

## Estabilidad del rendimiento de grano en híbridos trilineales androesteriles de maíz para Valles Altos de México\*

### Grain yield stability in trilinear male sterile corn hybrids for Valles Altos de Mexico

Enrique Inocencio Canales Islas<sup>1</sup>, Margarita Tadeo Robledo<sup>2</sup>, José Apolinar Mejía Contreras<sup>1§</sup>, José de Jesús García Zavala<sup>1</sup>, Alejandro Espinosa Calderón<sup>3</sup>, Fernando Castillo González<sup>2</sup>, Mauro Sierra Macías<sup>3</sup> y Noel Gómez Montiel<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados- Campus Montecillo. CP. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tel. 01 (595) 952-0257. Fax: 01 (595) 952-0262. (enrique1784@yahoo.com.mx; mapolina@colpos.mx; zavala@colpos.mx; fcastill@colpos.mx). <sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de México- FES Cuautitlán. (tadeorobledo@yahoo.com). <sup>3</sup>INIFAP-C. E. Valle de México, C. E. Cotaxtla y C. E. Iguala. (espinoale@yahoo.com.mx; mauro\_s55@hotmail.com; noelorando19@hotmail.com). <sup>§</sup>Autor para correspondencia mapolina@colpos.mx

#### Resumen

En la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CEVAMEX), se cuenta con híbridos trilineales de maíz (*Zea mays* L.), cuyas cruces simples progenitoras poseen androesterilidad para facilitar la producción de semillas, mantener su calidad genética y para disminuir costos de producción de semilla. Previo a la liberación comercial de los híbridos para su uso extensivo, se requiere identificar los mejores genotipos, con base en rendimiento y estabilidad en diferentes ambientes de prueba. El objetivo de este trabajo fue identificar híbridos trilineales de maíz que presenten estabilidad del rendimiento de grano, utilizando los parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell y el modelo de interacción multiplicativo y de efectos principales aditivos (AMMI, por sus siglas en inglés), así como definir el modelo que mejor describa la interacción genotipo por ambiente. Se evaluaron cuatro híbridos trilineales androestériles y fértiles en experimentos establecidos en condiciones de punta de riego, en dos localidades en el ciclo primavera- verano 2012, y en cada una de dos fechas de siembra y dos densidades de población. Se conformaron ocho diferentes ambientes de prueba, combinando localidades x fechas de siembra x densidades de población. El modelo AMMI identificó

#### Abstract

At the Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM) and the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CEVAMEX), has trilinear maize hybrid (*Zea mays* L.), whose single crosses parent possess male sterility to facilitate seed production, maintain their genetic quality and reduce seed production costs. Prior to commercial release of the hybrids for its extensive use, it is required to identify the best genotypes, based on yield and stability under different environments. The aim of this study was to identify trilinear corn hybrids grain yield stability, using Eberhart and Russell stability parameters and the additive main effect and multiplicative interaction (AMMI) model, thus to define the model that best describes the interaction genotype per environment. Four sterile and fertile male trilinear hybrids were evaluated in experiments established with one irrigation in two locations in spring-summer 2012, and in each of two planting dates and two population densities, eight test environments, combining locality x planting date x population densities were formed. AMMI identified as stable the trilinear hybrids H-57 and Puma 1183 AEC2, while the stability parameters model identified hybrids H-53, Puma 1183 AEC1 and Puma 1183

\* Recibido: junio de 2016  
Aceptado: septiembre de 2016

como estables a los híbridos trilineales H-57 y Puma 1183 AEC2, mientras que el modelo de parámetros de estabilidad identificó a los híbridos H-53, Puma 1183 AEC1, y Puma 1183 AEC2 como estables por sus coeficientes de regresión cercanos a la unidad y desviaciones de regresión próximas a cero. Los niveles de correspondencia entre ambos modelos fueron de 50% para los híbridos. Se concluye que ambos modelos identificaron por lo menos a un híbrido trilineal como estable, pero fue el modelo AMMI el que mejor describió la interacción genotipo por ambiente.

**Palabras clave:** *Zea mays*, adaptabilidad, androesterilidad, cruza simples, estabilidad, productividad, rendimiento, producción de semillas.

## Introducción

El uso de híbridos trilineales de maíz (*Zea mays*) en México, incluyendo los Valles Altos (2 200 a 2 600 m de altitud), es generalizado en la actualidad; su inicio data de 1986, cuando se identificaron ventajas a este tipo de híbridos: facilitan la producción de semillas; se requieren menor número de lotes de progenitores para llegar a la obtención de semilla certificada; el control de la calidad genética es accesible al poderse desmezclar fácilmente la línea progenitora macho, así Rowe y Andrew (1964) mencionan en general que poblaciones homogéneas de maíz (líneas puras y cruza simples) muestran menor estabilidad que poblaciones heterogéneas (cruza dobles y trilineales).

En el periodo de 1943 a 1985, los híbridos de crusa doble de progenitores de baja endogamia, fue el tipo de conformación de híbridos más utilizado en México, con base en un objetivo relacionado con la intención de que tuviesen mayor adaptabilidad; sin embargo, en general mostraban baja heterosis, dificultades para la producción de semilla, más esfuerzo para su producción en ciclos de cultivo, y mayores costos de producción para la obtención del híbrido final (Espinosa *et al.*, 1986). Los híbridos de crusa simple que se han generado para la zona de producción de Valles Altos no han tenido el potencial productivo esperado, pero tampoco se cuenta con líneas hembras homocigóticas altamente rendidoras; estos híbridos presentan alta interacción genotipo\*ambiente (GE). Estas cruza simples son la clave para la obtención de híbridos trilineales, ya que la crusa simple que participa como hembra es de alta productividad (Espinosa *et al.*, 1998; Sierra *et al.*, 2006; Márquez, 2009).

AEC2 as stable for their regression coefficients close to unit and regression of deviations close to zero. The levels of correspondence between the two models were 50% for hybrids. It is concluded that both models identified at least a trilinear hybrid as stable, but it was the AMMI model that best described the interaction genotype x environment.

**Keywords:** *Zea mays*, adaptability, male sterility, productivity, seed production, single crosses, stability, yield.

## Introduction

The use of trilinear corn hybrid (*Zea mays*) in Mexico, including Valles Altos (2 200-2 600 masl), is widespread nowadays; its beginning dates back to 1986, when identifying advantages to this type of hybrids: facilitate seed production; fewer parents are required to reach the production of certified seed; control of genetic quality is accessible as it is easy to demix the male parent line, thus Rowe and Andrew (1964) overall mention that homogeneous maize populations (inbred lines and single crosses) show lower stability than heterogeneous populations (double and trilinear crosses).

In the period 1943-1985, double cross hybrids from low inbreeding parents, was the formation of hybrid most commonly used in Mexico, based on an objective related to the intent that this had greater adaptability; however, overall showed low heterosis, difficulty for seed production, more effort for its production in crop cycles, and higher production costs to obtain final hybrid (Espinosa *et al.*, 1986). The single cross hybrids that have been generated for the production area Valles Altos have not had the expected production potential, but neither has highly yielding lines homozygous females; these hybrids have high genotype\*environment interaction (GE). These simple crosses are the key to obtaining trilinear hybrid, because the single cross that participates as female has high productivity (Espinosa *et al.*, 1998; Sierra *et al.*, 2006; Márquez, 2009).

In breeding programs, it is important to define which genotypes are outstanding in yield, adaptation and stability, assessing these properties in multi-environments to recommend its use commercially (Crossa *et al.*, 2006). Adaptation broadly refers to the outperformance of a genotype in most test environments, while is specific aspects, the sample genotype with outperformance in a given test

En los programas de mejoramiento genético, es importante definir cuáles son los genotipos sobresalientes en cuanto a rendimiento, adaptación y estabilidad, evaluando estas propiedades en multi-ambientes para recomendar su uso de manera comercial (Crossa *et al.*, 2006). La adaptación en sentido amplio, se refiere al mejor comportamiento relativo de un genotipo en la mayoría de los ambientes de prueba, mientras que, en sentido específico, la muestra el genotipo con mejor comportamiento relativo en un determinado ambiente de prueba (Cooper *et al.*, 1999; Fuentes *et al.*, 2005). Al respecto, Hanson (1970), define al genotipo estable como aquel que tiene la variabilidad mínima posible, cuando se desarrolla en diferentes ambientes.

El estudio de la interacción genotipo\*ambiente (GE) en el mejoramiento genético vegetal es muy importante, pues esta es el resultado de la respuesta de cada genotipo frente a las variaciones ambientales (Crossa *et al.*, 2006). Para lograr mayores avances en el mejoramiento genético de una especie, es necesario establecer correctamente las metodologías a utilizar para la evaluación de la interacción genotipo\*ambiente (GE), para estimar con precisión la respuesta diferencial de los genotipos a través de los ambientes de prueba.

Entre las diversas metodologías para el estudio de la estabilidad en cultivos, destaca el modelo de Eberhart y Russell (1966), modificado del método de Finlay y Wilkinson (1963), utilizando la media aritmética de los datos reales y señalando que el coeficiente de la regresión de los efectos ambientales sobre los efectos fenotípicos puede utilizarse como estimador para medir la respuesta de cada cultivar a los índices ambientales, y la estabilidad de producción es posible medirla por la magnitud de la desviación a partir de la regresión lineal; es decir, por medio del cuadrado medio de la desviación de regresión. En este modelo una variedad con media alta, coeficiente de regresión  $\beta_i=1$  y desviación no significativamente diferente de cero ( $\delta_{di}^2=0$ ) se considera la variedad estable ideal.

Por otra parte, en los métodos multivariados, el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), consiste esencialmente en combinar las técnicas del análisis de varianza y el análisis de componentes principales (ACP) en un sólo modelo, aquí el análisis de varianza permite estudiar los efectos principales de genotipos y ambientes, en tanto que, la interacción genotipo x ambiente (IGA) se trata de forma multivariada mediante

environment (Cooper *et al.*, 1999; Fuentes *et al.*, 2005). In this regard, Hanson (1970) defines stable genotype as that having the lowest possible variability, when grown under different environments.

The study of genotype\*environment (GE) interaction in plant breeding is very important because this is the response of each genotype against environmental variations (Crossa *et al.*, 2006). To make further progress in genetic breeding of a species, it is necessary to properly establish the methodologies to be used for the evaluation of the genotype\*environment (GE) interaction, to accurately estimate the differential response of genotypes across test environments.

Among the various methodologies for the study of crop stability, highlights the Eberhart and Russell (1966) model, modified from Finlay and Wilkinson (1963) method, using the arithmetic mean of actual data and noting that the regression coefficient from environmental effects on phenotypic effects can be used as an estimator to measure the response of each cultivar to environmental indices, and production stability is possible to measure the magnitude of deviation from the linear regression; that is, by the mean square deviation of regression. In this model a variety with high average, regression coefficient  $\beta_i = 1$  and deviation not significantly different from zero ( $\delta_{di}^2 = 0$ ) is considered the ideal stable variety.

Moreover, in multivariate methods, the additive main effect and multiplicative interaction model (AMMI), consists essentially of combining the techniques of analysis of variance and principal component analysis (PCA) in a single model, here the analysis of variance allows to study the main effects of genotypes and environments, while the genotype x environment interaction (IGA) is treated in a multivariate way by the ACP, where a reconfiguration of the regression model is performed to improve the interpretation of the interaction (Zobel, 1988).

To interpret the results obtained from AMMI analysis, according to Yan *et al.* (2000), it is to use the combined effects of genotypes (G) and the interaction genotype x environment (IGE) in yield evaluation, obtaining the graphics called GGE biplot (genotype G + genotype\*environment interaction GE), which facilitate visual identification of genotypes and environment evaluation. Generally, GGE biplot graphics are made using the first two principal components (CPI

el ACP, donde se realiza una reparametrización del modelo de regresión para mejorar la interpretación de la interacción (Zobel, 1988).

Para interpretar los resultados obtenidos del análisis AMMI, de acuerdo con Yan *et al.* (2000), es utilizar los efectos combinados de genotipos (G) y de la interacción genotipo por ambiente (IGE) en la evaluación del rendimiento, obteniéndose los gráficos denominados GGE (genotipo G + interacción genotipo\*ambiente GE) biplot, que facilitan la identificación visual de los genotipos y los ambientes de evaluación. Generalmente, los gráficos GGE biplot se confeccionan utilizando los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2). Así, el genotipo que está en el vértice es el que responde mejor en los ambientes de evaluación (Yan *et al.*, 2001).

Partiendo de lo mencionado anteriormente, el objetivo de este trabajo fue identificar híbridos trilineales de maíz que presenten mejor estabilidad del rendimiento de grano, utilizando dos modelos para evaluar la estabilidad parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell y AMMI, así como definir al modelo que mejor describa la interacción genotipo\*ambiente. Con base en los resultados, se pretende recomendar la liberación comercial posterior en el caso de los mejores híbridos trilineales identificados en este trabajo.

## Material y métodos

Este trabajo se realizó en el ciclo primavera-verano 2012, en dos localidades; la primera fue la FESC-UNAM (Cuautitlán-UNAM), municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, a una altitud de 2 274 m; la segunda localidad fue en el predio Santa Lucía de Prías, del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), municipio de Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2 240 m. En ambas localidades se sembraron dos experimentos en dos fechas de siembra. En Cuautitlán-UNAM la primer fecha de siembra fue el 21 de mayo de 2012, y segunda el 1 de junio de 2012, mientras que en el CEVAMEX-INIFAP, la primer fecha de siembra fue el 18 de mayo de 2012 y la segunda el 29 de mayo de 2012.

Se utilizaron los híbridos trilineales Puma 1183 AEC1 y Puma 1183 AEC2 de la UNAM, H-53 (Espinosa *et al.*, 2012a) y H-57 (Espinosa *et al.*, 2012b) del INIFAP, todos en

and CP2). Thus, the genotype that is at the vertex is the one that responds better in environments of evaluation (Yan *et al.*, 2001).

Based on the above, the objective of this study was to identify trilinear corn hybrids that have better grain yield stability, using two models to assess the stability parameters stability from Eberhart and Russell and AMMI, thus define the model that best describe the genotype\*environment interaction. Based on the results, it is intended to recommend the subsequent commercial release in the case of the best trilinear hybrids identified in this work.

## Materials and methods

This work was carried out in the spring-summer 2012, in two locations; the first was FESC-UNAM (Cuautitlán-UNAM), municipality of Cuautitlan Izcalli, State of Mexico, at an altitude of 2 274 m; the second location was on the field Santa Lucia de Prías from the Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), from the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), municipality of Texcoco, State of Mexico, at an altitude of 2 240 masl. In both locations, two experiments were planted in two sowing dates. In Cuautitlán-UNAM the first planting date was May 21, 2012 and second on June 1, 2012, while in CEVAMEX-INIFAP, the first planting date was May 18, 2012 and the second May 29, 2012.

Trilinear hybrid Puma 1183 AEC1 and Puma 1183 AEC2 from UNAM, H-53 (Espinosa *et al.*, 2012a) and H-57 (Espinosa *et al.*, 2012b) from INIFAP were used, all in their male-sterile version (AE) and fertile (F) in two population densities, 55 000 and 70 000 plants per hectare; densities that are recommended by the phenotypic characteristics of plants genotypes evaluated by competition. Trilinear hybrids the two planting dates and the two population densities in the two locations were individualized to form environments, thus creating eight environments (two locations x two sowing dates x two population densities).

In all environments, at different planting date, irrigation was applied after planting. For weed control Gesaprim (atrazine) was used at a dose of 2 kg ha<sup>-1</sup> and Hierbamina (2-4D amine) at a dose of 2 L ha<sup>-1</sup>. The harvest was performed on December 10 and 17, 2012 in Cuautitlan Izcalli and Santa Lucia respectively. In both localities a complete

su versión androestéril (AE) y fértil (F) en dos densidades de población, 55 000 y 70 000 plantas por hectárea. Densidades que se recomiendan por las características fenotípicas de las plantas de genotipos evaluados por cuestión de competencia. Los híbridos trilineales, las dos fechas de siembra y las dos densidades de población en las dos localidades se individualizaron para conformar los ambientes, generándose así ocho ambientes (dos localidades x dos fechas de siembra x dos densidades de población).

En todos los ambientes, en las diferentes fechas de siembra se aplicó un riego después de la siembra. Para el control de malezas se utilizó Gesaprim (Atrazina) a una dosis de 2 kg ha<sup>-1</sup> y Hierbamina (2-4D amina) a una dosis de 2 L ha<sup>-1</sup>. La cosecha se realizó los días 10 y 17 de diciembre de 2012, en Cuautitlán Izcalli y Santa Lucía, respectivamente. En ambas localidades se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la parcela experimental fue de un surco de 5 m de largo y 0.8 m entre surcos, la parcela útil tuvo un área de 4 m<sup>2</sup>. Se utilizó un diseño factorial para el análisis estadístico del rendimiento, donde los factores de variación para los híbridos trilineales fueron ambientes, genotipos y las interacciones entre los factores de variación. La comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad. Para evaluar la interacción genotipo\*ambiente se utilizó como variable el rendimiento de los híbridos trilineales.

Para evaluar la respuesta de los ambientes, los genotipos y la IGA se empleó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI), se realizó el análisis de varianza para determinar los efectos de genotipos, de ambientes, y de sus interacciones. Se consideraron los dos primeros componentes principales para la explicación de la interacción genotipo\*ambiente. La representación gráfica se obtuvo por un Biplot, el cual mostró el patrón producto de la interacción genotipos\*ambientes.

Para el análisis se emplearon las rutinas de programación AMMI descritas por Vargas y Crossa (2000), utilizando el siguiente modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + E_{ij}$$

Donde:  $Y_{ij}$  = rendimiento del i-ésimo genotipo en el j-ésimo ambiente;  $\mu$  = media general;  $g_i$  = efecto del i-ésimo genotipo;  $e_j$  = efecto del j-ésimo ambiente;  $\lambda_k$  = raíz cuadrada del vector característico del k-ésimo eje del ACP;  $\alpha_{ik}$  = calificación del ACP para el k-ésimo eje del i-ésimo genotipo;  $\gamma_{jk}$  =

randomized block design with three replications was used, where the experimental plot was a groove of 5 m long and 0.80 m between rows, the useful plot had an area of 4 m<sup>2</sup>. A factorial design for statistical analysis of yield, where variation factors for trilinear hybrids were environments, genotypes and interactions between variation factors was used; comparison of means was performed with Tukey at 0.05; to assess genotype\*environment interactions, the variable yield from trilinear hybrids was used as variable.

To evaluate the response of environments, genotypes and IGA the additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) was used, an analysis of variance was performed to determine the effects of genotypes, environments, and their interactions. The first two principal components were considered to explain genotype\*environment interaction. Graph representations were obtained by a Biplot, which showed the pattern of genotypes\*environments interaction.

For the analysis AMMI programming routines described by Vargas and Crossa (2000) were employed, using the following mathematical model:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + E_{ij}$$

Where:  $Y_{ij}$  = yield of the ith genotype in the jth environment;  $\mu$  = general mean;  $g_i$  = effect of the ith genotype;  $e_j$  = effect of the j-th environment;  $\lambda_k$  = square root of the characteristic vector from the kth axis of ACP;  $\alpha_{ik}$  = ACP scoring for the kth axis of the ith genotype;  $\gamma_{jk}$  = ACP scoring for the kth axis from the jth environment;  $E_{ij}$  = value of the error.

Eberhart and Russell (1966) stability parameter were obtained to measure the genotype x environment interaction, and the classification of varieties adaptability proposed by Carballo and Márquez (1970) was used, where  $b_i$  is the regression coefficient and  $\delta_{di}^2$  is the deviation of regression, which is based on the stability definition proposed by Eberhart and Russell (1966), which says that an ideal stable variety is one that shows a regression coefficient equal to unit ( $b_i = 1$ ) and deviations of regression equal to zero ( $\delta_{di}^2 = 0$ ), with a high average yield. The statistical model is as follows:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$$

Where:  $Y_{ij}$  = average from genotype i in the j environment;  $\mu_i$  = average from genotype i in all environments;  $\beta_i$  = regression coefficient that measures the response from genotype i in



calificación del ACP para el  $k$ -ésimo eje del  $j$ -ésimo ambiente;  $E_{ij}$ = valor del error.

Se obtuvieron los parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966) para poder medir la interacción genotipo x ambiente, y se utilizó la clasificación de la adaptabilidad de las variedades propuesta por Carballo y Márquez (1970), donde  $b_i$  es el coeficiente de regresión y  $\delta_{di}^2$  es la desviación de regresión, que se basa en la definición de estabilidad propuesta por Eberhart y Russell (1966), la cual dice que una variedad estable ideal es aquella que muestra un coeficiente de regresión igual a la unidad ( $b_i = 1$ ) y desviaciones de regresión iguales a cero ( $\delta_{di}^2 = 0$ ), con una media de rendimiento alta. El modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$$

Donde:  $Y_{ij}$ = promedio del genotipo  $i$  en el ambiente  $j$ ;  $\mu_i$ =promedio del genotipo  $i$  en todos los ambientes;  $\beta_i$ = coeficiente de regresión que mide la respuesta del genotipo  $i$  al variar los ambientes;  $I_j$ =índice ambiental del ambiente  $j$ -ésimo, que se calcula como la desviación del promedio de los genotipos en un ambiente dado a partir del promedio general;  $\delta_{ij}$ = desviación de la regresión.

Los datos utilizados en ésta metodología se analizaron aplicándoles un algoritmo computacional para obtener los indicadores de estabilidad de Mastache y Martínez (1996).

Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

## Resultados y discusión

El análisis de varianza combinado del AMMI (Cuadro 1) detectó diferencias altamente significativas entre ambientes y entre genotipos para rendimiento, mientras que la interacción genotipo\*ambiente resultó no significativa. El coeficiente de variación fue 12.7%, considerado un valor aceptable en cuanto a la condición del experimento, por los valores obtenidos de  $r$ -cuadrada y por las aplicación del diseño experimental. La diferencia entre ambientes para rendimiento indica que las condiciones ambientales y sus efectos sobre los genotipos fueron diferentes en todos los ambientes de prueba. La diferencia en rendimiento entre genotipos fue el resultado de la divergencia genética entre los híbridos evaluados; es decir, el rendimiento de los genotipos

varying environments;  $I_j$ = environmental index of the  $j$ th environment, which is calculated as the deviation from genotype average in a given environment from the overall average;  $\delta_{ij}$ = deviation of regression.

The data used in this methodology were analyzed by applying a computational algorithm to obtain stability indicators from Mastache and Martínez (1996).

All statistical analyzes were performed using SAS version 9.0 (SAS Institute, 2002).

## Results and discussion

The combined analysis of variance from AMMI (Table 1) detected highly significant differences between environments and between genotypes for yield, while for genotype\*environment interaction was not significant. The coefficient of variation was 12.7%, considered an acceptable value as to the condition of the experiment, for the values obtained by  $r$ -square and application of the experimental design. The difference between environments for yield indicates that environmental conditions and their effects on genotypes were different in all test environments. The difference in yield between genotypes was the result of genetic divergence among hybrids evaluated, i.e., the yield from genotypes was not the same because these had a different genetic origin, because the progenitors were derived from different maize populations. The absence of significance of genotype x environment interactions (IGE) for yield, which is a highly quantitative trait and therefore greatly influenced by environmental conditions, indicates that statistically there was not a differential response from genotypes yield through the different test environments.

Regarding the amount of the total sum of squares, the effect of environments contributed 14.2%, the genotypes x environments interaction in 11.2%, and 42.4% of the total corresponded to genotypes effect. This indicates that the genotypes, as a whole, contributed in higher proportion to yield variation compared to environmental factors and genotype\*environment interaction, even when there were highly significant differences between environments. This result contrasts with that obtained in other researches, in which the environmental factor and genotype\*environment interaction were higher than the genotypes effect (Alejos *et al.*, 2006 Palemón *et al.*, 2012).

no fue el mismo porque éstos tuvieron un origen genético diferente, debido a que los progenitores se derivaron de diferentes poblaciones de maíz. La ausencia de significancia de la interacción genotipo\*ambiente (IGE) para rendimiento, el cual es un carácter de altamente cuantitativo, y por lo tanto muy influenciado por las condiciones ambientales, indica que estadísticamente no hubo una respuesta diferencial del rendimiento de los genotipos a través de los diferentes ambientes de prueba.

Con respecto a la cantidad de la suma de cuadrados total, el efecto de ambientes contribuyó en 14.2%, la interacción genotipos x ambientes en 11.2%, y 42.4% del total correspondió al efecto de genotipos. Lo anterior indica que los genotipos, en su conjunto, contribuyeron en mayor proporción a la variación del rendimiento en comparación con los factores ambientales y de la interacción genotipo\*ambiente, aun cuando hubo diferencia altamente significativa entre ambientes. Este resultado contrasta con el obtenido en otras investigaciones, en las que el factor ambiental y de interacción genotipo\*ambiente fueron superiores a los efectos de genotipos (Alejos *et al.*, 2006; Palemón *et al.*, 2012).

Los genotipos que tuvieron el mayor rendimiento fueron H-53 y H-57 en todos los ambientes de prueba. Los ambientes con los mayores rendimientos fueron los de Cuautitlán en la segunda fecha de siembra (1 de junio de 2012), con densidad de población de 50 000 plantas por hectárea y Cuautitlán en la segunda fecha de siembra (01 de junio de 2012), con densidad de población de 70 000 plantas por hectárea. Resultado de las condiciones ambientales benéficas en la localidad de Cuautitlán, de precipitaciones y las propiedades del suelo para retener humedad aprovechable para la planta. Los genotipos que obtuvieron valores absolutos más bajos del CP1, es decir, que interaccionaron menos con el ambiente, fueron, H-57, con 14.72, y Puma 1183 AEC2 con -17.93, que al presentar los valores del CP1 más cercanos a cero, se consideraron los más estables a través de ambientes (Medina *et al.*, 2002; Alejos *et al.*, 2006; Palemón *et al.*, 2012).

Los ambientes con mejor comportamiento (no podemos decir que un ambiente es estable, es incorrecto por eso se agrega que tiene buen comportamiento) con respecto a los valores absolutos del CP1 fueron: Cuautitlán en la segunda fecha de siembra, con densidad de población de 70 000 plantas por hectárea (A5), con -0.28; Santa Lucía en la primer fecha de siembra, con densidad de población de 50 000 plantas por hectárea (A3), con 5.12; Santa Lucía en la

**Cuadro 1. Análisis de varianza AMMI para el rendimiento de cuatro híbridos evaluados en ocho ambientes FESC-UNAM y Santa Lucía INIFAP, primavera - verano 2012.**

**Table 1. Analysis of variance AMMI for yield of four hybrids evaluated in eight environments FESC-UNAM and Santa Lucía INIFAP, spring - summer 2012.**

Fuente de Variación	G.L	SC	CM
Ambientes (a)	7	18081507.04	2583072.43 **
Genotipos (g)	3	54167006.91	18055668.97 **
Interacción (gxa)	21	14316864.75	681755.5
CP1	9	8885107.4	987234.15
CP2	7	3944506.8	563500.97
Error	62	39381766.9	635189.8
Total Corregido	95	127620558	
CV (%)	12.7		
Promedio	6293.4		

\*, \*\*: Significancia ( $p \leq 0.05, 0.01$ ); GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; CV= coeficiente de variación; CP1 y CP2= componente principal.

The genotypes that had the highest yield were H-53 and H-57 in all test environments. Environments with higher yields were Cuautitlán in the second planting date (June 1, 2012), with a population density of 50 000 plants per hectare and Cuautitlán in the second planting date (June 1, 2012), with a population density 70 000 plants per hectare; as result of beneficial environmental conditions in the locality of Cuautitlán, of rainfall and soil properties to retain available moisture for the plant. Genotypes that scored lower absolute values from CP1, i.e., that interacted less with the environment, were, H-57, with 14.72, and Puma 1183 AEC2 with -17.93, when presenting the values of CP1 closer to zero, were considered the most stable across environments (Medina *et al.*, 2002; Alejos *et al.*, 2006; Palemón *et al.*, 2012).

Environments with better yield (we cannot say that an environment is stable, it is wrong therefore it is added to have good behavior) with respect to absolute values of CP1 were: Cuautitlán in the second planting date, with population density of 70 000 plants per hectare (A5), with -0.28; Santa Lucía in the first planting date, with a population density of 50 000 plants per hectare (A3), with 5.12; Santa Lucía in the second planting date, with population density of plants per hectare (A7), with 9.15, and Cuautitlán in the first planting date, with population density of plants per hectare (A2), with -9.3 (Table 2).

segunda fecha de siembra, con densidad de población de plantas por hectárea (A7), con 9.15, y Cuautitlán en la primer fecha de siembra, con densidad de población de plantas por hectárea (A2), con -9.3 (Cuadro 2).

Hybrid H-53 showed a higher average yield than average, while the other three hybrids had lower yields than average (Figure 1). Puma 1183 AEC1 showed the lowest average yield. Hybrids with low values in CP1 and that interacted

**Cuadro 2. Rendimiento medio en kg ha<sup>-1</sup> de cuatro genotipos de maíz evaluados en ocho ambientes y valores de los dos primeros componentes principales para genotipos y ambientes. FESC-UNAM y Santa Lucía INIFAP, primavera - verano 2012.**

**Table 2. Average yield in kg ha<sup>-1</sup> of four maize genotypes evaluated in eight environments and the two first values of principal components for genotypes and environments. FESC-UNAM and Santa Lucía INIFAP, spring - summer 2012.**

Genotipo	Ambiente								Media (kg ha <sup>-1</sup> )	CP1	CP2
	Cuautitlán F1 D1 A1	Cuautitlán F1 D2 A2	Santa Lucía F1 D1 A3	Santa Lucía F1 D2 A4	Cuautitlán F2 D1 A5	Cuautitlán F2 D2 A6	Santa Lucía F2 D1 A7	Santa Lucía F2 D2 A8			
Puma 1183 AEC1	5624.5	5709.6	4880	4723.9	6007.6	5859.7	5147.4	5090.3	5380.4	-22.66	-16.4
Puma 1183 AEC2	5793.5	6384.4	5146.2	5698.1	6372.3	7543.1	5727.8	6191.4	6107.1	-17.93	12.9
H-53	6128.9	7409.4	7180.9	7714.6	7634.2	7507.4	7775.3	8156.6	7469.6	25.87	-17.03
H-57	5118.6	6091.8	5391	6785.5	6737.8	7356.2	5937.4	6313.9	6216.5	14.72	20.5
Media (kg ha <sup>-1</sup> )	5728.7	6398.8	5649.5	6230.5	6766.1	6971.35	6147	6438.1			
CP1	-25.8	-9.3	5.12	21.4	-0.28	-14.3	9.15	14.02			
CP2	-10.6	-3.1	-14.3	11.1	8.8	22.2	-10.64	-3.52			

El híbrido H-53 mostró un rendimiento promedio superior a la media, mientras que los otros tres híbridos presentaron rendimientos menores a la media (Figura 1). El híbrido Puma 1183 AEC1 mostró el rendimiento promedio más bajo. Los híbridos con valores bajos en el CP1 y que interaccionan menos con el ambiente fueron, H-57 y Puma 1183 AEC2, mientras que los genotipos con mayor interacción con el ambiente por sus valores altos de CP1 fueron, H-53 y Puma AEC1. De manera más precisa, se logró identificar a los ambientes A5, A3, A7 y A2 como los de mejor comportamiento, por sus valores de rendimiento y del CP1, por estar más cercanos a cero; es decir, los que mostraron la menor variación entre ellos, y considerando que influyó en cada ambiente de la densidad de población, la localidad y la fecha de siembra, en los ambientes A5, A3, A7 y A2 se presentaron las mejores condiciones para obtener los mejores rendimientos.

En el análisis AMMI, el primer componente principal (CP1) explicó 60.5% de la suma de cuadrados, y el segundo componente principal (CP2) observó 26.8% de la suma de cuadrados, por lo que entre los dos componentes principales describieron 87.3% el efecto de la interacción genotipo x

less with the environment were, H-57 and Puma 1183 AEC2, while genotypes with greater interaction with the environment for its CP1 high values were, H-53 and Puma AEC1. More precisely, it was possible to identify environments A5, A3, A7 and A2 as those with the best behavior, for its yield and CP1 values, for being closer to zero, i.e., those that showed the least variation between them, and considering that each environment influenced population density, locality and planting date on environments A5, A3, A7 and A2 having the best conditions for the best yields.

In the AMMI analysis, the first principal component (PC1) explained 60.5% sum of squares, and the second principal component (PC2) observed 26.8% of the sum of squares, so between the two main components described 87.3% the effect of genotype x environment interaction. Furthermore, with respect to environments, Yan *et al.*, (2000) point out that the environments whose angles are less than 90 ° will classify the genotypes in the same manner. In this case, in particular two environments groups with similar behaviors were formed; in the first group environments, A1, A2, A5



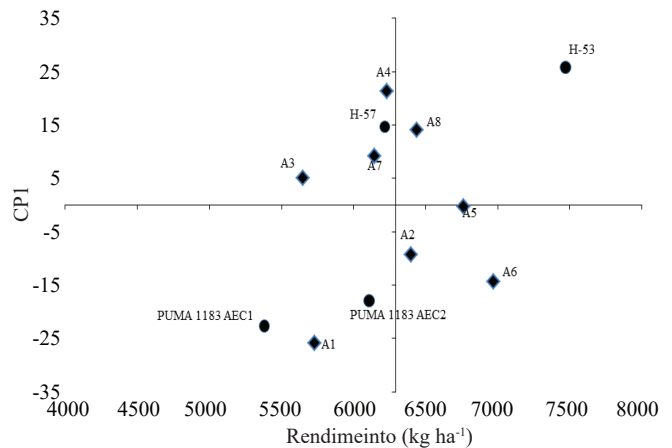
ambiente. Por otro lado, con respecto a los ambientes, Yan *et al.* (2000) señala que los ambientes cuyos ángulos sean menores a  $90^\circ$  clasificarán a los genotipos de manera semejante. En este caso, en particular se formaron dos grupos de ambientes con comportamientos similares; en el primer grupo se encontraron los ambientes, A1, A2, A5 y A6; en el segundo se ubicaron los ambientes A3, A4, A7 y A8, siendo los ambientes A1, A4 y A6, los que mejor discriminaron a los genotipos.

Por su parte, Eeuwijk (2006) indica que un ángulo menor de  $90^\circ$  o mayor de  $270^\circ$  entre el vector de un cultivar y un vector de sitio indican que el cultivar tiene una respuesta positiva al sitio de prueba. Una respuesta negativa del cultivar es indicada con ángulos mayores de  $90^\circ$  y menores de  $270^\circ$ . Lo anterior coincide con los resultados del gráfico biplot (Figura 2), donde H-53 se respondió mejor en los ambientes A7, A8, A3 y A4, mientras que H-57 mostró una mejor respuesta en los ambientes A4, A8 y A6. Por su parte, Puma 1183 AEC2 mejoró en los ambientes A5, A6, y A2, mientras que Puma 1183 AEC1 presentó mejor respuesta en los ambientes A5, A2 y A1. Así, los genotipos que se encontraron más cerca al origen en el gráfico biplot, fueron los que interaccionan menos con el ambiente y por lo tanto los más estables; por el contrario, los más alejados mostraron mayor variación en su comportamiento (Yan *et al.*, 2000). Estos resultados muestran que los genotipos más estables fueron Puma 1183 AEC2 y H-57, mientras que los genotipos que más interaccionaron con el ambiente fueron H-53 y Puma 1183 AEC1.

El análisis de varianza de los Parámetros de Estabilidad de Eberhart y Russell (1966), para rendimiento, no mostró significancia entre ambientes, entre genotipos, y para la interacción genotipo\*ambiente. Esto indica que entre ambientes, las condiciones ambientales tuvieron un comportamiento similar, lo que causó un efecto no significativo en el rendimiento, mientras que para genotipos, aun cuando provinieron de diferente origen genético, su comportamiento promedio en todos los ambientes fue muy parecido. La interacción genotipo x ambiente, al no ser significativa indica que no hubo una respuesta diferencial del rendimiento de los genotipos a través de los diferentes ambientes de prueba.

De acuerdo con los parámetros de estabilidad estimados, el coeficiente de regresión ( $b_i$ ), desviación de regresión ( $\delta_{di}^2$ ) (Cuadro 3), y utilizando la clasificación de adaptabilidad de Carballo y Márquez (1970), se determinó que los cuatro genotipos pueden considerarse como estables, ya

and A6 were found; in the second A3, A4, A7 and A8, being environments A1, A4 and A6, those that best discriminated genotypes.



**Figura 1. Biplot del CPI en función del rendimiento promedio de cuatro híbridos trilineales de maíz evaluados en ocho ambientes en la FESC-UNAM y Santa Lucía INIFAP, primavera - verano 2012.** Los círculos representan los genotipos y los rombos a los ambientes.

**Figure 1. CPI biplot based on the average yield of four trilinear maize hybrids evaluated in eight environments in the FESC-UNAM and Santa Lucía INIFAP, spring - summer 2012.** The circles represent the genotypes and diamonds environments.

Meanwhile, Eeuwijk (2006) indicates that a smaller angle of  $90^\circ$  or greater than  $270^\circ$  between crop vector and site vector indicate that the cultivar has a positive response to the test site. A negative response of the cultivar is indicated with angles greater than  $90^\circ$  and below  $270^\circ$ . This coincides with the results from biplot (Figure 2), where H-53 responded better in the A7, A8, A3 and A4 environments, while H-57 showed a better response in the A4, A8 and A6 environments. Meanwhile, Puma 1183 AEC2 improved in the A5, A6 and A2 environments, while Puma 1183 AEC1 showed a better response in A5, A2 and A1. Thus, the genotypes closest to the origin in the biplot were the least interacting with the environment and therefore the most stable; on the contrary, the farthest showed greater variation in their behavior (Yan *et al.*, 2000). These results show that the most stable genotypes were Puma AEC2 1183 and H-57, while genotypes that most interacted with the environment were H-53 and Puma 1183 AEC1.

The analysis of variance of Eberhart and Russell (1966) stability parameters, for yield, showed no significance between environments, genotypes, and genotype\*environment

que los coeficientes de regresión no fueron diferentes significativamente de 1, lo cual coincide con los resultados de Mejía y Molina (2003). Por otro lado, las desviaciones de regresión no presentaron diferencias significativas y se consideró que sus valores fueron iguales a cero, coincidiendo esto con los resultados obtenidos por Rodríguez *et al.* (2002), quienes interpretaron que el modelo lineal no es apropiado para describir la respuesta de los genotipos en función del efecto ambiental, ya que como es conocido, el efecto de interacción genotipo\*ambiente es un efecto multiplicativo, que siempre está presente, aun cuando la interacción resulte no significativa.

**Cuadro 3. Rendimiento medio, coeficiente de regresión ( $b_i$ ), desviaciones de regresión ( $\delta_{di}^2$ ) de los parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell de cuatro híbridos evaluados en cuatro ambientes FESC, UNAM y Santa Lucía, INIFAP. Primavera-verano 2012.**

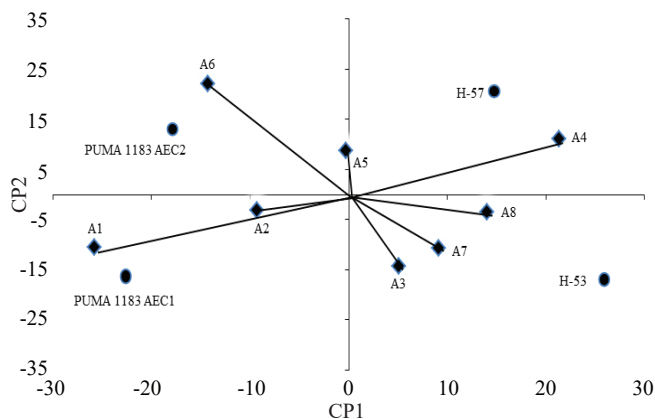
**Table 3. Average yield, regression coefficient ( $b_i$ ), deviations regression ( $\delta_{di}^2$ ) from Eberhart and Russell stability parameters of four hybrids evaluated in four environments FESC, UNAM and Santa Lucía, INIFAP. Spring-summer 2012.**

Genotipo	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	$b_i$	$\delta_{di}^2$
PUMA 1183 AEC1	5380	0.5286	-213063.97
PUMA 1183 AEC2	6107	1.3304	-292066.93
H-53	7438	0.7117	-121018.54
H-57	6217	1.4293	-309803.83

\*, \*\*= significancia ( $p \leq 0.05, 0.01$ ); SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; CV= coeficiente de variación.

Para definir la mejor metodología para caracterizar a los genotipos más estables y a los ambientes donde los genotipos presentan una mejor respuesta en el rendimiento, para esto, se compararon los valores del primer componente principal (CP1) correspondientes a la metodología AMMI, y los valores de los índices ambientales correspondientes a la metodología de los parámetros de estabilidad. En el Cuadro 4 se muestra que el modelo AMMI identificó como ambientes con mejor respuesta por parte de los genotipos para rendimiento a, A5, A3, A7 y A2, por tener valores del CP1 más cercanos a cero, mientras que los ambientes con mala respuesta de los genotipos en el rendimiento fueron, A1, A4, A6 y A8, por tener los valores del CP1 más alejados de cero. El modelo de los parámetros de estabilidad identificó como

interacción. This indicates that between environments, environmental conditions had similar behavior, which caused no significant effect on yield, whereas for genotypes, even though came from different genetic origin, their average behavior in all environments was very similar. The genotype\*environment interaction, not being significant indicates that there was a differential response of genotypes yield across different test environments.



**Figura 2. Biplot AMMI para cuatro híbridos trilineales de maíz.** Los puntos representan a los híbridos trilineales y los vectores representan a los ambientes.

**Figure 2. AMMI biplot for four trilinear maize hybrids;** the points represent the trilinear hybrids and vectors represent environments.

According to estimated stability parameters, the regression coefficient ( $b_i$ ), deviation of regression ( $\delta_{di}^2$ ) (Table 3), and using the adaptability classification from Carballo and Márquez (1970), it was determined that the four genotypes can be considered as stable, since the regression coefficients were not significantly different from 1, which coincides with the results of Mejía and Molina (2003). On the other hand, deviations of regression showed no significant differences and was considered that their values were zero, coinciding with the results obtained by Rodríguez *et al.* (2002), who interpreted that the linear model is not appropriate to describe the response of genotypes based on the environmental effect because, as it is known, the effect of genotype\*environment interaction is a multiplicative effect, which is always present, even when the interaction turns to be non-significant.

To define the best methodology to characterize the most stable genotypes and environments where genotypes have better yield response, for this, the values of the first principal

los mejores ambientes para rendimiento a, A6, A5, A8 y A2, por los valores de sus índices ambientales positivos; es decir, superiores a la media general, y los ambientes con mal comportamiento fueron, A1, A3, A7 y A4, por tener índices ambientales negativos; es decir, menores a la media general. La correspondencia que existió entre ambos modelos fue de 50%, ya que coincidieron ambos modelos en determinar a dos ambientes estables y dos ambientes inestables, de los ocho ambientes de prueba.

**Cuadro 4. Comportamiento medio del rendimiento en los ocho ambientes evaluados, componente principal uno (CP1) e índices ambientales. FESCUNAM y Santa Lucía INIFAP, primavera - verano 2012.**

**Table 4. Average behavior of yield in the eight environments evaluated, principal component one (CP1) and environmental indices; FESC UNAM and Santa Lucía INIFAP, spring - summer 2012.**

Ambientes	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	CP1	Índice ambiental
A1	5728	-25.8	-619.4
A2	6399	-9.3	113.2
A3	5649	5.1	-636.1
A4	6230	21.4	-55.1
A5	6766	-0.28	402.4
A6	6971	-14.3	781
A7	6147	9.1	-138.6
A8	6438	14	152.5

\*, \*\*= significancia ( $p \leq 0.05, 0.01$ ); GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; CV= coeficiente de variación; CP1 y CP2= componente principal.

En la comparación del modelo AMMI con el de Eberhart y Russell para identificar a los genotipos más estables (Cuadro 5), con el modelo AMMI los genotipos más estables fueron H-57 y Puma 1183 AEC2, por sus valores del CP1 más cercanos a cero. Con el modelo de los parámetros de estabilidad, todos los genotipos fueron estables. La correspondencia entre ambos modelo fue 50%, ya que sólo dos de los cuatro genotipos evaluados coincidieron como estables con ambos modelos, resultados similares a los de Córdoba (1991), quien obtuvo 40% de coincidencia al utilizar ambas metodologías.

component (PC1) corresponding to AMMI methodology and the environmental indices values for the methodology of stability parameters were compared. Table 4 shows that AMMI model identified as environments with better response from genotypes for yield to A5, A3, A7 and A2, for having CP1 values closer to zero, while the environments with poor response of genotypes in yield were, A1, A4, A6 and A8, for having CP1 values farthest from zero. The stability parameters model identified as the best environments for yield to A6, A5, A8 and A2, by the values of its positive environmental indices; i.e., higher than the overall average, and environments with bad behavior were, A1, A3, A7 and A4, for having negative environmental indices; i.e., lower than overall average. The correspondence between the two models was 50%, since both models coincide in determining two stable and two unstable environments, from the eight test environments.

Comparing AMMI with Eberhart and Russell model to identify the most stable genotypes (Table 5), with the AMMI model the most stable genotypes were H-57 and Puma 1183 AEC2, for their CP1 values closest to zero; with the stability parameters model, all genotypes were stable. The correspondence between both models was 50%, since only two of the four genotypes evaluated match as stable with both models, similar results to those from Cordova (1991), who obtained 40% match when using both methodologies.

**Cuadro 5. Respuesta del rendimiento de cuatro híbridos evaluados, componente principal uno (CP1) y coeficiente de regresión. FESC-UNAM y Santa Lucía INIFAP, primavera - verano 2012.**

**Table 5. Yield response of four hybrids evaluated, principal component one (CP1) and regression coefficient. FESC-UNAM and Santa Lucía INIFAP, spring - summer 2012.**

Genotipo	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	CP1	b <sub>i</sub>
PUMA 1183 AEC1	5380	-22.7	0.5286
PUMA 1183 AEC2	6107	-17.9	1.3304
H-53	7438	25.9	0.7117
H-57	6217	14.7	1.4293

\*, \*\*= significancia ( $p \leq 0.05, 0.01$ ); GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; CV= coeficiente de variación; CP1 y CP2= componente principal.

## Conclusiones

Los híbridos trilineales H-57 y Puma 1183 AEC2 tuvieron la mejor estabilidad y el mayor rendimiento. Los ambientes con mejor comportamiento de los genotipos en el rendimiento de los híbridos trilineales fueron, Cuautitlán en la segunda fecha de siembra, con densidad de siembra de 50 000 plantas por hectárea (A5); Santa Lucía en la primer fecha de siembra, con densidad de siembra de 50 000 plantas por hectárea (A3); Santa Lucía en la fecha de siembra 2, con densidad de siembra de 50 000 plantas por hectárea (A7) y, Cuautitlán en la primer fecha de siembra, con densidad de siembra de 70 000 plantas por hectárea (A2).

El mejor modelo para analizar la interacción genotipo\*ambiente fue el modelo AMMI, en comparación con los parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell. Lo anterior se debe a que la interacción genotipo\*ambiente conviene analizarla como un efecto multiplicativo y no sólo como un efecto lineal, además de que al hacer uso del Biplot, se explica fácilmente la interacción genotipo\*ambiente, utilizando los valores de los componentes principales y del rendimiento de los genotipos.

## Literatura citada

- Alejos, G.; Monasterio, P. y Rea, R. 2006. Análisis de la interacción genotipo-ambiente para el rendimiento de maíz en la región maicera del estado de Yaracuy, Venezuela. *Agron. Trop.* 56(3):369-384.
- Carballo, C. A. y Márquez, S. F. 1970. Comparación de variedades de maíz de El bajo y la mesa central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia*. UACH. México, D. F, 129-146 pp.
- Cooper, M. P. 1999. Genotipo x environment interactions, selection response and heterosis. *In: Coors, J. G. y Pandey, S. (Eds.). The genetics and exploitation of heterosis In: Crops. Crop science society of America. CIMMYT. Madison, Wisconsin, USA.* 81-92 pp.
- Córdova, O. H. S. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centroamérica, Panamá y México. *Agron. Mesoam.* 2. 1-10.
- Crossa, J.; Burgueño, J.; Cornelius, P. L.; McLaren, G.; Trethowan, R. and Krishnamachari, A. 2006. Modeling genotype x environment interaction using additive genetic covariances of relatives for predicting breeding values of wheat genotypes. *Crop Sci.* 46:1722- 1733.
- Crossa, J.; Gauch, H. G. and Zobel, R. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30:493-500.

## Conclusions

Trilinear hybrids H-57 and Puma 1183 AEC2 had the best stability and higher yield. Environments with best genotypes behavior in yield of trilinear hybrids were, Cuautitlán in the second planting date, planting density of 50 000 plants per hectare (A5); Santa Lucía in the first planting date, planting density of 50 000 plants per hectare (A3); Santa Lucía on the second date of planting with planting density of 50 000 plants per hectare (A7) and Cuautitlán in the first planting date, with planting density of 70 000 plants per hectare (A2).

The best model to analyze the genotype\*environment interaction was AMMI, compared with the stability parameters of Eberhart and Russell. This is because the interaction genotype\*environment should be analyzed as a multiplicative effect and not just as a linear effect, in addition to the use of Biplot, is easily explained genotype\*environment interaction, using the values of the principal components and genotypes yield.

*End of the English version*



- Crossa, J. y Cornelius, P. L. 2000. Modelos lineales bilineales para el análisis de ensayos de genotipos en ambientes múltiples. *In: Simposium: Interacción genotipo x ambiente. XIII Congreso Nacional de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C.* 15-20 de octubre. Irapuato, México. 61-88 pp.
- Eberhart, S. and Russell, A. W. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Eeuwijk, F. V. 2006. Genotype by environment interaction. Basics and beyond. *In: Lamkey, K. R. and Lee, M. (Eds.). Plant breeding: the Arnel H. International Symposium. México.* 155-170 pp.
- Espinosa, C. A. y Carballo C., A. 1986. Productividad y calidad de semillas en líneas e híbridos de maíz (*Zea mays* L.) para la zona de transición de México. *Fitotecnia* 8:1-25.
- Espinosa, C. A.; Ortiz, C.; Ramírez, F. J.; Gómez, M. N. O. y Martínez, G. A. 1998. Estabilidad y comportamiento de líneas *per se* y cruza de maíz en la producción de semilla. *Agric. Téc. Méx.* 24(1):27-36.
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Virgen, V. J.; Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Zamudio, G. B.; Arteaga, E. I.; Canales, I. E. I.; Martínez, Y. B.; Vázquez, C. G. y Valdivia, B. R. 2012 a. H-53 AE1: híbrido de maíz para Valles Altos y Zona de Transición con esterilidad masculina para producción de semilla. *CEVAMEX. Memoria técnica Núm. 13.* 38-40 pp.
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Gómez, M. N.; Virgen, V. J.; Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Zamudio, G. B.; Arteaga, E. I.; Canales, I. E. I.; Martínez, Y. B.; Vázquez, C. G. y Valdivia, B. R. 2012 b. H-57 AE: híbrido de maíz para valles altos con esterilidad masculina para producción de semilla. *Campo Experimental Valle de México. Memorias de congresos. Memoria Técnica núm. 13.* 41-44 pp.

- Finlay, K. W. and Wilkinson, G. N. 1963. The analysis of adaptation in plant breeding programme. *Austr. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- Fuentes, L. M. y Quemé, W. R. 2005. Evaluación de híbridos de maíz de grano amarillo y blanco en diferentes ambientes de México y Centro América. Informe del PCCMA Guatemala. abril 2005.
- Gauch, H. G. 1992. Statistical analysis of regional yield trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science Publishers, USA. 278 p.
- Hanson, W. D. 1970. Genotypic stability. *Theor. Appl. Gen.* 40:D6-231.
- Márquez, S. F. 2009. De las variedades criollas de maíz a los híbridos transgénicos. II. La hibridación. *Agric. Soc. Des.* 6(2):161-176.
- Márquez, S. F. 1973. Relationship between genotype-environment interaction and stability parameters. *Crop Sci.* 13:577-579.
- Mastache, L. A. y Martínez, G. A. 1996. Un algoritmo computacional para obtener los indicadores de estabilidad de Eberhart y Russell. *Comunicaciones en Estadística y Cómputo. Colegio de Postgraduados. México.* 22 p.
- Medina, S. C.; Marín, V.; Segovia, A.; Bejarano, Z.; Venero, R. A. y Meléndez, E. 2002. Evaluación de la estabilidad del rendimiento de variedades de maíz en siete localidades de Venezuela. *Agron. Trop.* 52(3):255-275.
- Mejía, C. J. A. y Molina, G. J. D. 2003. Cambios de estabilidad en el rendimiento de variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2):89-94.
- Palemón, A. F.; Gómez, M. N. O.; Castillo, G., F.; Ramírez, V. P.; Molina, G.; J. D. y Miranda, C. S. 2012. Estabilidad de cruces intervarietales de maíz (*Zea mays* L.) para la región semicálida de Guerrero. *Agrociencia.* 46. 133-145.
- Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J.; Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2):143-151.
- Rowe, P. R. and Andrew, R. 1964. Phenotypic stability for a systematic series of corn genotypes. *Crop Sci.* 4:563-567
- SAS. 2002. The SAS System for Windows. SAS Institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A.; Gómez, M. N.; Caballero, H. F.; Barrón, F. S.; Sandoval, R. A. y Vázquez, C. G. 2006. H-518, híbrido trilineal de maíz para el trópico húmedo de México. *Agric. Téc. Méx.* 32(1):115-119.
- Vargas, M. and Crossa, J. 2000. The AMMI analysis and graphing the Biplot. *Biometrics and statistical unit. CIMMYT. México.* 42 p.
- Yan, W.; Hunt, L. A.; Sheng, Q. and Szlavnic, Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Yan, W. 2001. GGE-biplot-a windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agron. J.* 93:1111-1118.
- Zobel, R. W.; Wright, M. and Gauch, H. G. 1998. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80:88-397.