

ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL VOLUMEN DEL PAN DE TRIGOS HARINEROS (*Triticum aestivum* L.) MEXICANOS DE SECANO

STABILITY ANALYSIS OF BREAD VOLUME FROM RAINFED MEXICAN BREAD WHEAT (*Triticum aestivum* L.)

Eduardo Espitia-Rangel¹, H. Eduardo Villaseñor-Mir^{1*}, Eliel Martínez-Cruz¹, R. Hortelano Santa-Rosa¹, Azalia Lozano-Grande¹, Agustín Limón-Ortega¹

Programa de Trigo y Avena, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 56230, Chapingo, Estado de México. (villaseñor.hector@inifap.gob.mx).

RESUMEN

El volumen de pan es la característica más importante en la calidad panadera del trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y debe mantenerse en condiciones ambientales diversas, lo cual es necesario considerar en el mejoramiento genético. La evaluación de la calidad en ambientes diferentes es complicada, por ello el objetivo de este estudio fue determinar la estabilidad del volumen de pan de variedades de trigo para secano desde un conjunto de datos desbalanceados; y determinar si el procedimiento MIXED del SAS puede ser una herramienta en la selección de genotipos estables. Con experimentos de campo, en ambientes de secano y al manejo de muestras en laboratorio se obtuvo un conjunto de datos desbalanceados que se analizaron con modelos estadísticos en MIXED. En las pruebas de bondad de ajuste el valor mayor del criterio de información de Akaike correspondió al modelo reducido de la varianza de la estabilidad, por lo cual la estabilidad de las variedades se estimó con este modelo. Las variedades Juchi F2000, Romoga F96, Náhuatl F2000 y Tlaxcala F2000 fueron las más estables. Al combinar la estabilidad con el volumen de pan se determinó que las variedades Náhuatl F2000 y Juchi F2000 fueron las más deseables, pues además de su estabilidad, originaron pan con volúmenes de 867.8 y 864.1 cm³. La estimación de la estabilidad de genotipos mediante MIXED fue útil cuando se incorporaron ambientes diversos, ya que fue fácil y rápida. Otra ventaja fue que, al asignar un valor numérico de estabilidad a cada genotipo, se puede categorizar, comparar y seleccionar.

Palabras clave: trigo de secano, trigo harinero, volumen de pan, estabilidad, modelos mixtos.

ABSTRACT

Bread volume is the most important characteristic in bread quality of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and should be maintained in diverse environmental conditions, which should be taken into account in genetic breeding. The evaluation of quality in different environments is complicated, thus the objective of the present study was to determine the stability of bread volume of wheat varieties for drought conditions from a set of unbalanced data, and to determine if the MIXED procedure of SAS can be used as a tool in the selection of stable genotypes. With field experiments, under rainfall conditions and the handling of samples in the laboratory, a set of unbalanced data was obtained that was analyzed with statistical models in MIXED. In the goodness of fit tests the highest value of the information criterion of Akaike corresponded to the reduced model of the variance of stability, thus the stability of the varieties was estimated with this model. The varieties Juchi F200, Romoga F96, Náhuatl F2000 and Tlaxcala F2000 were the most stable. Furthermore, by combining the stability with the bread volume it was determined that the varieties Náhuatl F2000 and Juchi F2000 were the most desirable, given that in addition to their stability, they produced bread with volumes of 867.8 and 864.1 cm³. The estimation of the stability of genotypes using MIXED was useful when diverse environments were incorporated, as it was easy and fast. Another advantage was that when a numerical value of stability was assigned to each genotype, it was possible to categorize, compare and select.

Key words: rainfed wheat, bread wheat, bread volume, stability, mixed models.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: agosto, 2016. Aprobado: diciembre, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 743-754. 2017.

INTRODUCCIÓN

Las siembras de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) de secano son una alternativa para disminuir el déficit en México, ya que hay alrededor de un millón de hectáreas sin riego en las que el cultivo de trigo parece una opción adecuada (Villaseñor y Espitia 2000). Sin embargo, los productores de trigo de secano enfrentan problemas para comercializar sus cosechas, debido principalmente a que la industria molinera prefiere importar el trigo de mercados internacionales, con el argumento de que las variedades mexicanas no tienen la calidad adecuada para industrializar (Hortelano *et al.*, 2013).

El conocimiento de la influencia genética y ambiental en la variación de la calidad industrial en trigos harineros es fundamental para producir cosechas de calidad alta y estable, que favorezca su comercialización. La evaluación de la calidad en un número alto de diversos ambientes es complicada, por lo que los mejoradores tienen información limitada de la variación de la calidad atribuible al genotipo y a las condiciones ambientales (Espitia *et al.*, 2003).

El genotipo afecta la calidad de industrialización del trigo (Sánchez-García *et al.*, 2015), pero las condiciones ambientales tienen influencia mayor sobre la calidad (Vázquez *et al.*, 2012; Mohan *et al.*, 2014; Rozbicki *et al.*, 2015). Según Espitia *et al.* (2003), en las condiciones de producción de trigo en México y con variedades locales el volumen de pan es controlado por efectos ambientales en 74 %; aunque esto estará determinado por la variabilidad entre genotipos y entre ambientes. Las condiciones ambientales en el cultivo de trigo es el factor más importante para la expresión de su calidad (Espitia *et al.*, 2003).

La disponibilidad de N afecta el contenido de proteína, lo que a su vez afecta el volumen de pan. La temperatura durante el llenado de grano (Li *et al.*, 2013), la cantidad y distribución de la precipitación (Aslani *et al.*, 2013) y la presencia de heladas (Martínez *et al.*, 2015) también son factores ambientales que afectan significativamente la calidad industrial (Mohan *et al.*, 2014). La estabilidad de la calidad, en específico el volumen de pan, es un carácter de gran importancia para el mejoramiento genético del trigo, pero hay pocos estudios (Hristov *et al.*, 2010).

En la evaluación de genotipos en ambientes diferentes con frecuencia hay conjuntos de datos desbalanceados por causas diversas, como datos perdidos,

INTRODUCTION

The bread wheat (*Triticum aestivum* L.) crops for drought conditions are an alternative for reducing the present deficit of Mexico, given that there are approximately one million non-irrigated hectares in which wheat cultivation seems to be an adequate option (Villaseñor and Espitia, 2000). However, wheat producers of rainfed conditions face problems for marketing their harvests, principally because the milling industry prefers to import wheat from international markets, with the argument that the Mexican varieties do not have an adequate quality for industry (Hortelano *et al.*, 2013).

Knowledge of the genetic and environmental influence on the variation of industrial quality in bread wheat is fundamental for the production of high quality and stable harvests which favor its commercialization. The evaluation of quality in a high number of different environments is complicated, thus breeders have limited information of the variation of quality attributable to both genotype and environmental conditions (Espitia *et al.*, 2003).

Genotype has an effect on the industrialization quality of wheat (Sánchez-García *et al.*, 2015), but environmental conditions have a higher influence on quality (Vázquez *et al.*, 2012; Mohan *et al.*, 2014; Rozbicki *et al.*, 2015). Espitia *et al.* (2003) indicated that in the wheat production conditions in Mexico and with local varieties bread volume is controlled by environmental effects in 74 %; although this will be determined by the variability among genotypes and among environments. The environmental conditions under which wheat is cultivated are the most important factor for the expression of its quality (Espitia *et al.*, 2003).

The availability of N affects the protein content, which in turn affects bread volume. Temperature during grain fill (Li *et al.*, 2013), the amount and distribution of rainfall (Aslani *et al.*, 2013) and the presence of frosts (Martínez *et al.*, 2015) are also environmental factors which significantly affect industrial quality (Mohan *et al.*, 2014). The stability of quality, specifically bread volume, is a character of great importance for wheat breeding, but there are few studies (Hristov *et al.*, 2010).

In the evaluation of genotypes in different environmental conditions there are frequently unbalanced sets of data due to diverse causes,

número variable de repeticiones entre ambientes, algunas combinaciones genotipo-ambiente no se prueban, y según el tipo de experimentos se pueden tener o no repeticiones por ambiente. Por lo tanto, el análisis de esos experimentos se complica y demanda recursos computacionales robustos. Los métodos para el análisis de la estabilidad dependen de la disponibilidad de programas computacionales para manipular datos desbalanceados. Muchos análisis de estabilidad se encuadran en el modelo mixto, donde los ambientes son efectos aleatorios y los genotipos fijos. Los parámetros del modelo pueden estimarse con la opción de máxima verosimilitud restringida (REML), ya que permite el análisis de datos desbalanceados; además, la mayoría de las medidas de estabilidad se pueden estimar con el procedimiento MIXED del SAS (SAS Institute, Inc., 2005).

Hay una cantidad considerable de información sobre metodologías para la estimación de la estabilidad en una amplitud de valores aleatorios (Lin *et al.*, 1986; Becker y Leon, 1988; Denis *et al.*, 1997; Piepho, 1998). Los modelos más utilizados son el de la estabilidad de la varianza (Shukla, 1972), modelos de regresión (Finlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966) y varianza ambiental (Lin *et al.*, 1986).

El estudio de la estabilidad estaba limitado por la disponibilidad de recursos computacionales. Pero hay programas recientes en paquetes estadísticos, como SAS, para el análisis rápido de la estabilidad en datos desbalanceados y balanceados.

El objetivo de este estudio fue determinar la estabilidad del volumen de pan de variedades de trigo para secano desde un conjunto de datos desbalanceados, y determinar si el procedimiento MIXED de SAS puede ser una herramienta en la selección de genotipos estables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético y ambientes de prueba

Las variedades de trigo Pavón F76, Gálvez M87, Temporalera M87, Batán F96, Romoga F96, Juchi F2000, Náhuatl F2000, Tlaxcala F2000 y Rebeca F2000 se evaluaron, y representan la diversidad genética del germoplasma usada en las zonas de secano. Las variedades se sembraron en los ciclos primavera-verano de 2010 y 2011, en 22 ambientes de secano en las localidades: Juchitepec, Tecamac y Coatepec, en el Estado de México; Nanacamilapa y Apizaco, en el estado de Tlaxcala, Santiago Tillo en el

such as lost data, variable number of replicates among environments, some genotype-environment combinations are not tested, and according to the type of experiments, there may or may not be replicates per environment. Therefore, the analysis of these experiments is complicated and demands robust computational resources. The methods for the analysis of stability depend on the availability of computational programs to manipulate unbalanced data. Many of the analyses of stability fit in the mixed model, where the environments are random effects and the genotypes are fixed. The parameters of the model can be estimated with the option of restricted maximum likelihood (REML), given that it permits the analysis of unbalanced data; besides, most of the measurements of stability can be estimated with the MIXED procedure of SAS (SAS Institute Inc., 2005).

There is a considerable amount of information about methodologies for the estimation of stability in an ample amount of random values (Lin *et al.*, 1986; Becker and Leon, 1988; Denis *et al.*, 1997; Piepho, 1998). The most utilized models are stability of variance (Shukla, 1972), regression models (Finlay and Wilkinson, 1963; Eberhart and Russell, 1966) and environmental variance (Lin *et al.*, 1986).

The study of stability was limited by the availability of computational resources. But there are recent programs in statistical packages, such as SAS, for fast analysis of stability in unbalanced and balanced data.

The objective of the this study was to determine the stability of bread volume of wheat varieties for rainfed conditions from a set of unbalanced data, and to determine whether the MIXED procedure of SAS can be a tool in the selection of stable genotypes.

MATERIALS AND METHODS

Genetic material and test environments

The wheat varieties Pavón F76, Gálvez M87, Temporalera M87, Batán F96, Romoga F96, Juchi F2000, Náhuatl F2000, Tlaxcala F2000 and Rebeca F2000 were evaluated. These varieties represent the genetic diversity of the germplasm used in the arid zones. The varieties were sown in the spring-summer cycles of 2010 and 2011, in 22 rainfed environments in the following locations: Juchitepec, Tecamac and Coatepec in Estado de Mexico; Nanacamilapa and Apizaco in the State of Tlaxcala;

estado de Oaxaca; Jesús María en el estado de Jalisco; Cuyuaco en el estado de Puebla; Roque en el estado de Guanajuato; Bellavista en el estado de Morelos y Amealco en el estado de Querétaro, México. Los 22 ambientes se completaron con otras fechas de siembra en Chapingo, Estado de México, evaluaciones con y sin aplicación de fungicidas en Coatepec, Chapingo, Juchitepec y Bellavista y cuatro calendarios de riegos en Roque. El conjunto de ambientes representa la diversidad ambiental de las regiones mexicanas de cultivo de trigo de secano. Los genotipos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones en todos los ambientes. La parcela experimental consistió de cuatro surcos de 4 m de largo y 30 cm de separación.

El cultivo en las parcelas experimentales se realizó de acuerdo con las recomendaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en cada región. Después de la cosecha el grano se limpió, acondicionó, trituró (molino para trigo Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Alemania), y se obtuvo la harina refinada. Ésta se cernió a través de una malla con poro de 129 μm de diámetro.

Análisis de laboratorio

Para los análisis en laboratorio una muestra de 800 g de grano, de cada parcela, se analizó. Así, el mismo diseño experimental se utilizó en campo y laboratorio. El contenido de proteína en grano y harina (%) se midió con el analizador NIR infralyzer 300 (método 39-10; AACC, 1995). El volumen de pan (cm^3) se evaluó con el método de masa directa (método 10-09, AACC, 1995) considerando los criterios de absorción de agua y el tiempo de amasado, en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa. A 100 g de harina refinada se agregaron 3 g de leche en polvo, 3 g de grasa vegetal, 25 mL de una solución de levadura (12 %), 25 mL de una solución de sacarosa-cloruro de sodio (20 y 4 %, respectivamente) y agua destilada, calculada de acuerdo con la capacidad de absorción (relacionada con el contenido de proteína) y se corrigió con la dureza de grano. La capacidad de la absorción final se calculó con la ecuación $Y=1.5 X+43.6$, donde X es el porcentaje de proteína en la harina e Y es el porcentaje de absorción de agua. La dureza de grano se midió con el índice de perlado en 20 g de grano (perladora tipo Strong Scot-EUA), que indica la facilidad de eliminar parcialmente las capas externas del grano, con un procedimiento estandarizado de abrasión, por 1 min. En este proceso, el residuo se cernió a través de una malla (1.25 μ), se obtuvo el peso del grano perlado y se clasificó. A los semi-suaves se agregó 1.2 mL de agua y a los semiduros y duros 2.4 y 3.6 mL. El tiempo óptimo de amasado se estimó con base en los obtenidos en el mixógrafo de Swanson (National Mfg., EUA) en 10 g de harina refinada con el método 54-40A (AACC, 1995). Las masas obtenidas eran bien desarrolladas, homogéneas

Santiago Tillo in the State of Oaxaca; Jesús in the State of Jalisco, Cuyuaco María in the State of Puebla; Roque in the State of Guanajuato; Bellavista in the State of Morelos; and Amealco in the State of Querétaro, Mexico. The 22 environments were completed with other sowing dates in Chapingo, Estado de Mexico, evaluations with and without application of fungicides in Coatepec, Chapingo, Juchitepec and Bellavista and four calendars of irrigation in Roque. The set of environments represents the environmental diversity of the Mexican regions of rainfed wheat cultivation. The genotypes were distributed in a design of complete randomized blocks with two replicates in all of the environments. The experimental plot consisted of four rows of 4 m length and 30 cm separation.

Cultivation in the experimental plots was made according to the recommendations of the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock Research (INIFAP) in each region. After harvest the grain was cleaned, conditioned, ground (wheat mill Quadrumat Senior, C.W. Brabender OHG, Germany) and the refined flour was obtained. This was sifted through a mesh with a pore of 129 μm diameter.

Laboratory analysis

For the laboratory analyses a sample of 800 g of grain from each plot was analyzed. Thus, the same experimental design was used in the field and in the laboratory. The protein content in grain and flour (%) was measured with the analyzer NIR infralyzer 300 (method 39-10; AACC, 1995). The bread volume (cm^3) was evaluated with the direct mass method (method 10-09, AACC, 1995) considering the criteria of water absorption and kneading time, under controlled conditions of temperature and relative humidity. To 100 g of refined flour, 3 g of powdered milk were added, along with 3 g of vegetable fat, 25 mL of a yeast solution (12 %), 25 mL of a solution of sucrose-sodium chloride (20 and 4 %, respectively) and distilled water, which was calculated according to the absorption capacity (related to the protein content) and was corrected with grain hardness. The final absorption capacity was calculated with the equation $Y=1.5 X+43.6$, where X is the percentage of protein in the flour and Y is the percentage of water absorption. Grain hardness was measured with the perlate index in 20 g of grain (perlator type Strong Scot-USA), which indicates the facility of partially eliminating the external layers of the grain, with a standardized abrasion procedure, for 1 min. In this process, the residue was sifted through a mesh (1.25 μ), the weight of the perlated grain was weighed and classified. To the semi-soft grains, 1.2 mL of water was added and to the semi-hard and hard grains, 2.4 and 3.6 mL, respectively. The optimum kneading time was estimated based on those obtained in the Swanson mixograph (National

y cohesivas. La fermentación duró 3 h y 55 min; durante ese tiempo se realizaron dos desgasificaciones (presionando la masa). Esto se hace para permitir que las levaduras consuman la cantidad máxima de azúcares y que las celdillas de gas se mantengan pequeñas y con distribución uniforme en la etapa de fermentación. El fermentador se mantuvo a 30 °C con humedad relativa controlada de 95 a 100 %. En la etapa de fermentación se formó un cilindro que se colocó dentro de un molde y horneó a 220 °C, por 25 min. Los panes se pesaron y se determinó su volumen por desplazamiento de semillas de colza (*Brassica campestris* L.) en un volutómetro.

Modelos bajo estudio

La estabilidad de la variación en el volumen de pan al cambiar las condiciones ambientales, expresadas como una varianza. La variedad estable será la que presente el valor menor de dicha varianza. Los parámetros de estabilidad usados fueron de los modelos propuestos por Shukla (1972) (varianza de la estabilidad), Finlay y Wilkinson (1963), Eberhart y Russell (1966) (regresión) y varianza ambiental, los cuales son descritos en Piepho (1999). El modelo de la estabilidad de la varianza (Shukla, 1972) para un diseño de bloques completos al azar es el siguiente: $y_{ijk} = m + g_i + r_{jk} + (gu)_{ij} + e_{ijk}$, donde y_{ijk} ($i=1, \dots, I; j=1, \dots, J; k=1, \dots, K$) es el volumen de pan de la k^{th} repetición del i^{th} genotipo en el j^{th} ambiente, m es la media general, g_i es el efecto principal del i^{th} genotipo, r_{jk} es el efecto principal del j^{th} ambiente, r_{jk} es el efecto del k^{th} bloque en el j^{th} ambiente, $(gu)_{ij}$ es el efecto de la ij^{th} interacción genotipo-ambiente y e_{ijk} es el efecto de un error experimental correspondiente para y_{ijk} . Se asume que los efectos aleatorios u_j , r_{jk} , $(gu)_{ij}$, y e_{ijk} se distribuyen independientemente con media cero y varianzas σ_u^2 , σ_r^2 , $\sigma_{gu(i)}$ (estabilidad de las varianzas) y σ_e^2 (Shukla, 1972).

La ecuación del modelo de regresión de Finlay y Wilkinson (1963) es la siguiente: $y_{ijk} = \mu + g_i + r_{jk} + \lambda_i w_j + d_{ij} + e_{ijk}$, donde λ_i es la sensibilidad del i^{th} genotipo a una variable ambiental latente w_j y d_{ij} es una desviación aleatoria (la interacción no explicada). Las varianzas de w_j y d_{ij} son σ_w^2 y σ_d^2 . El modelo de regresión de Eberhart y Russell (1966) difiere del modelo de Finlay–Wilkinson (1963) en que las desviaciones tienen una varianza separada para cada genotipo. Estas varianzas pueden ser denotadas por $\sigma_{d(i)}^2$ y $\sigma_{f(i)}^2$. El modelo de la varianza ambiental (Lin *et al.*, 1986) es $y_{ijk} = \mu + g_i + r_{jk} + h_{ij} + e_{ijk}$, donde se asume que r_{jk} y e_{ijk} tiene distribución independiente con media igual a cero y varianzas σ_r^2 y σ_e^2 . Se asume también que los efectos genotipo-ambiente h_{ij} para el mismo ambiente j están correlacionados (Piepho, 1998). La estructura varianza-covarianza del vector $hj = (h_{1j} \dots h_{ij})'$ está completamente desestructurada; es decir, los elementos de la matriz simétrica varianza-covarianza $\text{var}(hj) = \Omega$ pueden tomar cualquier valor,

Mfg., USA) in 10 g of refined flour with the method 54-40A (AACC, 1995). The doughs obtained were well developed, homogenous and cohesive. Fermentation time was 3 h 55 min; during this time two degasifications were performed (pressing the dough). This was carried out with the purpose of allowing the yeasts to consume the maximum amount of sugars and so that the gas bubbles remained small and uniformly distributed in the fermentation stage. The fermenter was maintained at 30 °C with a controlled relative humidity of 95 to 100 %. In the fermentation stage a cylinder was formed, which was placed in a mold and baked at 220 °C for 25 min. The breads were weighed and their volume was determined by displacement of rape seed (*Brassica campestris* L.) in a volumeter.

Models under study

The stability of the variation in the bread volume when changing the environmental conditions was expressed as a variance. The stable variety will be the one that presents the lowest value of this variance. The stability parameters that were used were of the models proposed by Shukla (1972) (variance of stability), Finlay and Wilkinson (1963), Eberhart and Russell (1966) (regression) and environmental variance, which are described in Piepho (1999). The model of the stability of variance (Shukla, 1972) for a design of complete randomized blocks is as follows: $y_{ijk} = m + g_i + r_{jk} + (gu)_{ij} + e_{ijk}$, where y_{ijk} ($i=1, \dots, I; j=1, \dots, J; k=1, \dots, K$) is the bread volume of the k^{th} replicate of the i^{th} genotype in the j^{th} environment, r_{jk} is the effect of the k^{th} block in the j^{th} environment, $(gu)_{ij}$ is the effect of the ij^{th} interaction genotype-environment and e_{ijk} is the effect of a corresponding experimental error for y_{ijk} . It is assumed that the random effects u_j , r_{jk} , $(gu)_{ij}$, and e_{ijk} are independently distributed with mean zero and variances σ_u^2 , σ_r^2 , $\sigma_{gu(i)}$ (stability of the variances) and σ_e^2 (Shukla, 1972).

The equation of the regression model of Finlay and Wilkinson (1963) is as follows: $y_{ijk} = \mu + g_i + r_{jk} + \lambda_i w_j + d_{ij} + e_{ijk}$, where λ_i is the sensitivity of the i^{th} genotype to a latent environmental variable w_j and d_{ij} is a random deviation (the unexplained interaction). The variances of w_j and d_{ij} are σ_w^2 and σ_d^2 . The regression model of Eberhart and Russell (1966) differs from the model of Finlay–Wilkinson (1963) in that the deviations have a separate variance for each genotype. These variances can be denoted by $\sigma_{d(i)}^2$ and $\sigma_{f(i)}^2$. The model of the environmental variance (Lin *et al.*, 1986) is $y_{ijk} = \mu + g_i + r_{jk} + h_{ij} + e_{ijk}$, where it is assumed that r_{jk} and e_{ijk} have independent distribution with mean equal to zero and variances σ_r^2 and σ_e^2 . It is also assumed that the effects genotype-environment h_{ij} for the same environment j are correlated (Piepho, 1998). The structure variance-covariance of the vector $hj = (h_{1j} \dots h_{ij})'$ is completely unstructured; that is, the elements

mientras que el valor de Ω sea positivo y finito. Los elementos de la diagonal Ω son varianzas correspondientes a los I genotipos, los cuales deberán ser interpretados como medidas de estabilidad (Piepho, 1999). El poner la estabilidad en términos de varianzas permite la comparación entre diferentes modelos.

Análisis de los datos

Los parámetros de estabilidad usados son los de los modelos propuestos por Shukla (1972) (varianza de la estabilidad), Finlay y Wilkinson (1963), Eberhart y Russell (1966) (regresión) y varianza ambiental, descritos por Piepho (1999). Los análisis estadísticos se realizaron con el procedimiento MIXED de SAS, con los promedios genotipo-ambiente, los ambientes como factor aleatorio y las variedades como factor fijo. Las pruebas de bondad de ajuste de los datos a los modelos probados se realizaron mediante la proporción estadística del valor del parámetro de la máxima verosimilitud restringida (LL_R) del modelo general (varianza ambiental) con el valor respectivo de los modelos reducidos. El ajuste de los modelos se realizó según el criterio de información de Akaike (AIC) para seleccionar el más adecuado (Wolfinger, 1996), el que se calcula mediante la siguiente igualdad: $AIC = LL_R - p$, donde p es el número de parámetros en la estructura varianza-covarianza en cada modelo; entre mayor sea el valor de AIC más adecuado será el modelo en cuestión. El análisis de los ambientes del estudiados se hizo mediante la trasposición de la matriz genotipo-ambiente y se graficó el volumen de pan con la varianza ambiental. Los valores promedio ajustados se compararon con el modelo seleccionado con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El volumen del pan de las variedades y ambientes en todos los modelos probados mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$), según las pruebas de bondad de ajuste de los modelos probados (Cuadro 1). El valor mayor del criterio de información de Akaike correspondió al modelo de la varianza de la estabilidad de Shukla (1972); por lo que de acuerdo con Wolfinger (1996) la estabilidad de las variedades debe determinarse con este modelo. Bajo la hipótesis de que el modelo reducido es diferente del modelo completo, la simplificación de estos modelos en relación con el modelo completo de la varianza ambiental se soporta con los datos del presente estudio. Al seguir este criterio se favorece al modelo de la varianza de la estabilidad, por lo que la estabilidad de las variedades del estudio debe determinarse con él.

of the symmetrical matrix variance-covariance $\text{var}(hj) = \Omega$ can take any value, while the value of Ω is positive and finite. The elements of the diagonal Ω are variances corresponding to the I genotypes, which should be interpreted as measures of stability (Piepho, 1999). Placing stability in terms of variances permits the comparison among different models.

Analysis of the data

The parameters of stability that were used were those of the models proposed by Shukla (1972) (variance of stability), Finlay and Wilkinson (1963), Eberhart and Russell (1966) (regression) and environmental variance, which were described by Piepho (1999). The statistical analyses were made with the procedure MIXED of SAS, with averages genotype-environment, the environments as random factor and the varieties as fixed factor. The tests of goodness of fit of the data to the tested models were made through the statistical proportion of the value of the parameter of the restricted maximum likelihood (LL_R) of the general model (environmental variance) with the respective value of the reduced models. The fitting of the models was made according to the information criterion of Akaike (AIC) to select the most adequate (Wolfinger, 1996), which is calculated through the following equality: $AIC = LL_R - p$, where p is the number of parameters in the structure variance-covariance in each model; the higher the value of AIC, the more adequate

Cuadro 1. Prueba de bondad de ajuste para volumen de pan de nueve variedades de trigo harinero en 22 ambientes de secano en México.

Table 1. Goodness of fit test for bread volume of nine varieties of bread wheat in 22 rainfed environments in Mexico.

Modelo	p	$-2LL_R$	AIC
Varianza de la estabilidad (Shukla, 1972)	10	2139.0	-1079.5
Regresión (Finlay y Wilkinson, 1963)	10	2148.1	-1084.1
Regresión (Eberhart y Russell, 1966)	18	2130.5	-1083.3
Varianza ambiental (Lin <i>et al.</i> , 1986)	45	2079.9	-1084.9

p : número de parámetros en la estructura varianza-covarianza, AIC: criterio de información de Akaike, LL_R : parámetro de máxima verosimilitud restringida ♦ p : number of parameters in the variance-covariance structure, AIC: information criterion of Akaike, LL_R : parameter of restricted maximum likelihood.

Los parámetros relevantes para los modelos evaluados (Cuadro 2) indicaron que la variedad Juchi F2000 fue la más estable de acuerdo con el modelo de varianza de la estabilidad, pues le correspondió el valor menor de $\sigma^2_{(i)}$, el valor menor de la varianza ambiental (σ_{ii}), el valor absoluto menor del coeficiente de regresión (σ_j) de acuerdo con los análisis de Finlay y Wilkinson (1963) y Eberhart y Russell (1966) y la varianza menor de las desviaciones ($\sigma^2_{(ii)}$) de acuerdo con el modelo de Eberhart y Russell (1966). Así, todos los modelos indicaron que Juchi F2000 fue la variedad más estable, y le siguieron Gálvez M87 y Náhuatl F2000. El volumen de pan tiene estrecha relación con la cantidad y calidad de las proteínas. Estas variedades se caracterizan por su contenido alto de proteína (127 a 139 g kg⁻¹) (Espitia *et al.*, 2003); además, presentan los alelos de gluteninas de peso molecular alto 17+18 y 5+10 en *Glu-B1* y *Glu-D1*, relacionadas con buena calidad (Kaya y Akcura, 2014) y podrán amortiguar mejor el efecto del ambiente (Espitia *et al.*, 1999). Por lo tanto, son variedades estables para volumen de pan. Las variedades menos estables fueron Pavón F76, Temporalera M87 y Batán F96, pues presentaron las varianzas con los valores mayores (Cuadro 2), aunque también presentan el alelo 5+10 en *Glu-D1*. Esto podría deberse a diferencias en alelos de gluteninas con peso molecular bajo (Martinez-Cruz *et al.*, 2010), o a la influencia de otros factores que reducirían la calidad, como sequías y enfermedades (Hortelano *et al.*, 2013). Los errores estándar de los parámetros estimados parecen altos en todas las variedades, lo que

the model in question will be. The analysis of the environments of the study was made through the transposition of the matrix genotype-environment and the bread volume was graphed with the environmental variance. The fitted average values were compared with the model selected with Tukey test ($\alpha=0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Bread volume of the varieties and environments in all of the models tested showed significant differences ($p \leq 0.01$), according to the goodness of fit tests of the tested models (Table 1). The highest value of the criterion of information of Akaike corresponded to the model of the variance of stability of Shukla (1972); thus according to Wolfinger (1996), the stability of the varieties should be determined with this model. Under the hypothesis that the reduced model is different from the complete model, the simplification of these models in relation to the complete model of the environmental variance is supported by the data of the present study. Following this criterion the model of the variance of stability is favored; therefore, it should be used to determine the stability of the varieties of the study.

The relevant parameters for the evaluated models (Table 2) indicated that the variety Juchi F2000 was the most stable according to the model of variance of stability, corresponding the lowest value of $\sigma^2_{(i)}$, the lowest value of environmental variance (σ_{ii}), the lowest absolute value of the regression coefficient (σ_j) according to the analyses of Finlay and Wilkinson

Cuadro 2. Parámetros estimados (máxima verosimilitud restringida, REML) con errores estándar (ES) para la estructura varianza-covarianza de modelos de estabilidad para el volumen de pan de trigos harineros.

Table 2. Estimated parameters (restricted maximum likelihood, REML) with standard errors (SE) for the variance-covariance structure of stability models for the bread volume of bread wheat.

Genotipo	Varianza de la estabilidad (Shukla, 1972)		Regresión (Finlay y Wilkinson, 1963)		Regresión (Eberhart y Russell, 1966)		Regresión (Eberhart y Russell, 1966)		Varianza ambiental (Lin <i>et al.</i> , 1986)	
	$\sigma^2_{(i)}$	ES	λ_i	ES	λ_i	ES	$\sigma^2_{(ii)}$	ES	σ_{ii}	ES
Juchi F2000	228.9	919.3	72.1	17.1	1026.4	500.6	44.4	12.8	7824.7	2414.8
Romoga F96	548.7	1725.4	77.4	17.8	5859.9	1971.8	87.0	23.8	11524	3556.5
Náhuatl F2000	1203.9	731.4	85.3	18.5	3635.5	1237.4	81.5	18.5	9559.2	2950.0
Tlaxcala F2000	1485.0	691.9	82.0	18.1	1287.2	652.6	73.0	17.2	8990.3	2774.5
Rebeca F2000	3387.6	1422.3	92.1	19.4	4167.1	1848.4	64.1	22.1	13180.0	4167.8
Batán F96	3667.9	1150.8	112.4	21.7	2501.3	908.0	115.8	21.1	15608.0	4816.6
Gálvez M87	4537.4	1277.3	73.5	17.3	4768.7	1638.7	93.1	22.7	8777.7	2708.9
Temporalera M87	4844.0	1452.3	97.3	19.9	1866.0	741.9	107.8	19.4	13218.0	4079.2
Pavón F76	7628.7	1919.8	99.1	20.1	5362.8	1740.1	78.3	20.4	14609.0	4508.6

podría indicar que 22 ambientes es un número inadecuado para estimar confiablemente la estabilidad; esto concuerda con lo reportado por Piepho (1999).

Una variedad debe ser estable y producir pan con media alta de volumen de pan, por lo que esta variable es clave en la selección. Las medias de volumen de pan con errores estándar (Cuadro 3) estimados por los modelos mostraron que las medias estimadas y los errores estándar son estables en todos los modelos. De acuerdo con el modelo de la varianza de la estabilidad, Náhuatl F2000, Juchi F2000 y Gálvez M87 mostraron los promedios más altos de volumen de pan, y les siguieron Pavón F76, Tlaxcala F2000 y Temporalera M87. Esto está relacionado con el contenido alto de proteína (Espitia *et al.*, 2003) y su calidad (Cuadro 4); pues Náhuatl F2000, Juchi F2000 y Gálvez M87 presentan el alelo 5+10 de gluteninas de peso molecular alto en *Glu-D1*, conocido por conferir fuerza a la masa y volumen mayor de pan (Espitia *et al.*, 2008; Malik *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2015).

Además de Juchi F2000, las variedades Náhuatl F2000 y Gálvez M87 mostraron buena estabilidad y promedios altos de volumen de pan; Tlaxcala F2000 presentó estabilidad alta y volumen intermedio de pan. Además, con valores de estabilidad y volumen de pan intermedio se identificó a Rebeca F2000 y Temporalera M87. Rebeca F2000, Romoga F96 y Batán F96 presentaron estabilidad y volúmenes bajos de pan. La combinación más adecuada en una variedad sería su calidad panadera estable, sin respuesta a las variaciones del ambiente, y que produjera pan con volumen

(1963) and Eberhart and Russell (1966) and the lowest variance of the deviations) $\sigma^2_{(ii)}$ according to the model of Eberhart and Russell (1966). Thus, all of the models indicated that Juchi F2000 was the most stable variety, followed by Gálvez M87 and Náhuatl F2000. Bread volume is closely related to the amount and quality of proteins. These varieties are characterized by their high protein content (127 to 139 g kg⁻¹) (Espitia *et al.*, 2003); besides they present alleles of glutenins of high molecular weight 17+18 and 5+10 in *Glu-B1* and *Glu-D1*, related to good quality (Kaya and Akcura, 2014) and will be able to better cushion the environment effect (Espitia *et al.*, 1999). Therefore, these are stable varieties for bread volume. The least stable varieties were Pavón F76, Temporalera M87 and Batán F96, as they showed the variances with highest values (Table 2), although they also showed the allele 5+10 in *Glu-D1*. This could be due to differences in alleles of glutenins with low molecular weight (Martinez-Cruz *et al.*, 2010), or to the influence of other factors that will reduce quality, such as drought and diseases (Hortelano *et al.*, 2013). The standard errors of the estimated parameters seem high in all of the varieties, which could indicate that 22 environments is an inadequate number to reliably estimate stability; this agrees with that reported by Piepho (1999).

A variety should be stable and produce bread with high mean of bread volume, thus this variable is key in selection. The means of bread volume with standard errors (Table 3) estimated by the models showed

Cuadro 3. Medias estimadas del volumen de pan y errores estándar para variedades de trigo. Máxima verosimilitud restringida, REML con errores estándar por diferentes modelos.

Table 3. Estimated measurements of bread volume and standard errors for wheat varieties. Restricted maximum likelihood, REML with standard errors for different models.

Genotipo	Varianza de la estabilidad (Shukla, 1972)		Regression (Finlay y Wilkinson, 1963)		Regression Eberhart y Russell (1966)		Varianza ambiental (Lin <i>et al.</i> , 1986)	
	cm ³	ES	cm ³	ES	cm ³	ES	cm ³	ES
Náhuatl F2000	867.8	20.3	867.4	22.7	868.6	20.9	867.4	21.4
Juchi F2000	864.1	21.1	864.1	20.0	863.7	19.2	864.1	18.9
Gálvez M87	855.1	23.7	855.1	20.2	855.7	19.9	855.1	20.0
Pavón F76	822.7	26.5	822.7	23.8	823.4	25.7	822.7	25.8
Tlaxcala F2000	818.8	20.5	818.8	21.5	818.4	20.1	818.8	20.2
Temporalera M87	814.3	24.0	814.3	24.4	815.1	24.4	814.3	24.5
Rebeca F2000	801.2	22.7	801.5	24.0	803.9	23.8	801.7	24.5
Romoga F96	794.8	24.1	794.8	21.0	795.4	22.8	794.8	22.9
Batán F96	777.3	22.8	777.3	27.3	778.2	26.5	777.3	26.6

Cuadro 4. Calidad y contenido de proteína de nueve variedades de trigo harinero en 22 ambientes de temporal en México.
Table 4. Quality and content of protein of nine varieties of bread wheat in 22 rainfed environments in Mexico.

Genotipo	Gluteninas de alto peso molecular	Proteína en grano (mg g ⁻¹)	Proteína en harina (mg g ⁻¹)
Batán F96	2*-17+18-5+10	119.00	102.5
Gálvez M87	1-17+18-5+10	128.20	99.8
Juchi F2000	2*-7+9-5+10	125.10	110.5
Náhuatl F2000	2*-17+18-5+10	127.60	111.0
Pavón F76	2*-17+18-5+10	127.46	108.5
Rebeca F2000	1-17+18-5+10	120.68	102.1
Romoga F96	1-17+18-5+10	124.23	108.4
Temporalera M87	2*-17+18-5+10	123.98	108.1
Tlaxcala F2000	1-17+18-5+10	124.07	109.9
	DMSH	0.43	0.34

DMSH, diferencia mínima significativa honesta ♦ DMSH, honest minimum significant difference.

alto. De acuerdo con las estimaciones de las varianzas ambientales y los valores promedio estimados con el modelo varianza de la estabilidad (Shukla, 1972), las variedades mejor apegadas a lo antes señalado son Náhuatl F2000, Juchi F2000 y Gálvez M87; y les siguen Pavón F76 y Tlaxcala F2000. Esto indica que las variedades de la serie 2000 tienen buena calidad panadera; además, tres de ellas tienen estabilidad y generan pan con volumen comparable a Gálvez M87, la cual se considera en la industria como una variedad de referencia de calidad panadera (Espitia *et al.*, 2003).

La combinación de la estabilidad y el volumen de pan, mediante las comparaciones de los valores promedio estimados por el modelo de la varianza de la estabilidad (Cuadro 5), mostró que las variedades Náhuatl F2000, Juchi F2000 y Gálvez M87 son las más deseables por su estabilidad y volumen de pan mayores. El orden de estabilidad concordó en todas las variedades; es decir, al volumen mayor de pan le correspondió estabilidad mayor. Así, para amortiguar los efectos del ambiente restrictivo para volumen de pan, sería conveniente utilizar los genotipos de calidad muy buena, que al cultivarse en los ambientes restrictivos mantenga el volumen de pan aceptable, como lo indicaron Espitia *et al.* (2003).

Los ambientes de prueba formaron tres grupos (Figura 1). La mayoría de ellos (12) en el cuadrante II, con estabilidad y volumen de pan mayores. En el cuadrante III se ubicaron seis ambientes que generaron estabilidad mayor y volumen bajo de pan. En el cuadrante IV se ubicaron cuatro ambientes, que originaron estabilidad y volumen de pan bajos. Ningún ambiente se ubicó en el cuadrante I, el cual representa

that the estimated means and the standard errors are stable in all of the models. According to the model of the variance of stability, Náhuatl F2000, Juchi F2000 and Gálvez M87 showed the highest averages of bread volume, followed by Pavón F76, Tlaxcala F2000 and Temporalera M87. This is related to the high protein content (Espitia *et al.*, 2003) and its quality (Table 4); as Náhuatl F2000, Juchi F2000 and Gálvez M87 present the allele 5+10 of glutenins of high molecular weight in *Glu-D1*, known to confer strength to the dough and higher bread volume (Espitia *et al.*, 2008; Malik *et al.*, 2013; Martínez *et al.*, 2015).

Cuadro 5. Deseabilidad de genotipos combinando estabilidad y volumen de pan.**Table 5. Desirability of genotypes combining stability and bread volume**

Genotipo [†]	Estabilidad	Volumen de pan
	$\sigma^2_{(i)}$	cm ³
Náhuatl F2000	228.9	867.8 a
Juchi F2000	548.7	864.1a
Gálvez M87	1203.9	855.1ab
Pavón F76	1485.0	822.7bc
Tlaxcala F2000	3387.6	818.8bc
Temporalera M87	3667.9	814.3 c
Rebeca F2000	4537.4	801.2cd
Romoga F96	4844.0	794.8cd
Batán F96	7628.7	777.3 d

Valores promedio con diferentes letras son estadísticamente diferentes ♦ Average values with different letters are statistically different.

[†]El orden de los genotipos indica la deseabilidad ♦ The order of the genotypes indicates desirability.

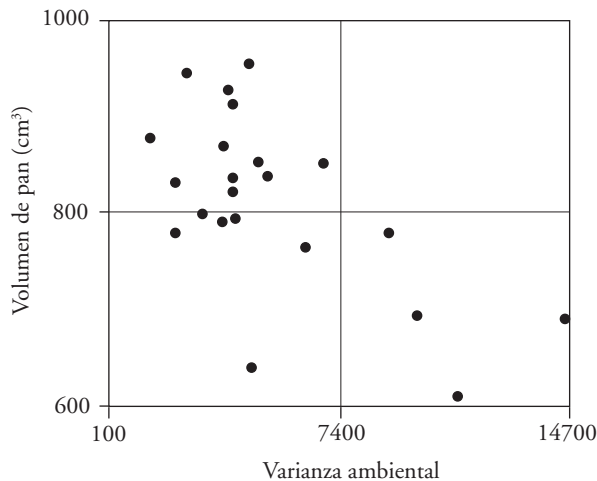


Figura 1. Dispersión de los ambientes dependiente de la varian-za ambiental y el volumen de pan.

Figure 1. Dispersal of the environments dependent on the en-vironmental variance and bread volume.

un área de estabilidad baja y volumen alto de pan. Para la evaluación de líneas se podría prescindir de algunas localidades ubicadas en el cuadrante II, ya que ellas representan estabilidad buena y volumen alto de pan. Con esto se reducirían costos, pues esta condición estaría representada con la mitad de los ambientes.

Con el programa la estabilidad se analiza fácil y rápido, permite el análisis con los promedios genotipo-ambiente (experimentos sin repeticiones por ambiente) y los recursos computacionales son reducidos. Además, con los modelos mixtos el análisis de experimentos desbalanceados es posible. Este tipo se presenta con frecuencia por razones diversas, como datos de parcelas perdidas, diferente número de repeticiones entre experimentos o falta de prueba de algunas combinaciones genotipo-ambiente. Al poner los parámetros de estabilidad en términos de varianzas es posible comparar entre métodos; además, al asignar un valor numérico de estabilidad a cada genotipo pueden compararse, categorizarse y seleccionarse. En los programas de mejoramiento esta metodología se puede utilizar para seleccionar líneas por su estabilidad, y al tener una medida de la estabilidad se pueden ordenar los genotipos de mayor a menor.

CONCLUSIONES

Las variedades Náhuatl F2000, Juchi F2000 y Gálvez M87 generan pan con volumen mayor más estable

In addition to Juchi F2000, the varieties Náhuatl F2000 and Gálvez M87 showed good stability and high averages of bread volume; Tlaxcala F2000 presented high stability and intermediate bread volume. Furthermore, Rebeca F2000 and Temporalera M7 were identified with intermediate values of stability and bread volume. Rebeca F2000, Romoga F96 and Batán F96 presented low stability and bread volumes. The most adequate combination in a variety would be its stable bread-making quality, without response to the variations of the environment, and that would produce bread with high volume. According to the estimations of environmental variances and the average values estimated with the variance model of stability (Shukla, 1972), the varieties that best adhere to what was previously indicated are Náhuatl F2000, Juchi F2000 and Gálvez M87; followed by Pavón F76 and Tlaxcala F2000. This indicates that the varieties of the series 2000 have good bread-making quality; furthermore, three of them have stability and generate bread with volume comparable to Gálvez M87, which is considered in the industry as a reference variety of bread-making quality (Espitia *et al.*, 2003).

The combination of stability and bread volume, through comparisons of the estimated average values by the model of the variance of stability (Table 5), showed that the varieties Náhuatl F2000, Juchi F2000 and Gálvez M87 are the most desirable for their higher stability and bread volume. The order of stability concurred in all of the varieties; that is, the higher the bread volume, the higher the stability. Thus, to cushion the effects of environment restrictive for bread volume, it would be convenient to use the genotypes of very good quality, which when cultivated in the restrictive environments maintain acceptable bread volume as indicated by Espitia *et al.* (2003).

The test environments formed three groups (Figure 1). Most of them (12) in quadrant II, with higher stability and bread volume. Quadrant III contains six environments that generated higher stability and low bread volume. Quadrant IV contains four environments, which showed low stability and bread volume. None of the environments was located in quadrant I; this represents an area of low stability and high bread volume. For the evaluation of lines some of the locations in quadrant II could be dispensed with, since they represent good stability

cuando se cultivan en la mayoría de los ambientes de prueba, por lo cual son las más deseables para panificación.

El modelo de estabilidad de la varianza de la estabilidad se ajusta mejor al volumen de pan. Los modelos mixtos por su facilidad de manejo, rapidez de análisis y menor demanda de recursos computacionales son una herramienta de gran utilidad en la determinación de la estabilidad en ambientes diversos y en la selección de genotipos estables.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través de Proyecto 146788, el financiamiento parcial para la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- AACC. 1995. Approved Methods of the AACC. 9th ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA. 1268 p.
- Aslani F., M. Mehrvar R., A. Nazeri and A. Juraimi S. 2013. Investigation of wheat grain quality characteristics under water deficit condition during postanthesis stage. *ARPN J. Agric. and Biol. Sci.* 8: 273-178.
- Becker H. C. and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed* 101: 1-23.
- Denis J. B., H. P. Piepho, and F. Van Eeuwijk A. 1997. Modelling expectation and variance for genotype by environment data. *Heredity* 79: 162-171.
- Eberhart S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- Espitia R. E., C. Martínez E., R. J. Peña B., H. E. Villaseñor M., y J. Huerta E. 2008. Polimorfismo de gluteninas de alto peso molecular y su relación con trigos harineros para temporal. *Agric. Téc. Méx.* 34: 57-67.
- Espitia-Rangel E., P. Baenzinger S., R. Graybosch A., D. Shelton R., and B. Moreno-Sevilla. 1999. End-use quality performance and stability of 1A vs 1AL.1RS genotypes derived from the winter wheat Nekota. *Crop Sci.* 39:649-654.
- Espitia R. E., R. J. Peña B., H. E. Villaseñor M., J. Huerta E. y A. Limón O. 2003. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I. Comparación de variedades y causas de la variación. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 249-256.
- Finlay K. W., and A. Wilkinson A. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- Hortelano S. R., H. E. Villaseñor M., E. Martínez C., M. F. Rodríguez G., E. Espitia R., y L. A. Mariscal A. 2013. Estabilidad de variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en los Valles Altos de la Mesa Central. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4: 713-725.
- Hristov N., N. Mladenov, V. Djuric, A. Kondic-Spika, A. Marjanovic-Jeromela, and D. Simic. 2010. Genotype by environment interactions in wheat quality breeding programs in southeast Europe. *Euphytica.* 174: 315-324.
- and high bread volume. This would reduce costs, as this condition would be represented with half of the environments.
- With this program, stability is analyzed easily and rapidly, and allows the analysis with the averages genotype-environment (experiments without replicates per environment) and the computational resources are reduced. In addition, with the mixed models the analysis of unbalanced experiments is possible. This type is presented frequently for diverse reasons, such as lost data of plots, different number of replicates among experiments or lack of proof of some genotype-environment combinations. By placing the parameters of stability in terms of variances it is possible to compare between methods; furthermore, by assigning a numerical value of stability to each genotype, they can be compared, categorized and selected. In the breeding programs this methodology can be used to select lines by their stability, and by having a measurement of stability, the genotypes can be ordered from high to low.

CONCLUSIONS

The varieties Náhuatl F2000, Juchi F2000 and Gálvez M87 generate bread with higher and more stable volume when they are cultivated in most of the test environments; thus, they are the most desirable for bread-making.

The stability model of the stability variance shows the best fit to bread volume. The mixed models, because of their ease of handling, speed of analysis and lower demand of computational resources, are a tool of great usefulness in the determination of stability in diverse environments and in the selection of stable genotypes.

—End of the English version—

-----*-----

- Kaya Y., and M. Akcura. 2014. Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Sci. Technol.* Campinas. 34: 386-393.
- Li Y., Yu Wua, Nayelli Hernandez, and R. J. Peña. 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.
- Lin C. S., M. Binns R., and L. Levkovich P. 1986. Stability analysis: where do we stand? *Crop Sci.* 26: 894-900.

- Malik A. H., R. Kuktaite, and E. Johansson. 2013. Combined effect of genetic and environmental factors on the accumulation of proteins in the wheat grain and their relationship to bread-making quality. *J. Cereal Sci.* 57: 170-174.
- Martinez Cruz E., H. E. Villaseñor Mir, R. Hortelano Santa Rosa, P. Pérez Herrera, y E. Espitia Rangel. 2015. El efecto de las bajas temperaturas sobre la calidad industrial del trigo de temporal. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6: 793-802.
- Martinez-Cruz E., E. Espitia-Rangel, H. E. Villaseñor, J.D. Molina-Galan, I. Benitez-Riquelme, A. Santacruz-Varela, and R. J. Peña-Bautista. 2010. Dough Rheology of recombinant lines in relation to allelic variants of Glu-1 and Glu-3 loci. *Cereal Res. Comm.* 39: 386-393.
- Mohan D., A. Singh M., A. Ahlawat, and R. Gupta K. 2014. Analogy between agronomic and grain quality attributes of wheat for response to crop seasons, locations, site-year and genotype environment interactions. *J. Wheat Res.* 6: 126-131.
- Piepho H., P. 1998. Methods for comparing the yield stability of cropping systems: a review. *J. Agron. Crop Sci.* 180: 193-213.
- Piepho H., P. 1999. Stability analysis using the SAS System. *Agron. J.* 91: 160-165.
- Rozbicki J., A. Ceglinska, D. Gozdowski, M. Jakubczak, G. Cacak-Pietrzak, W. Madry, J. Golba, M. Piechocinski, G. Sobczynski, M. Studnicki, and T. Drzazga. 2015. Influence of the cultivar, environment and management on the grain yield and bread-making quality in winter wheat. *J. Cereal Sci.* 61: 126-132.
- Sanchez-Garcia M., F. Alvaro, A. Peremarti, J. A. Martin-Sanchez, and C. Royo. 2015. Changes in bread-making quality attributes of bread wheat varieties cultivated in Spain during the 20th century. *Europ. J. Agron.* 63: 79-88.
- SAS Institute, Inc. 2005. The SAS system SAS online doc HTML format, version 9. SAS Inst. Cary, NC.
- Shukla G., K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29: 237-245.
- Vazquez D., A. G. Berger, M. Cuniberti, C. Bainotti, M. Zavariz, P. L. Scheeren, C. Jobet, J. Zuñiga, G. Cabrera, R. Verges, and R. J. Peña. 2012. Influence of cultivar and environment on quality of Latin American wheats. *J. Cereal Sci.* 56: 196-203
- Villaseñor M., H. E., y E. Espitia. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal, problemática y condiciones de producción. *In: Villaseñor M. H. E., y E. Espitia (eds). El trigo de temporal en México. Chapingo, México, SAGAR-INIFAP (Libro Técnico No. 1). p: 85-98.*
- Wolfinger R., D. 1996. Heterogeneous variance-covariance structures for repeated measures. *J. Agric. Biol. Environ. Stat.* 1: 205-230.