valores buenos de estabilidad; sin embargo, se asociaron con los volúmenes de pan más bajos < 800 mL, lo cual se debe a que sus masas se clasifican como tenaces, por su $PL > 1.5$, lo cual de acuerdo con Li *et al.* (2013) disminuye el volumen de pan.

Los genotipos Keene y SD3249 presentaron los valores mayores de volumen de pan los cuales fueron superiores a 900 mL; sin embargo, presentaron baja estabilidad. Estos genotipos se caracterizaron por sus contenidos de proteína en harina mayores a 12 mg g^{-1} asociado con fuerza de la masa de $550 \cdot 10^{-4}$ J y con una relación tenacidad/extensibilidad menor de uno para Keene y cercana a 1.1 para SD3249. La combinación anterior de alto contenido de proteína en harina, masa fuerte con buena extensibilidad es decir con valores de PL menores a 1.2 favorece los volúmenes de pan lo cual también ha sido indicado por Battenfield *et al.* (2016).

Con base en lo anterior, en los genotipos introducidos existe diversidad en su contenido de proteína así como también en la fuerza y extensibilidad de la masa lo que consecuentemente afecta el volumen de pan. De acuerdo con Lemelin *et al.* (2005) éstas variaciones en fuerza, extensibilidad y volumen de pan se deben también al tipo de variantes alélicas de gluteninas y gliadinas que intrínsecamente presenta cada genotipo lo cual es reconocido como calidad de la proteína y que también permitiría seleccionar que alelos asocian

The genotypes Keene and SD3249 presented the highest values of bread volume which were superior to 900 mL; however, they showed low stability. These genotypes were characterized by their flour protein content greater than 12 mg g^{-1} associated with mass strength of $550 \cdot 10^{-4}$ J and with a lower tenacity/extensibility ratio of one for Keene and close to 1.1 for SD3249. The above combination of high flour protein content, strong dough with good extensibility ie with PL values less than 1.2 favors bread volumes which has also been indicated by Battenfield *et al.* (2016).

Based on the above, in the introduced genotypes there is diversity in their protein content as well as in the strength and extensibility of the dough which consequently affects bread volume. According to Lemelin *et al.* (2005), these variations in bread strength, extensibility and volume are also due to the type of allelic variants of glutenins and gliadins that intrinsically presents each genotype which is recognized as protein quality and which would also allow to select which alleles associate greater volume and better stability through environments; however, such variants were not considered in this study.

Conclusions

In the introduced wheat germplasm, the dough strength conjugated high values of genetic variation and heritability, which may be exploited by the INIFAP breeding program, while the bread volume and hectoliter weight showed an inverse behavior.

In addition to selecting for higher protein content and higher sedimentation volume in early stages of common wheat planting, it is necessary to perform it to favor its dough extensibility, which will consequently increase bread volume.

The introduced genotypes Waldron, Ac Vista and Kulm associated good bread volumes with adequate stability so they should be used as genetic sources to improve baking quality.

End of the English version



mayor volumen y mejor estabilidad a través de ambientes; sin embargo, dichas variantes no se consideraron en este estudio.

Conclusiones

En el germoplasma de trigo introducido la fuerza de la masa conjugó valores altos de variación genética y heredabilidad lo cual podrá ser aprovechado por el programa de fitomejoramiento del INIFAP, mientras que el volumen de pan y peso hectolítrico mostraron un comportamiento inverso.

Además de seleccionar por mayor contenido de proteína y mayor volumen de sedimentación en etapas tempranas del fitomejoramiento de trigo harinero es necesario realizarlo para favorecer su extensibilidad de la masa lo cual consecuentemente incrementará el volumen de pan.

Los genotipos introducidos Waldron, Ac Vista y Kulm asociaron volúmenes de pan buenos con estabilidad adecuada por lo que deben de ser usados como fuentes genéticas para mejorar la calidad panadera.

Agradecimientos

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

Literatura citada

- AACC (American Association of Cereal Chemists). 2005. Approved methods of the AACC. 9th (Ed.). St. Paul, MN, USA.
- Axford, D. W. E.; McDermott, E. E. and Redman, D. G. 1979. Note on the sodium dodecyl sulfate test of breadmaking quality: comparison with Pelshenke and Zeleny tests. *Cereal Chem.* 56:582-584.
- Barak, S.; Mudgil, D. and Khatkar, B. S. 2013. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties. *LWT-Food Science and Technology.* 51:211-217.
- Battenfield, S. D.; Guzmán, C.; Gaynor, R. C.; Singh, R. P.; Peña, R. J.; Dreisigacker, S.; Fritz K. A. and Poland, J. A. 2016. Genomic selection for processing and end-use quality traits in the CIMMYT spring bread wheat breeding program. *The Plant Genome.* 9:1-12.
- CANIMOLT (Cámara Nacional de la Industria Molinera de Trigo). 2014. Reporte Estadístico al 2013. México. CANIMOLT. México. 98 p.
- Dowell, F. E.; Maghirang, E. B.; Pierce, R. O.; Lookhart, G. L.; Bean, S. R.; Xie, F.; Caley, M. S.; Wilson, J. D.; Seabourn, B. W.; Ram, M. S.; Park, S. H. and Chung, O. K. H. 2008. Relationship of bread quality to kernel, flour, and dough properties. *Cereal Chem.* 85:82-91.
- Ehdaie, B. and Waines, J. G. 1989. Genetic variation, heritability and path-analysis in landraces of bread wheat from southwestern Iran. *Euphytica.* 41:183-190.
- Espitia, R. E.; Villaseñor, M. H. E.; Peña, B. R. J.; Huerta, E. J. y Limón, O. A. 2004. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. II. Variabilidad genética y criterios de selección. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:41-47.
- García, M. E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlos a las condiciones de la República Mexicana). 3^{ra} edición. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 252 p.
- Hortelano, S. R.; Villaseñor, M. H. E.; Martínez, C. E.; Rodríguez, G. M. F.; Espitia, R. E. y Mariscal, A. L. 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.
- Hristov, N.; Mladenov, N.; Djuric, V.; Kondic-Spika, A.; Marjanovic-Jeromela, A. and Simic, D. 2010. Genotype by environment interactions in wheat quality breeding programs in southeast Europe. *Euphytica.* 174:315-324.
- Lemelin, E.; Branlard, G.; Salvo, L.; Lein, V.; Aussenac, T. and Dayde, J. 2005. Breadmaking stability of wheat flours: relation between mixing properties and molecular weight distribution of polymeric glutenins. *J. Cereal Sci.* 42:317-326.
- Li, Y.; Wu, Y.; Hernandez-Espinosa, N. and Peña, R. J. 2013. The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. *J. Cereal Sci.* 57:73-78.
- Maghirang, E. B.; Lookhart, G. L.; Bean, S. R.; Pierce, R. O.; Xie, F.; Caley, M. S.; Wilson, J. D.; Seabourn, B. W.; Ram, M. S.; Park, S. H.; Chung, O. K. and Dowell, F. E. 2006. Comparison of quality characteristics and breadmaking functionality of hard red winter and hard red spring wheat. *Cereal Chem.* 83:520-528.
- McCallum, B. D. and DePauw, R. M. 2008. A review of wheat cultivars grown in the canadian prairies. *Can. J. Plant Sci.* 88:649-677.
- Nash, D.; Lanning, S. P.; Fox, P.; Martin, J. M.; Blake, N. K.; Souza, E.; Graybosch, R. A.; Giroux, M. J. and Talbert, L. E. 2006. Relationship of dough extensibility to dough strength in a spring wheat cross. *Cereal Chem.* 83:255-258.
- Rózyło, R. and Laskowski, J. 2011. Predicting bread quality (bread loaf volume and crumb texture). *Polish J. Food and Nutrition Sci.* 1:61-67.
- Seabourn, B. W.; Xiao, Z. S.; Tilley, M.; Herald, T. J. and Park, S. H. 2012. A rapid, small-scale sedimentation method to predict breadmaking quality of hard winter wheat. *Crop Sci.* 52:1306-1315.
- SIAP (Servicio de información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Obtenido de la red. www.siap.gob.mx.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 2002. SAS user's guide. Statistics. Version 8. SAS Inst., Cary, NC. USA.
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal, problemática y condiciones de producción. *In: Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (Eds.). El Trigo de temporal en México.* Chapingo, México, SAGAR-INIFAP. Libro Técnico Núm. 1. 85-98 p.

Zečević, V.; Knežević, D. and Mićanović, D. 2007. Variability of technological quality components in winter wheat. *Genetika*. 39:365-374.

Zeleny, L. 1947. A simple sedimentation test for estimating bread-baking and gluten qualities of wheat flour. *Cereal Chem.* 24:465-475.