



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

de la O Olán, Micaela; Espitia Rangel, Eduardo; López Sánchez, Higinio; Villaseñor Mir, Héctor E.;
Peña Bautista, Roberto J.; Herrera Hernández, Juan

Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 3, núm. 2, 2012, pp. 271-283

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123201005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Calidad física de grano de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) mexicanos de temporal*

Physical quality from rainfall Mexican bread wheat (*Triticum aestivum* L.) grains

Micaela de la O Olán¹, Eduardo Espitia Rangel^{2§}, Higinio López Sánchez³, Héctor E. Villaseñor Mir², Roberto J. Peña Bautista⁴ y Juan Herrera Hernández¹

¹Genética. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km. 38.5. Montecillo, Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9520200. Ext. 1510, 1570. (micad@colpos.mx), (jherrera@colpos.mx). ²Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. A. P. 307 y 10. Tel. 595 9212738. Ext. 180 y 161. (hevimir3@yahoo.com.mx). ³Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla km 125.5. Santiago, Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, Puebla. C. P. 72720. (higiniols@colpos.mx). ⁴Programa de Trigo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Carretera México-Veracruz, km 45. El Batán-Texcoco, Estado de México. A. P. 6-641. C. P. 56130. (j.pena@cgiar.org). [§]Autor para correspondencia: espitia.eduardo@inifap.gob.mx.

Resumen

La pureza genética, sanidad y calidad física del grano son importantes para la comercialización de trigo harinero. Se sabe que el ambiente afecta algunos de los parámetros físicos de este cereal; por lo que el objetivo de este estudio fue determinar la influencia del ambiente en algunos parámetros de calidad física de tres poblaciones de trigo harinero desarrolladas por descendencia de una sola semilla de F₂ a F₆, el primer grupo estuvo constituido por 69 líneas de la cruza Rebeca F2000 x Salamanca S75, el segundo formado por 98 genotipos de la cruza Rebeca F2000 x Baviácora M92, y el tercero formado por 98 genotipos de la cruza Gálvez M87 x Rebeca F2000, más los progenitores. Los genotipos del primer grupo se sembraron en Roque, Guanajuato (otoño-invierno 2006-2007) con riego normal (cinco riegos) y restringido (tres riegos). Los genotipos de la segunda y tercer cruza fueron sembradas en Santa Lucía de Pías y Chapingo, Estado de México (primavera-verano, 2006). Se evaluaron las variables peso hectolítrico (kg hL⁻¹), dureza del grano (%) y contenido de proteína en grano (%). Se realizó análisis de varianza, histogramas de

Abstract

Genetic purity, health and physical quality of grain are important characteristics for marketing bread wheat. It is well known that environment affects some of its physical parameters; therefore the aim of this study was to determine environment influence in some physical quality parameters of three bread wheat populations developed by progenies from one single F₂ to F₆ seed, the first group was comprised by 69 lines of Rebeca F2000 x Salamanca S75 breed, the second was formed by 98 genotypes of Rebeca F2000 x Baviácora M92 breed, and the third was formed by 98 genotypes of Gálvez M87 x Rebeca F2000 breed, plus parents. The genotypes from the first group were sown at Roque, Guanajuato (autumn-winter 2006-2007) with normal (five irrigations) and restricted (three irrigations) irrigation. The genotypes of second and third breeds were sown at Santa Lucía de Pías and Chapingo, State of Mexico (2006 spring-summer). The following variables were assessed: hectolitre weight (kg hL⁻¹), grain hardness (%), and protein content in grain (%). An analysis of variance and frequencies histogram were made and means with least significant difference

frecuencias y las medias se compararon con la diferencia mínima significativa. Los genotipos mostraron diferencias altamente significativas para todas las variables de calidad física evaluadas, y también se detectaron diferencias altamente significativas para peso hectolítrico y proteína en grano para los niveles de humedad y localidades. En los histogramas de frecuencia del peso hectolítrico los tres grupos de poblaciones muestran tendencia hacia una distribución normal lo que sugiere que dicha variable involucra un alto número de genes y es fuertemente influenciada por el ambiente. Se identificaron genotipos superiores a los progenitores en peso hectolítrico, por lo que se tienen materiales disponibles para realizar selección.

Palabras clave: contenido de proteína, cruzas, dureza, peso hectolítrico.

Introducción

La Norma Oficial Mexicana NOM-FF-36-1994 (DNG, 1994) de comercialización de productos alimenticios clasifica el trigo (*T. aestivum* y *durum*) en cinco grupos de calidad, que se basan en las características físicas del grano, además este cereal se puede agrupar por las características de calidad del gluten (proteínas) (Salazar, 2000). Los parámetros de calidad del grano de trigo dependen básicamente de su constitución genética, del ambiente en el cual se desarrolló el cultivo, y del manejo que se realice del grano una vez cosechado (Espitia *et al.*, 2003; Peña *et al.*, 2008). Los principales parámetros que se determinan para clasificar la calidad física del grano son: el peso hectolítrico, peso de mil granos, tamaño y forma del grano, dureza del grano, análisis fitosanitarios y daños ocasionados por factores abióticos. Así como el contenido de humedad (Salazar, 2000). La calidad física, también puede caracterizarse con base en la prueba de flotación, densidad de grano y relación de molienda (Dios *et al.*, 1992).

De la calidad física, el peso hectolítrico es una de las características más importantes del comercio mundial de trigo y es considerado por el molinero como una característica importante por su relación significativa con rendimiento harinero, debido a que está relacionado con la condición física del grano y por lo tanto con la densidad real del grano la cual se expresa en kg hL⁻¹. La densidad del grano está determinada por la estructura biológica y la composición química, incluyendo el contenido de humedad. El peso hectolítrico está influenciado por la forma y el tamaño del grano. Otros factores como la presencia de

were compared. The genotypes showed highly significant differences for all physical quality variables assessed, and this also occurred for hectolitre weight and protein content in grain for humidity levels and localities. In the hectolitre weight frequency histograms the three population groups show trend towards normal distribution which suggests that such variable involves high amount of genes and it is strongly affected by environment. Genotypes with better hectolitre weight than parents were identified; therefore materials are available to make selection.

Key words: protein content, breeds, hardness, hectolitre weight.

Introduction

The Official Mexican Standard NOM-FF-36-1994 (DNG, 1994) regarding food products commercialization classifies wheat (*T. aestivum* and *durum*) in five quality groups based on grain's physical characteristics, also this cereal can be grouped by gluten quality characteristics (proteins) (Salazar, 2000). Wheat grain quality parameters basically depend on its genetic constitution, on environment in which crop is developed, on grain handling after harvested (Espitia *et al.*, 2003; Peña *et al.*, 2008). The main parameters that are determined to classify grain's physical quality are: hectolitre weight, 1 000 grains weight, grain size and shape, phytosanitary analysis and damages caused by abiotic factors. As well as humidity content (Salazar, 2000). Physical quality can also be characterized by floating test, grain density and milling ratio (Dios *et al.*, 1992).

From physical quality characteristics, hectolitre weight is one of the most important for wheat worldwide commercialization and within milling process is considered key due its important relationship with flour yield since it is related to grain's physical condition and therefore to actual grain density expressed in kg hL⁻¹. Grain density is determined by biological structure and chemical composition, including humidity content. Hectolitre weight is influenced by grain shape and size. Other factors like presence of non-mature grains, wheat slightly damaged by drought or by diseases decrease hectolitre weight and therefore flour yield (Halverson and Zeleny, 1988, Gaines *et al.*, 1997, Peña *et al.*, 2008). Generally, grains harvested in rainfall conditions show high hectolitre weight values (82 kg hL⁻¹), which are better than the values obtained from

granos inmaduros, trigos dañados severamente por sequía o por enfermedades disminuyen el peso hectolítrico y por lo tanto el rendimiento harinero (Halverson y Zeleny, 1988, Gaines *et al.*, 1997, Peña *et al.*, 2008). Generalmente granos cosechados en condiciones de riego representan valores altos de peso hectolítrico (82 kg hL⁻¹), los cuales son mayores a los valores de un grano chupado o dañado por sequía (Peña *et al.*, 2002; Peña *et al.*, 2008). En las siembras de trigos de temporal, la calidad física del grano es afectada en algunas ocasiones por factores como lluvias durante la maduración del grano, sequía, hongos, prebrotado del grano, etc., que originan bajo peso hectolítrico, por lo que se tienen problemas de comercialización (Salazar, 2000).

Las proteínas puroindolinas a y b (genes *Pina-D1b* y *Pinb-D1b*, respectivamente, localizados en el brazo corto del cromosoma 5D) son la base genética de la dureza (textura del endospermo) del grano de trigo (Martin *et al.*, 2008). La dureza es producida por la fuerza de unión entre la proteína y almidón en el endospermo, la cual es controlada genéticamente. El porcentaje de dureza, influye en el tiempo de molienda, consumo de energía y en la capacidad de absorción de agua las harinas (Miller *et al.*, 1982, Peña *et al.*, 2008). La cantidad de proteína en grano de trigo es controlada en gran medida por factores tales como condiciones de disponibilidad de agua durante la maduración, contenido de nitrógeno en el suelo, manejo del cultivo y aplicación de fertilizantes nitrogenados así como por las condiciones climáticas y características intrínsecas de cada genotipo (Kent, 1983). La cantidad de proteína en grano indica de manera indirecta la cantidad de proteína del presente en la harina, y este a su vez define la calidad de panificación. Un bajo contenido de proteína es un indicador de que el cultivo no cuenta con nitrógeno en la fase de llenado de grano (Peña *et al.*, 2008).

La calidad de trigo tiene diferente significado o definición para cada uso del grano. El trigo de buena calidad para hacer pan debe tener un gluten fuerte y extensible, mientras que el trigo de buena calidad para hacer pasteles o galletas tiene sólo un mínimo de gluten. Es muy poco probable que un sólo trigo satisfaga ambas necesidades. Entonces, las pruebas físicas y observaciones del trigo en realidad describen algunas de sus características, más que evaluar su calidad. Existe la convicción entre los mejoradores de trigo que la forma y el tamaño del grano tienen un efecto importante sobre el peso hectolítrico, los granos redondos y chicos tendrían mejor peso hectolítrico que los granos grandes y alargados. Así, es de esperar que cultivares de grano redondo y chico resulten

absorbed grain or damaged by drought (Peña *et al.*, 2002; Peña *et al.*, 2008). In rainfall wheat crops, grain physical quality sometimes is affected by factors like rainfall during grain maturity, drought, fungi, grain pre-sprout, etc., which cause low hectolitre weight, and then commercialization issues arise (Salazar, 2000).

The a and b puroindolines proteins (genes *Pina-D1b* and *Pinb-D1b*, respectively, located in the short arm of chromosome 5D) are the genetic base for wheat grain hardness (endosperm texture) (Martin *et al.*, 2008). Hardness is produced by bonding strength between protein and starch in endosperm, which is genetically controlled. Hardness percentage affects milling time, energy consumption and flours capacity to absorb water (Miller *et al.*, 1982, Peña *et al.*, 2008). The amount of protein in wheat grain is controlled in great extent by factors such as water availability conditions during maturation, nitrogen content in soil, crop handling and use of nitrogen fertilizer as well as climatic conditions and intrinsic characteristics of each genotype. The amount of protein in grain indirectly represent amount of protein in flour, and in turn this defines bread quality. Low protein content is an indicator that crop has no nitrogen in grain filling stage (Peña *et al.*, 2008).

Wheat quality has different meaning or definition according to grain usage. Good quality wheat for making bread must have strong and extensible gluten, while good quality wheat for cake or cookies has minimum amount of gluten. It is very unlikely that a single type of wheat satisfies both needs. Then, wheat physical tests and verifications actually describe some of its characteristics, instead of assessing its quality. There is a believe among wheat breeders that grain shape and size have an important effect on hectolitre weight, round and small grains would have better hectolitre weight than large and oval shape grains. In this way, it is foreseen that round and small grains are more tolerant to limiting sources during grain filling. Nevertheless, this has not been quantified (Troccoli and di Fonzo, 1999).

Since there are environment phenomena effects on some of physical parameters and protein content, the purpose of this study was to determine influence of environment from assessed genotypes and from interaction of both factors in some parameters of physical quality (mainly hectolitre weight) from a group of lines derived from breed between Mexican flour wheat Rebeca F2000 x Salamanca S75, Rebeca F2000 x Baviácora M92, and Gálvez M87 x Rebeca F2000.

más tolerantes a limitaciones de fuente durante el llenado de los granos. No obstante, esto no ha sido cuantificado (Troccoli y di Fonzo, 1999).

Al existir efectos de los fenómenos ambientales con alguno de los parámetros físicos y el contenido de proteína, el propósito del presente estudio fue determinar la influencia del ambiente de los genotipos evaluados y de la interacción de ambos factores en algunos parámetros de calidad física (principalmente peso hectolítrico) de un grupo de líneas derivadas de la cruce entre los trigos harineros mexicanos Rebeca F2000 x Salamanca S75, Rebeca F2000 x Baviácora M92, y Gálvez M87 x Rebeca F2000.

Materiales y métodos

Material vegetal y condiciones experimentales

El material genético utilizado fueron tres grupos de variedades de trigo harinero las cuales fueron desarrolladas por descendencia de una sola semilla de F_2 a F_6 : el primero constituido por 69 líneas de la cruce Rebeca F2000 x Salamanca S75, más los progenitores. El segundo grupo formado por 98 líneas recombinantes a partir de la cruce Rebeca F2000 x Baviácora M92 más los progenitores, y el tercer grupo formado por los 98 genotipos cruce Gálvez M87 x Rebeca F2000 más los progenitores. Los 71 genotipos de la primer cruce se sembraron en el Campo Experimental del Bajío (CEBAJ) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ubicado en Roque, Guanajuato, en el ciclo otoño-invierno 2006-2007, el cual se desarrolló en dos condiciones de riego: restringido (tres riegos) y normal (cinco riegos). Roque, Guanajuato, presenta un clima semicálido subhúmedo, precipitación media de 600 a 800 mm, temperatura media entre 18 y 20 °C, temperatura máxima de 30 a 32 °C de mayo a junio (García, 1988). Los 98 genotipos y los progenitores de la segunda y tercer cruce fueron sembradas en condiciones de temporal, en Santa Lucía de Prías y Chapingo, México, en ciclo primavera-verano 2007. Santa Lucía de Prías está ubicado en Texcoco, Estado de México entre los 19° 29' latitud norte y 98° 53' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altura de 2 250 msnm, clima templado subhúmedo, con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 636.5 mm, su temperatura media anual es de 15.2 °C, una temperatura media máxima de 17.9 °C y una temperatura media mínima de 11.8 °C (García, 1988). Chapingo, Estado de México está ubicado

Materials and methods

Vegetal material and experimental conditions

The genetic material used was three bread wheat varieties which were developed by progenies from one single F_2 to F_6 seed: the first group was comprised by 69 lines of Rebeca F2000 x Salamanca S75 breed plus parents. The second group was formed by 98 recombinant lines of Rebeca F2000 x Baviácora M92 breed plus parents, and the third group was formed by 98 genotypes of Gálvez M87 x Rebeca F2000 breed plus parents. The 71 genotypes of first breed were sown at Bajío Experimental Station (CEBAJ) which belongs to National Research Forestry, Agriculture and Livestock Institute (INIFAP), located at Roque, Guanajuato, during 2006-2007 autumn-winter cycle, and it was developed under two irrigation conditions: restricted (three irrigations) and normal (five irrigations). Roque, Guanajuato, has semi-warm sub-humid climate, mean rainfall from 600 to 800 mm, mean temperature between 18 and 20 °C, maximum temperature from 30 to 32 °C in May and June (García, 1988). The 98 genotypes and parents from second and third breed were sown under rainfall conditions, at Santa Lucía de Prías and Chapingo, Mexico, in 2007 spring-summer cycle. Santa Lucía de Prías is located in Texcoco, state of Mexico between 19° 29' northern latitude and 98° 53' west longitude from Greenwich meridian, at a height of 2 250 masl, sub-humid temper climate, with rains in summer and yearly mean rainfall of 636.5 mm, yearly mean temperature is 15.2 °C, maximum mean temperature of 17.9 °C and minimum mean temperature of 11.8 °C (García, 1988). Chapingo, state of Mexico, is located in 19° 29' northern latitude and 98° 53' western longitude at a height of 2 251 masl, sub-humid temper climate, yearly mean temperature is 15.1 °C, maximum mean temperature of 17.8 °C and minimum mean temperature of 11.7 °C (García, 1988).

In all breeds, a completely random experimental blocks design with two repetitions was used. The experimental unit consisted in four furrows of three meters length with 30 cm of separation between them. Planting and agronomical handling from experiments were performed following recommendations issued by INIFAP for each region. Experimental plots were harvested with mini-combine and samples were cleaned for laboratory analyses.

a 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste a una altitud de 2 251 msnm, clima templado subhúmedo, temperatura media anual es de 15.1 °C, una temperatura media máxima de 17.8 °C y una temperatura media mínima de 11.7 °C (García, 1988).

En todas las cruza, se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con dos repeticiones. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de tres metros de longitud con una separación de 30 cm entre ellos. La siembra y la conducción agronómica de los experimentos se realizaron siguiendo las recomendaciones emitidas por el INIFAP para cada región. Las parcelas experimentales se cosecharon con una mini-combinada y las muestras se limpiaron para ser analizadas en laboratorio.

Características de los progenitores

Rebeca F2000 es una variedad que se caracteriza por ser de largo ciclo a madurez, resistente al acame, se adapta en ambientes lluviosos y medio lluviosos de México bajo temporal, su grano es de tamaño mediano de color ámbar a rojo claro, posee un endospermo duro a semiduro, peso hectolítico de 78 kg hL⁻¹, de gluten fuerte y extensible, adecuada para la elaboración de pan de caja (Villaseñor *et al.*, 2004)

Salamanca S75 presenta granos de color rojo, con endospermo suave a semisuave se asocia a bajos contenidos de proteína, con tiempos de amasado cortos, con poca tolerancia al sobre amasado, esto permite que sus productos finales sean destinados a galletas y repostería (Salazar, 2000).

Gálvez M87 es una variedad de ciclo precoz, resistente al acame, se adapta en ambientes bajo temporal, su grano es de tamaño mediano de color crema y de endospermo suave, es una variedad de excelente calidad industrial, sobre todo por la extensibilidad de su masa que le permite, a pesar de ser de gluten medio, alcanzar volúmenes de pan semejantes a variedades de gluten fuerte (Villaseñor y Espitia, 2000).

Baviácora M92 es una variedad de ciclo intermedio, tolerante al acame, se adapta en condiciones de riego, su grano es de tamaño mediano de color rojo, variedad de gluten medio fuerte, posee un endospermo semiduro.

Análisis de laboratorio

Los análisis para las variables de calidad se efectuaron en el laboratorio de calidad de trigo del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Las variables

Parents characteristics

Rebeca F2000 is a cultivar characterized by its long maturity cycle, lodging resistance, it is well adapted to rain and intermediate rain environments from Mexico under rainfall, its grain is of middle size and from yellow to clear white color, it has an endosperm from hard to semi-hard, hectolitre weight of 78 kg hL⁻¹, of strong and flexible gluten, suitable for elaboration of pan bread (Villaseñor *et al.*, 2004).

Salamanca S75 has red color grains, with soft to semi-soft endosperm associated to low protein content, with short dough knead times, with low tolerance to over-knead, this allows cookies and pastrymaking as final products (Salazar, 2000).

Gálvez M87 is an early cycle cultivar, lodging resistant, that adapts to environments under rainfall, its grain is of cream color, intermediate size and soft endosperm, has an excellent industrial quality, especially because its dough extensibility, despite being from intermediate gluten, allows to reach bread volumes similar to strong gluten cultivars (Villaseñor and Espitia, 2000).

Baviácora M92 is an intermediate cycle cultivar, lodging resistant, that adapts to irrigation environments, it has red color grain of intermediate size, intermediate strong gluten variety, and has semi-hard endosperm.

Laboratory analysis

Analyses for quality variables were performed in wheat quality laboratory from International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). The hectolitre weight (kg hL⁻¹), grain hardness (%), protein in grain (%) and also grain width and length (cm) were the assessed variables. The hectolitre weight was determined using a Winchester Bushel Meter o Ohaus (Method 55-10, AACC, 2005) weighing scale. Hectolitre weight measures grain weight per volume unit (kg hL⁻¹).

Hardness was estimated by near infrared reflectance analysis (NIR) with an Infralyzer 300 (Technicon, N. Y., USA) spectrometer calibrated with base on particle size index (Method 55-30; AACC, 2000), using AACC (AACC, 2000). Soft endosperm wheat produces greater proportion of fine particles which corresponds to higher percentages. With data obtained a classification is made according to values from NIR: hard < 49, semi-hard 50-59, semi-soft 60-62 and soft >62.

evaluadas fueron peso hectolítrico (kg hL^{-1}), dureza del grano (%), proteína en grano (%) además de ancho y largo del grano (cm).

El peso hectolítrico fue determinado en una balanza Winchester Bushel Meter o Ohaus (Método 55-10, AACC, 2005). El peso hectolítrico mide el peso del grano por unidad de volumen (kg hL^{-1}).

La dureza se estimó mediante análisis por reflectancia en el espectro infrarrojo cercano (NIR, por sus siglas en inglés de near infrared reflectance) con un espectrómetro Infrazyzer 300 (Technicon, N. Y., EE. UU.) calibrado con base en el índice de tamaño de partícula (Método 55-30; AACC, 2000), utilizando el método 39-70A de la AACC (AACC, 2000). Los trigos de endospermo suave producen mayor proporción de partículas finas lo cual corresponde a porcentajes más altos. Con los datos obtenidos se realiza una clasificación de acuerdo con valores obtenidos en el NIR, en: duro < 49 , semi-duro 50-59, semi-suave 60-62 y suave > 62 .

El contenido de proteína en el grano (%), se estimó mediante un espectrofotómetro de reflectancia de luz dentro del rango del infrarrojo cercano, (NIR, por sus siglas en inglés de near infrared reflectance) infrazyzer 300 (Technicon, N. Y, EE. UU). Para su calibración, se utilizaron valores de contenido de proteína determinados por Kjeldahl (método 46-11A AACC, 2000), usando el método 39-10 de la AACC (AACC, 2000).

Las mediciones del ancho (cm) y largo (cm) de la semilla sólo se realizaron en la cruz 1, empleando un vernier digital, donde se tomaron 25 semillas de cada línea para tomarle las mediciones pertinentes y donde se obtuvo un promedio general, de todo el material evaluado.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza para cada una de las variables estudiadas y en cada una de las tres poblaciones, utilizando para dureza de grano y proteína de grano la transformación de los datos por medio de Logaritmo natural. Posteriormente, se realizaron histogramas de frecuencias para el peso hectolítrico, debido a que es una de las variables más importantes en el comercio mundial, para poder detectar el número de genes involucrados en dicha variable, empleando una prueba de normalidad de los datos (Shapiro-Wilks) con anterioridad. Se obtuvieron las medias de todas las líneas recombinantes y los progenitores para

Grain protein content (%) was estimated by light reflectance spectrophotometer within near infrared range (NIR) with an Infrazyzer 300 (Technicon, N. Y., USA). For its calibration, values of protein content determined by Kjeldahl (method 46-11A AACC, 2000) were used, applying method 39-10 from AACC (AACC, 2000).

Measurements for seed width (cm) and length (cm) were made only in breed 1, using digital vernier scale, taking 25 seeds from each line to make corresponding measurements and obtaining general average from assessed material.

Statistical analysis

Analysis of variance for each one of studied variables and in each of the three populations was made using grain hardness and grain protein content data transformation by natural logarithm. After that, frequencies histograms for hectolitre weight were made in order to detect the number of genes involved in such variable, using a previously normality test for data (Shapiro-Wilks). Means for all recombinant lines and parents for each one of the breeds were obtained using LSMEANS test, with software SAS's GLM procedure. Pearson correlations were obtained with software SAS's CORR procedure (SAS Institute, 1994) to see relationship between variables.

Results and discussion

Table 1 shows square means of analysis of variance from Rebeca F2000 x Salamanca S75 breed per irrigation condition, genotypes and interaction genotype per irrigation. There were highly significant differences in hectolitre weight and grain protein for irrigation condition, indicating that available humidity is fundamental for such variables. This result coincides with Peña *et al.* (2002); Monaghan *et al.*, 2001 and Farrer *et al.* (2006), who reported that maximum reachable hectolitre weight per line or cultivar depends significantly on environment conditions and other non controllable external factors. In this way, wheat harvested under irrigation and with favorable crop conditions tends to produce grain with greater hectolitre weight than the ones harvested under rainfall (dryland farming) and environmental stress (drought, extreme temperature in grain maturity stage, etc.) conditions.

cada una de las cruzas, utilizando la prueba de LSMEANS, con el procedimiento GLM de SAS. Las correlaciones de Pearson se obtuvieron con el procedimiento CORR del SAS (SAS Institute, 1994) para ver la asociación entre variables.

Resultados y discusión

En el Cuadro 1 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza de la cruza Rebeca F2000 x Salamanca S75 por condición de riego, genotipos y la interacción genotipo por riego. Hubo diferencias altamente significativas en las variables peso hectolítrico y proteína en grano para condición de riego, lo que indica que la humedad disponible es fundamental en dichas variables. Este resultado concuerda con Peña *et al.* (2002); Monaghan *et al.*, 2001 y Farrer *et al.* (2006), quienes mencionan que el peso hectolítrico máximo alcanzable por una línea o variedad depende significativamente de las condiciones ambientales y otros factores externos no controlables. Así, los trigos cultivados bajo riego y en condiciones de cultivo favorables tienden a producir un grano con mayor peso hectolítrico que los cultivados en condiciones de temporal (secano) y estrés ambiental (sequía, temperaturas extremas en periodo de madurez de grano, etc.).

For variables grain hardness, seed width and length, irrigation condition plays a small role in Rebeca F2000 x Salamanca S75 breed. In the genotypes variation source highly significant differences were detected for hectolitre weight, grain hardness and grain protein percentage variables due mainly that in such breed the characteristics of both parents are totally contrasting; i. e., hard or semi-hard grain from Rebeca F2000 is a characteristic that allows to absorb little humidity when there is rain during maturity ensuing to loss little weight (Villaseñor and Espitia, 2000). In the interaction genotype per environment only in grain hardness variable there were highly significant differences, that is, such variable is controlled in part by genes and in other by environment, as well as their interaction.

Variation of interaction in breeds was due interaction with environments is an inherent and unpredictable characteristic to genotypes (they are different breeds and in different environments); therefore, it represents a heritable fraction with genotypes, then it is foreseen that this varies between breeds.

Table 2 shows square means of analysis of variance from Rebeca F2000 x Baviácora M92 breed per locality effect, genotypes and the interaction genotype per locality. For

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de propiedades físicas del grano de la cruza de trigos Rebeca F2000 x Salamanca S75. Roque, Guanajuato, otoño-invierno 2006-2007.

Table 1. Square means of analysis of variance of grain's physical properties from wheat Rebeca F2000 x Salamanca S75 breed. Roque, Guanajuato, 2006-2007 autumn-winter.

Fuente de variación	gl	Peso hectolítrico	Dureza	Proteína en grano	Ancho	Largo
Riego	1	6.74**	0.003ns	2.079 **	0.011ns	0.26ns
Rep (riego)	2	2.83	20.79	1.81	0.373	0.001
Genotipos	70	6.05**	236.92 **	1.41**	0.608ns	0.13ns
Gen*riego	70	0.75	19.90 **	0.16 ns	0.548 ns	0.12ns
¶Error	140	0.43	10.57	0.23	0.016	0.13

*, **, ns= diferencias significativas, altamente significativas y no significativas; gl= grados de libertad; ¶Error del análisis general ($p \leq 0.05$).

En las variables dureza de grano, ancho y largo de semilla, la condición de riego no juega un papel importante en la cruza Rebeca F2000 x Salamanca S75. En la fuente de variación Genotipos se observaron diferencias altamente significativas para las variables peso hectolítrico, dureza de grano y porcentaje de proteína en grano, debido principalmente a que en dicha cruza las características de los dos progenitores son totalmente contrastantes; es decir, el grano

localities there were highly significant differences in hectolitre weight, hardness and protein percentage, which means that grain's physical properties are highly affected by ambient conditions from each locality, and this coincides with Monaghan *et al.* (2001); Peña *et al.* (2002); Espitia *et al.* (2003) and Farrer *et al.* (2006), who reported that some quality variables are mainly affected by environment effects.

duro o semiduro de Rebeca F2000 es una característica que le permite absorber poca humedad cuando le llueve en madurez y consecuentemente perder poco peso (Villaseñor y Espitia, 2000). En la interacción genotipo por ambiente, únicamente en la variable dureza de grano hubo diferencias altamente significativas, es decir, dicha variable está controlada por una parte genética y otra ambiental, así como la interacción de ambos factores.

La variación de las interacciones en las cruzas se debió a que la interacción con los ambientes es una característica inherente e impredecible a los genotipos (son cruzas diferentes y en ambientes diferentes); por lo tanto, representa una fracción heredable con los genotipos, entonces se espera que ésta varíe entre los cruzamientos.

En el Cuadro 2 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza de la cruz Rebeca F2000 x Baviácora M92 desglosando el efecto de localidad, genotipos e interacción genotipo por localidad. Para localidades existieron diferencias altamente significativas en peso hectolítrico, dureza y porcentaje de proteína, lo cual indica que las propiedades físicas del grano de trigo son altamente influenciadas por las condiciones ambientales de cada localidad, lo cual concuerda con Monaghan *et al.* (2001); Peña *et al.* (2002); Espitia *et al.* (2003) y Farrer *et al.* (2006), quienes mencionan que algunas variables de calidad están influenciadas principalmente por efectos ambientales.

In the factor genotypes all variables regarding grain's physical properties showed highly significant differences; this means, parents used in this study, as well as genotypes derived from breed, are different in their physical characteristics. For interaction genotype per locality the differences were highly significant for hardness, significant for hectolitre weight and no significant for percentage of protein in grain, which means that variables hardness and hectolitre weight are affected by genotype as well as by environment where it is harvested. Table 3 shows square means of analysis of variance of Gálvez M87 x Rebeca F2000 breed by effect per locality, genotypes and interaction genotype per locality. For localities there were highly significant differences in hectolitre weight and hardness, resulting non significant for protein percentage, which means that hardness and hectolitre weight are variables controlled by environment and genotype. For interaction genotype per locality the differences were non significant for all studied variables of physical quality.

Figure 1 shows frequency histograms of hectolitre weight, since such variable is one of the most important at worldwide level. In the three populations coming from Rebeca F2000 x Salamanca S75, Rebeca F2000 x Baviácora M92, and Gálvez M87 x Rebeca F2000 breeds, there is trend to strongly symmetric distribution; that is, with a displacement of higher frequencies to the right of

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de propiedades físicas del grano de la cruz de trigos Rebeca F2000 x Baviácora M92. Chapingo y Santa Lucía de Prías, Estado de México, primavera-verano 2007.

Table 2. Square means of analysis of variance of grain's physical properties from wheat Rebeca F2000 x Baviácora M92 breed. Chapingo and Santa Lucía de Prías, State of Mexico, 2007 spring-summer.

Fuente de variación	gl	Peso hectolítrico	Dureza	Proteína en grano
Localidad	1	23.29**	374.75**	21.67**
Rep(loc)	2	27.59	8.61	4.53
Genotipos	86	8.34**	18.81**	0.704**
Gen*localidad	72	7.13*	13.64**	0.315ns
¶Error	129	4.47	8.40	0.293

*, **, ns= diferencias significativas, altamente significativas y no significativas; gl= grados de libertad; ¶Error del análisis general ($p \leq 0.05$).

En el factor genotipos todas las variables referentes a las propiedades físicas del grano presentaron diferencias altamente significativas; es decir, los progenitores usados en este estudio, así como los genotipos derivados de la cruz, son diferentes en sus características físicas. Para la

the mean, towards relatively high hectolitre weight values, and that it is strongly affected by environment, results that coincides with Farrer *et al.* (2006), who reported that 90.5% of hectolitre weight variability is attributable to environment.

interacción genotipo por localidad las diferencias fueron altamente significativas para dureza, significativa para el peso hectolítrico y no significativa para el porcentaje de proteína en grano, lo cual indica que las variables dureza y peso hectolítrico están influenciadas por el genotipo así como por el ambiente donde se produce.

En el Cuadro 3 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza de la crucea Gálvez M87 x Rebeca F2000 desglosando el efecto de localidad, genotipos e interacción genotipo por localidad. Para localidades existieron diferencias altamente significativas en peso hectolítrico y dureza, resultando no significativo para el porcentaje de proteína, lo cual indica que la dureza y peso hectolítrico son variables controladas por el ambiente y el genotipo. En el factor genotipos todas las variables referentes a las propiedades físicas del grano presentaron diferencias altamente significativas. Para la interacción genotipo por localidad las diferencias fueron no significativas para todas las variables de calidad física bajo estudio.

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza de propiedades físicas del grano de la crucea de trigos Gálvez M87 X Rebeca F2000. Chapingo y Santa Lucía de Prías, Estado de México, primavera-verano 2007.

Table 3. Square means of analysis of variance of grain's physical properties from wheat Gálvez M87 X Rebeca F2000 breed. Chapingo and Santa Lucía de Prías, State of Mexico, 2007 spring-summer 2007.

Fuente de variación	gl	Peso hectolítrico	Dureza	Proteína en grano
Localidad	1	109.98**	962.02**	0.106ns
Rep(Loc)	2	16.39	51.72	0.007
Genotipo	92	3.50**	88.39**	0.505**
Gen*Localidad	90	1.16ns	12.70ns	0.296ns
¶Error	173	2.15	57.20	0.240

*, **, ns= diferencias significativas, altamente significativas y no significativas; gl= grados de libertad; ¶Error del análisis general ($p \leq 0.05$).

En la Figura 1 se presentan los histogramas de frecuencia del peso hectolítrico, ya que dicha variable en el mercado mundial es una de las de mayor importancia. En las tres poblaciones provenientes de las cruces Rebeca F2000 x Salamanca S75, Rebeca F2000 x Baviácora M92, y Gálvez M87 x Rebeca F2000, se observa una tendencia a una distribución marcadamente simétrica; es decir, con un desplazamiento de las mayores frecuencias hacia la

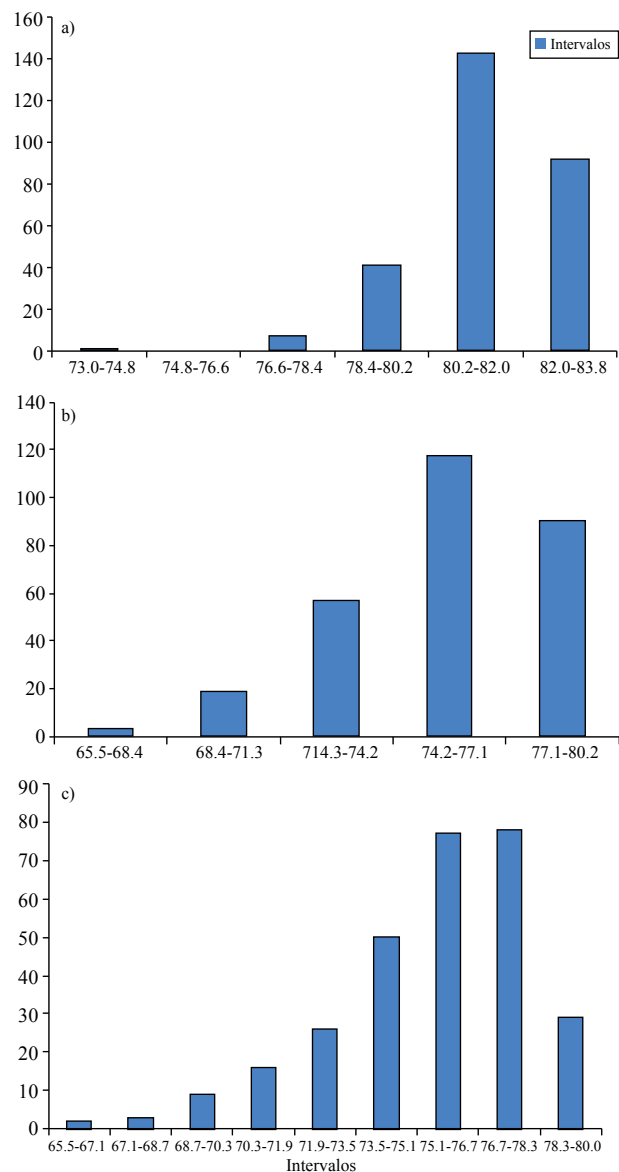


Figura 1. Histograma de frecuencias del peso hectolítrico de tres poblaciones de trigo harinero: a) Rebeca F2000 x Salamanca S75; b) Rebeca F2000 x Baviácora M92; y c) Gálvez M87 x Rebeca F2000.

Figure 1. Histogram of frequencies for hectolitre weight of three populations of flour wheat: a) Rebeca F2000 x Salamanca S75; b) Rebeca F2000 x Baviácora M92; and c) Gálvez M87 x Rebeca F2000.

Table 4 shows the means for genotypes resulting from three studied populations and parents for hectolitre weight variable. In Rebeca F2000 x Salamanca S75 breed high values are seen (83.4 kg HL⁻¹) and they overcame to parents, therefore there is a wide range of genotypes

derecha de la media, hacia valores de peso hectolítrico relativamente altos, y dicha variable influenciado por el ambiente, resultados que concuerdan con Farrer *et al.* (2006), quienes mencionan que 90.5% de la variabilidad en peso hectolítrico es atribuible al medio ambiente.

En el Cuadro 4 se presentan las medias de los genotipos resultantes de las tres poblaciones bajo estudio y los progenitores para la variable peso hectolítrico. En la cruce Rebeca F2000 x Salamanca S75 se observan altos valores (83.4 kg HL⁻¹) que sobrepasan a los progenitores, por lo que se tiene una amplia gama de genotipos a seleccionar con excelente calidad física, lo que concuerda con lo que mencionan, Peña *et al.* (2002) y Farrer *et al.* (2006), donde mencionan que granos cosechados en condiciones de riego obtienen valores altos de peso hectolítrico 82 kgHL⁻¹. En las cruces Rebeca F2000 x Baviácora M92 y Gálvez M87 x Rebeca F2000 se observan valores más bajos de peso hectolítrico, debido a las localidades sembradas, además que existen genotipos que superan a los progenitores.

to select with excellent physical quality, coinciding with report made by Peña *et al.* (2002) and Farrer *et al.* (2006), who inform that grains harvested under irrigation conditions obtain high values of hectolitre weight 82 kgHL⁻¹. In Rebeca F2000 x Baviácora M92 and Gálvez M87 x Rebeca F2000 breeds there are lower values of hectolitre weight, due to sown localities and also there are genotypes that overcame parents.

Table 5 shows Person correlation analysis, and there is detected that a negative significant correlation exist between hectolitre weight and hardness in Rebeca F2000 x Salamanca S75 breed, and in Rebeca F2000 x Baviácora M92 breed, and highly significant in Gálvez M87 x Rebeca F2000 breed, results that coincide with Halverson and Zeleny (1988), and Troccoli and di Fonzo (1999) who reported that there is a higher hectolitre weight in wheats with higher hardness. In our case it resulted negative due NIR hardness values, high values correspond to soft classification wheats. Hardness with protein content in

Cuadro 4. Comparación de medias de los genotipos sobresalientes con valores mayores estadísticamente provenientes de las cruces Rebeca F2000 x Salamanca S75, Rebeca F2000 x Baviácora M92 y Gálvez M87 x Rebeca F2000 para la variable peso hectolítrico.

Table 4. Comparison of means of outstanding genotypes with statistically higher values coming from Rebeca F2000 x Salamanca S75, Rebeca F2000 x Baviácora M92 and Gálvez M87 x Rebeca F2000 breeds for hectolitre weight variable.

Rebeca F2000 x Salamanca S75		Gálvez M87 x Rebeca F2000		Rebeca F2000 x Baviácora M92	
Genotipo	Peso hectolítrico	Genotipo	Peso hectolítrico	Genotipo	Peso hectolítrico
36	83.40	15	78.6	11	78.83
2	83.25	59	78.4	09	77.85
87	83.13	48	78.0	95	77.83
23	83.10	11	77.9	98	77.82
79	83.10	53	77.7	32	77.80
10	81.20	18	76.5	57	75.65
77	81.18	78	76.5	42	75.60
96	81.13	14	76.5	29	75.50
Rebeca F2000	82.45	Gálvez M87	73.1	Baviácora M92	75.6
Salamanca S75	80.13	Rebeca F2000	75.6	Rebeca F2000	74.2

En el Cuadro 5 se presenta el análisis de correlación de Pearson, se observa que existe una correlación negativa significativa entre el peso hectolítrico y la dureza en la cruce Rebeca F2000 x Salamanca S75, y en la cruce Rebeca F2000 x Baviácora M92, y altamente significativa en la cruce Gálvez M87 x Rebeca F2000, resultados que concuerdan con

grain resulted non significant in the three breeds, which means that hardness index is not directly related with protein content (Wang *et al.*, 2007) due hardness is produced by bonding strength between protein and starch in endosperm, which is genetically controlled (Miller *et al.*, 1982).

Halverson y Zeleny (1988), y Troccoli y di Fonzo (1999) donde mencionan que existe un mayor peso hectolítrico en trigos con mayor dureza. En nuestro caso resultó negativa debido a que los valores de dureza del NIR, los valores altos corresponden a trigos con clasificación suave. La dureza con el contenido de proteína en grano resultó ser no significativa en las tres cruzas, lo que indica que el índice de dureza no está relacionada directamente con el contenido de proteína (Wang *et al.*, 2007) debido a que la dureza es producida por la fuerza de unión entre la proteína y el almidón en el endospermo, la cual es controlada genéticamente (Miller *et al.*, 1982).

Sin embargo, la correlación entre el peso hectolítrico y el contenido de proteína del grano fue diferente en las tres cruzas, altamente significativa en la craza Rebeca F2000 x Salamanca S75, significativa en la craza Gálvez M87 x Rebeca F2000, y no significativa en Rebeca F2000 x Baviácora M92, por lo tanto dicha correlación depende mucho de los progenitores o variedades empleadas en la craza.

However, correlation between hectolitre weight and grain protein content was different in the three breeds; highly significant in Rebeca F2000 x Salamanca S75 breed, significant in Gálvez M87 x Rebeca F2000 breed, and non significant in Rebeca F2000 x Baviácora M92 breed, therefore such correlation depends mainly on parents or cultivars used in breed.

Conclusions

Grain physical properties of bread wheat are characteristics that are highly affected by environment, either under irrigation or rainfall conditions, as well as in different harvested localities.

Hectolitre weight and protein percentage from genotype significantly depends on ambient conditions, from cultivar genetic characteristics and other non

Cuadro 5. Correlaciones de Pearson de las propiedades físicas en tres poblaciones de trigo harinero.
Table 5. Pearson correlations for physical properties in three bread wheat populations.

	Rebeca F2000 x Salamanca S75		Gálvez M87 x Rebeca F2000		Rebeca F2000 x Baviácora M92	
	Dureza	Proteína en grano	Dureza	Proteína en grano	Dureza	Proteína en grano
Peso hectolítrico	-0.107*	0.15721**	-0.22**	-0.115*	-0.1503*	0.10156ns
Dureza		-0.0302ns		-0.07ns		-0.2167ns

Conclusiones

Las propiedades físicas del grano de trigo harineros son características que están altamente influenciados por el ambiente, ya sea en condiciones de riego o temporal, así como en las diferentes localidades que se cultivan.

El peso hectolítrico y el porcentaje de proteína de un genotipo depende significativamente de las condiciones ambientales, de las características genéticas de la variedad y otros factores externos no controlables. En las tres poblaciones provenientes de las cruas Rebeca F2000 x Salamanca S75, Rebeca F2000 x Baviácora M92, y Gálvez M87 X Rebeca F2000, se observa una tendencia a una distribución marcadamente simétrica, con un desplazamiento de las

controllable external factors. In the three populations coming from Rebeca F2000 x Salamanca S75, Rebeca F2000 x Baviácora M92, and Gálvez M87 X Rebeca F2000 breeds, there is detected a trend towards strongly symmetric distribution, with a displacement of higher frequencies to the right of the mean, towards relatively high hectolitre weight values, and that it is strongly affected by environment.

Genotypes formation by means of genetic recombination is an alternative to obtain wide range of materials that overcame parents and that allow to continue genetic breeding program by selection.

End of the English version



mayores frecuencias hacia la derecha de la media, hacia valores de peso hectolítrico relativamente altos, y que está fuertemente influenciado por el ambiente.

La formación de genotipos por medio de recombinación genética es una alternativa para obtener una amplia gama de materiales que superan a los progenitores y continuar con un programa de mejoramiento genético por medio de la selección.

Literatura citada

- Approved Methods of the AACC. (AACC). 2005. 9th edition. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA.
- Dios, C.; Piug, R. y Robutti, J. L. 1992. Tipificación de maíces por algunos caracteres de sus granos. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. República Argentina (Informe técnico Núm. 265). 12 p.
- Dirección General de Normas (DNG). NOM-FF-36. 1994. Productos alimenticios no industrializados cereales. Trigo (*Triticum aestivum* L. y *Triticum durum* Desf.). Especificaciones y métodos de prueba. 11 p.
- Espitia, R. E.; Peña, B. R. J.; Villaseñor, M. H. E.; Huerta, E. J. y Limón, O. A. 2003. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I. Comparación de variedades y causas de la variación. Rev. Fitotec. Mex. 26(4):249-256.
- Farrer, C. D.; Weisz, R.; Heiniger, R.; Murphy, J. P. and White, J. G. 2006. Minimizing protein variability in soft red winter wheat: impact of nitrogen application timing and rate. Agron. J. 98:1137-1145.
- Gaines, C. S.; Finney, P. L. and Andrews, C. 1997. Influence of kernel size and shriveling on soft wheat milling and baking quality. Cereal Chemistry. 74(6):700-7004.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república mexicana). 4^a. Edición. Instituto de Geografía. UNAM, México, D. F. 243 p.
- Halverson, J. and Zeleny, L. 1988. Criteria of wheat quality. In: Pomeranz, Y. (ed.) Wheat chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul. MN. 15-24 p.
- Kent, N. L. 1983. Technology of cereals. Editorial Pergamon Press, Great Britain.
- Martin, J. M.; Sherman, J. D.; Lanning, S.P.; Talbert, L. E. and Giroux, M. J. 2008. Effect of variation in amylose content and puroindoline composition on bread quality in a hard spring wheat population. Cereal Chemi. 85(2):266-269.
- Miller, B. S.; Afework, S.; Pomeranz, Y.; Bruinsma, B. and Boot, G. D. 1982. Measuring the hardness of wheat. Cereal Foods World. 27:65-75.
- Monaghan, M. J.; Snape, J. W.; Chojceki, A. J. S. and Kettlewell, P. S. 2001. The use of grain protein deviation for identifying wheat cultivars with high grain protein concentration and yield. Euphytica 122:309-317.
- Peña, R. J. 2002. Wheat for bread and other foods. In: bread wheat improvement and production. Curtis, B. C.; Rajaram, S. S. and Gómez, M. H (eds). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 483-542 pp.
- Peña, B. R. J.; Hernández, E. N.; Pérez, H. P.; Villaseñor, M. H.E.; Gómez, V. M.M. y Mendoza, L. M.A. 2008. Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2006-2007. Publicación Especial del CONASIST-CONATRIGO. México D. F. 28 p.
- Peña, B. R. J.; Trethowan, R.; Pfeiffer, M. H. and Van-Ginkel, M. 2002. Quality (end-use) improvement in wheat: compositional, genetic, and environmental factors. In: quality improvement in field crops. Basra, A. S. and Randhawa, L. S. (eds.). Food products press, an imprint of the haworth press, New York. 1-37 pp.
- Salazar, Z. A. 2000. Calidad industrial del trigo para su comercialización. In: el trigo de temporal en México. Villaseñor, M. E. y Espitia, R. E. (eds.). Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Chapingo, Estado de México. 313 p.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 1994. SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP. 6.04. Fourth edition Cary, NC, USA. 891-996 pp.
- Trocchi, A. and di Fonzo, N. 1999. Relationship between kernel size features and test weight in *Triticum durum*. Cereal Chemistry. 76(1):45-49.
- Villaseñor, M. E. y Espitia, R. E. 2000. Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en México. In: Villaseñor, M. E. y Espitia, R. E. (eds.). El trigo de temporal en México. Campo Experimental del Valle de México, INIFAP. Chapingo, Estado de México. 313 p.

- Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E.; Huerta, E. J.; González, I. R.; Solís, M. E. y Peña, B. R. J. 2004. Rebeca F2000, nueva variedad de trigo para siembras en temporales favorables e intermedios en México. Rev. Fitotec. Mex. 27:285-287.
- Wang, Y. G.; Khan K.; Hareland G. and Nygard G. 2007. Distribution of protein composition in bread wheat flour mill streams and relationship to breadmaking quality. Cereal Chemistry. 84(3):271-275.