

ESTABILIDAD DE CRUZAS INTERVARIETALES DE MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA LA REGIÓN SEMICÁLIDA DE GUERRERO

MAIZE (*Zea mays* L.) INTERVARIETAL CROSSES STABILITY FOR THE SEMI-WARM REGION OF GUERRERO

Francisco **Palemón-Alberto**^{1*}, Noel O. **Gómez-Montiel**², Fernando **Castillo-González**³,
Porfirio **Ramírez-Vallejo**³, José D. **Molina-Galán**³, Salvador **Miranda-Colín**³

¹Maestría en Sistemas de Producción Agropecuaria, Universidad Autónoma de Guerrero. Km 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan. 40000 Iguala, Guerrero (alpa75@hotmail.com). ²Campo Experimental Iguala, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan. Iguala, Guerrero. (noelorando19@hotmail.com). ³Genética, Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. 56230. Montecillo, Estado de México. (fcastill@colpos.mx).

RESUMEN

La orografía y agroecología del estado de Guerrero, México, es muy diversa y en las áreas agrícolas de altitud intermedia (1200 a 1700 m) prácticamente no se siembran cultivares mejorados e híbridos de maíz (*Zea mays* L.), porque la variabilidad de las condiciones climáticas y edáficas del área dificulta establecer un programa de mejoramiento genético de maíz para cada nicho ecológico. En estas regiones se examinó la estabilidad de 20 cultivares de maíz en 16 ambientes, durante cinco ciclos agrícolas, Verano-Otoño del 2004 al 2008, con el propósito de identificar por lo menos una cruz intervarietal estable, consistente y con buen potencial de rendimiento en varios ambientes de la región semicálida. La información se generó en un experimento de bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad. En el análisis combinado se detectaron diferencias significativas entre las medias de variedades ($p \leq 0.05$). Con esta información se realizó el análisis de estabilidad propuesto por Eberhart y Russell. También se aplicó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI). Los 20 genotipos analizados incluyeron un testigo local (criollo del agricultor), dos grupos de progenitores y sus cruzas posibles. Los progenitores masculinos adaptados a la región de estudio, VE-1 y VE-3, mostraron estabilidad y consistencia a través de ambientes; un comportamiento similar mostraron las cruzas intervarietales VS-529×CIST, VS-529×VE-1 y SINT-3-HE×VE-3, que además sobresalieron en rendimiento de grano; VS-529×VE-3 mostró mayor potencial productivo, buen rendimiento en ambientes desfavorables y consistencia.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: julio, 2011. Aprobado: enero, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 133-145. 2012.

ABSTRACT

Orography and agro-ecology of the state of Guerrero, México, are very diverse and virtually no maize (*Zea mays* L.) improved cultivars and hybrids are planted in the agricultural areas of intermediate altitude (1200 to 1700 m), because the variability of climate and soil conditions throughout the area, makes it difficult to establish a genetic improvement program for maize in each ecologic niche. In these regions, the stability of 20 maize cultivars was examined in 16 environments, during five Summer-Autumn agricultural cycles from 2004 to 2008, with the purpose of identifying at least one stable intervarietal cross, consistent and with good yield potential in several environments in the semi-warm region. The information was generated in an experiment with complete random blocks, with three repetitions per location. In the combined analysis, significant differences were detected between the cultivar averages ($p \leq 0.05$). With this information, the stability analysis suggested by Eberhart and Russell was carried out. The additive main effects with multiplicative interaction model (AMMI), was also applied. The 20 genotypes analyzed included a local control (criollo del agricultor), two groups of parents, and their possible crosses. The male parents adapted to the study region, VE-1 and VE-3, showed stability and consistency throughout the environments; a similar behavior was shown by intervarietal crosses VS-529×CIST, VS-529×VE-1 and SINT-3-HE×VE-3, which were also outstanding in grain yield; VS-529×VE-3 showed a greater productive potential, good yield in unfavorable environments and consistency. Intervarietal crosses SINT-3-HE×CIST, HEI-1×CIST, VS-521×VE-1, VS-521×VE-3, criollo del agricultor and the female introduced parents SINT-3-HE, VS-521 and HEI-1, showed a good response

Las cruces intervarietales SINT-3-HE×CIST, HEI-1×CIST, VS-521×VE-1, VS-521×VE-3, el criollo del agricultor y los progenitores femeninos introducidos SINT-3-HE, VS-521 y HEI-1, tuvieron buena respuesta en ambientes favorables pero fueron inconsistentes al ser sensibles a las condiciones desfavorables en los ambientes. El análisis AMMI permitió conocer la contribución de cada fuente de variación en la partición de la suma de cuadrados total: cultivares (9.6 %), ambientes (55.2 %) e interacción cultivar por ambiente (17.6 %); también explicó mejor la respuesta compleja de los cultivares, detectando los idóneos para cada ambiente. Los dos métodos usados registraron resultados semejantes, lo cual permite confiar en la recomendación de cultivares por su potencial de rendimiento de grano y estabilidad en los ambientes explorados.

Palabras clave: *Zea mays* L., cultivares tropicales y subtropicales, rendimiento de grano, estabilidad.

INTRODUCCIÓN

En el estado de Guerrero, México, hay áreas productoras de maíz (*Zea mays* L.) ubicadas en regiones de 1200 a 1750 m de altitud que comprenden una superficie de 55 500 ha, donde se distinguen nichos agroecológicos en los que los maíces mejorados pueden adaptarse y adoptarse, principalmente en pequeños valles y lomeríos de pendiente ligera. Dado que en estas áreas agrícolas no se han generado cultivares mejoradas y además se desconoce el grado de adaptación a estos ambientes de los maíces disponibles en el mercado, los agricultores usan sus poblaciones nativas. En algunas áreas de la región compañías privadas han introducido híbridos que muestran un comportamiento aceptable en un año específico, pero un comportamiento errático a través de años debido a la gran variación ambiental entre años y entre localidades. Para atender la demanda de cultivares mejorados específicos para las regiones semicálidas de Guerrero, en este estudio se emplearon cultivares seleccionados en el Colegio de Postgraduados (CP) y material nativo mejorado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Bajo un esquema de cruzamientos factorial, se utilizaron dos grupos de progenitores y sus cruces, las cuales se evaluaron en 16 ambientes de 2004 a 2008.

Para obtener variedades superiores se recomienda evaluar su comportamiento agronómico en distintas

in favorable environments but were inconsistent, since they were sensitive to unfavorable conditions in the environments. The AMMI analysis allowed understanding the contribution by each one of the sources of variation in the partition of the total sum of squares: cultivars (9.6 %), environments (55.2 %), and cultivar per environment (17.6 %); it also explained better the complex response of cultivars, detecting the ideal, for each environment interaction. The two methods used registered similar results, allowing us to trust the recommendation of cultivars for their grain yield potential and stability in the environments explored.

Key words: *Zea mays* L., tropical and subtropical cultivars, grain yield, stability.

INTRODUCTION

In the state of Guerrero, México, there are maize (*Zea mays* L.) production areas located in regions between 1200 and 1750 m of altitude that span over a surface of 55 500 ha, where agro-ecological niches stand out in which improved maize cultivars can adapt and be adopted, primarily in small valleys and hilly areas with slight slopes. Because improved cultivars have not been generated in these agricultural areas, and since the degree of adaptation to these environments by maize varieties available in the market is also unknown, farmers use their native populations. In some areas of the region, private companies have introduced hybrids that show an acceptable behavior in a specific year, but an erratic behavior over the years due to the huge environmental variation between years and localities. To address the demand for improved cultivars specific for semi-warm regions in Guerrero, in this study we used cultivars selected at Colegio de Postgraduados (CP) and native material improved by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Under a scheme of factorial crossing, two groups of parents and their crosses were used, which were evaluated in 16 environments from 2004 to 2008.

To obtain superior cultivars, evaluating their agronomic behavior in different agro-climatic conditions is recommended, to identify populations with good genetic potential in specific environments, defined by the climate, the soil and the agronomic management (Eberhart and Russell, 1966); also,

condiciones agroclimáticas para identificar poblaciones con buen potencial genético en ambientes específicos, definidos por el clima, el suelo y el manejo agronómico (Eberhart y Russell, 1966); además, seleccionar uno o más cultivares con respuesta favorable a la mayoría de los ambientes (estabilidad). Bajo estas consideraciones, el objetivo de esta investigación fue estudiar el comportamiento de cultivares progenitores y sus cruzamientos, por su potencial de rendimiento de grano, así como su interacción con los ambientes de evaluación, localizados en la región semicálida del estado de Guerrero, mediante los análisis de parámetros de estabilidad y AMMI.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético

Se usaron dos grupos varietales de germoplasma. El primero contiene los progenitores femeninos y se integró con los cultivares tropicales VS-521, VS-529, SINT-3-HE y HEI-1, seleccionados para las condiciones ambientales de los Valles Altos de México, en el Campus Montecillo del CP (2240 m altitud), de 1991 a 2002. El segundo grupo, progenitores masculinos, se integró con cultivares mejorados nativos, entre ellos, el complejo interracial subtropical (CIST) formado con germoplasma de las razas Pepitilla, Tuxpeño, Celaya y Cónico, y los cultivares experimentales VE-1 y VE-3 formados por el cruzamiento de un cultivar tropical mejorado con una población nativa de raza Ancho. Con estos dos grupos de progenitores se formaron 12 cruzamientos intervarietales. Se evaluaron cruzas, progenitores, cinco testigos comerciales, y el cultivar del agricultor cooperante (criollo del agricultor). En adelante a las poblaciones progenitoras y sus cruzamientos, se les llamará variedades.

Localidades de evaluación

Las actividades de campo se desarrollaron en dos etapas. En la primera se generaron las cruzas intervarietales en los ciclos agrícolas Invierno-Primavera 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008, en el Campo Experimental Iguala, INIFAP. En la segunda etapa se evaluaron las cruzas intervarietales, progenitores y testigos en los ciclos agrícolas Verano-Otoño de 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008 (Cuadro 1).

Diseño experimental y manejo agronómico

El diseño experimental fue un látice triple 5×5, donde se incluyeron las 12 cruzas intervarietales, los siete progenitores,

selecting one or more cultivars with a favorable response to most of the environments (stability). Under these considerations, the objective of this research was to study the behavior of parent cultivars and their crosses, for their grain yield potential, as well as their interaction with the environments evaluated, located in the semi-warm region in the state of Guerrero, through the analysis of stability parameters and AMMI.

MATERIALS AND METHODS

Genetic material

Two varietal germplasm groups were used. The first group contained female parents and was made up of tropical cultivars VS-521, VS-529, SINT-3-HE and HEI-1, selected for the environmental conditions in Valles Altos de México, at the CP's Montecillo Campus (2240 m of altitude), from 1991 to 2002. The second group, male parents, was made up of native improved cultivars, among them the subtropical inter-racial complex (complejo interracial subtropical, CIST), formed with germplasm from the Pepitilla, Tuxpeño, Celaya and Cónico races, and the experimental cultivars VE-1 and VE-3, formed by the cross from a tropical cultivar improved with a native population of Ancho race. With these two parent groups, 12 intervarietal crosses were formed. Crosses, parents, five commercial controls and the cooperating farmer's cultivar (criollo del agricultor) were evaluated. From now on, the parent populations and their crosses will be called varieties.

Evaluation locations

Field activities were developed in two stages. In the first one, intervarietal crosses were generated during the 2004, 2005, 2006, 2007 and 2008 Winter-Spring agricultural cycles, at the Campo Experimental Iguala, INIFAP. In the second stage, intervarietal crosses, parents and controls were evaluated during the 2004, 2005, 2006, 2007, and 2008 Summer-Autumn agricultural cycles (Table 1).

Experimental design and agronomic management

The experimental design was a triple 5×5 lattice, where the 12 intervarietal crosses were included, as well as the seven parents, five commercial controls, and the criollo del agricultor. Experiments were established in rainfed conditions under management by cooperating farmers. The experimental unit was made up of two rows that were 5 m long and 85 cm wide. They

Cuadro 1. Características climáticas y ubicación de las localidades de evaluación en el estado de Guerrero, México. Ciclos Verano-Otoño 2004 a 2008.

Table 1. Climate characteristics and location of evaluation localities in the state of Guerrero, México. Summer-Autumn cycles, 2004 to 2008.

Localidades [†]	Clima	Altitud (m)	Latitud N	Longitud O	Pp (mm)
Iguala	Aw ₀ (w) (i')g	750	17° 52' 54"	99° 09' 55"	977
Acatlán	(A) Cb (w ₀) (w) (i') gw"	1296	17° 39' 26"	99° 09' 55"	833
Santa Ana	(A) Cb (w ₀) (w) (i') gw"	1336	17° 39' 26"	99° 09' 55"	833
Olinalá	Aw ₁ (w) (i') g	1535	17° 48' 15"	98° 45' 53"	1065
Teloloapan	A (C) w ₂ (w) ig	1521	18° 21' 16"	99° 51' 58"	1231
Ahuacatitlán	A (C) w ₂ (w) ig	1620	18° 21' 30"	99° 48' 47"	1231

[†] Localidades y años de la investigación: Iguala 2007; Acatlán 2004; Santa Ana 2005, 2006; Olinalá 2004-2007; Teloloapan 2004-2008; Ahuacatitlán 2005-2007; Pp: precipitación pluvial. Fuente: García (1988)

❖ [†] Localities and years of the research: Iguala 2007; Acatlán 2004; Santa Ana 2005, 2006; Olinalá 2004-2007; Teloloapan 2004-2008; Ahuacatitlán 2005-2007; Pp: rainfall. Source: García (1988).

cinco testigos comerciales y el criollo del agricultor. Los experimentos se establecieron en condiciones de temporal con el manejo de los agricultores cooperantes. La unidad experimental estuvo constituida por dos surcos de 5 m de largo y 85 cm de ancho. Se fertilizó con la fórmula 90N-60P-00K; el control de arvenses y plagas se efectuó con base a las recomendaciones del INIFAP. El rendimiento de grano (t ha⁻¹) se calculó ajustado al 12 % de humedad para cada variedad en los 16 ambientes.

Análisis estadístico

La información por localidad se analizó según un diseño de bloques completos al azar, considerando sólo 20 variedades: dos grupos de progenitores, sus cruzaas posibles y el criollo del agricultor. Para valorar la estabilidad e interacción de las variedades de maíz con el ambiente se utilizó la metodología de parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966), y el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI) (Gauch y Zobel, 1988). En los análisis de regresión se tomó en cuenta los promedios por variedad y por localidad para estimar los parámetros de estabilidad, los coeficientes de regresión (*b_i*) de la *i*-ésima variedad sobre los ambientes y la variación de las desviaciones de regresión (δ_{di}^2) con base en la propuesta de Eberhart y Russell (1966) y Molina (1992).

Para el análisis de estabilidad de cada variedad se usó el modelo estadístico: $Y_{ij} = \mu_i + b_i I_j + \delta_{ij}$; donde *i*=1, 2, 3, ..., *v* (variedades); *j*=1, 2, 3, ..., *n* (ambientes); *Y_{ij}*=comportamiento de la *i*-ésima variedad en el *j*-ésimo ambiente (promedio de repeticiones); μ_i =media de la *i*-ésima variedad sobre todos los ambientes (promedio de repeticiones y ambientes); *b_i*=respuesta de la *i*-ésima variedad en los diferentes ambientes; *d_{ij}*=desviación de regresión de la *i*-ésima variedad en el *j*-ésimo ambiente; $I_j = (\sum Y_{ij} / v) - (\sum Y_{ij} / vm) =$ índice ambiental; es decir, *I_j* es

where fertilized with the 90N-60P-00K formula; weed and plague control was done based on recommendations by INIFAP. Grain yield was calculated (t ha⁻¹), adjusted to 12 % humidity for each variety in the 16 environments.

Statistical analysis

Information per location was analyzed according to a complete random blocks design, taking into account only 20 varieties: two groups of parents, their possible crosses, and the criollo del agricultor. To evaluate stability and interaction of the maize varieties with the environment, the methodology of stability parameters (Eberhart and Russell, 1966) and the additive main effects with multiplicative interaction (AMMI) model (Gauch and Zobel, 1988) were used. Averages per variety and locality were considered in the regression analysis to estimate stability parameters, the regression coefficients (*b_i*) of the *i*th variety on the environments and variations of the regression deviations (δ_{di}^2), based on the proposal by Eberhart and Russell (1966) and Molina (1992).

For the stability analysis of each variety, the following statistical model was used: $Y_{ij} = \mu_i + b_i I_j + \delta_{ij}$; where *i* = 1, 2, 3, ..., *v* (varieties); *j*=1, 2, 3, ..., *n* (environments); *Y_{ij}* = behavior by the *i*th variety of the *j*th environment (average of repetitions); μ_i = mean of the *i*th variety over all the environments (average of repetitions and environments); *b_i* = answer by the *i*th variety in the different environments; *d_{ij}* = regression deviation of the *i*th variety in the *j*th environment; $I_j = (\sum Y_{ij} / v) - (\sum Y_{ij} / vm) =$ environmental index; that is, *I_j* is the difference between the mean of all varieties in the *j*th environment minus the general mean. The significance (p≤0.05) of linear effects and regression deviations were tested with the F test in the variance analysis; and individually, per variety, significance for *b_i* hypothesis equal

la diferencia entre la media de todas las variedades en el j -ésimo ambiente menos la media general. La significancia ($p \leq 0.05$) de los efectos lineales y de las desviaciones de regresión se probó mediante la prueba de F en el análisis de varianza; e individualmente por variedad se probó mediante prueba de t la significancia para la hipótesis b_i igual a la unidad (variedad estable), y mediante prueba de F la hipótesis δ_{di}^2 igual a cero (variedad consistente). La clasificación de las variedades se hizo con el procedimiento de Carballo y Márquez (1970) al combinar los valores en las estimaciones obtenidos de los parámetros b_i y δ_{di}^2 .

El análisis con base en el modelo AMMI (Gauch y Zobel, 1988) involucra componentes principales (ACP) para analizar los efectos no aditivos de interacción variedad por ambiente (Gollob, 1968). El modelo AMMI, conformado por parámetros aditivos y multiplicativos es: $Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum_{k=1}^n B_k \tau_{ik} \delta_{jk} + E_{ij}$; donde Y_{ij} = rendimiento promedio de la i -ésima variedad en el j -ésimo ambiente; μ = efecto de la media general; G_i = efecto de la i -ésima variedad; A_j = efecto del i -ésimo ambiente; n es el número de componentes principales retenidos en el modelo; B_k es el valor singular para cada componente principal; τ_{ik} , corresponde a los valores en los vectores propios de las variedades para cada componente principal; δ_{jk} , son valores de los vectores propios de los ambientes para cada componente principal; E_{ij} , es el error experimental. Los análisis se realizaron mediante el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell

El análisis de varianza combinado para rendimiento de grano mostró significancia ($p \leq 0.01$) en variedades y en la interacción variedades por ambientes. El rendimiento promedio ($t \text{ ha}^{-1}$) de las 20 variedades evaluadas en cada ambiente, así como los valores de los índices ambientales (I_j) se muestran en el Cuadro 2. Hubo diferencias en productividad entre variedades en cada ambiente, lo cual indica la importancia de conducir evaluaciones en diferentes localidades y años para observar la respuesta de las variedades a diferentes ambientes y valorar como se presentan diferencias entre variedades en tendencias de ese comportamiento a través de ambientes (Becker y León, 1988; Fikere *et al.*, 2008).

Con el análisis combinado se detectó diferencias significativas entre las medias de rendimiento de los cruzamientos y progenitores, y entre variedades

to the unit (stable variety) was examined through the t test, and the δ_{di}^2 hypothesis equal to zero (consistent variety) was examined through the F test. The classification of varieties was made according to the procedure used by Carballo and Márquez (1970) when combining the values in estimations obtained in parameters b_i and δ_{di}^2 .

The analysis based on the AMMI model (Gauch and Zobel, 1988) involves principal components (PCA) to analyze the non-additive effects of varietal interaction per environment (Gollob, 1968). The AMMI model, made up of additive and multiplicative parameters is: $Y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum_{k=1}^n B_k \tau_{ik} \delta_{jk} + E_{ij}$; where, Y_{ij} = average yield by the i^{th} variety in the j^{th} environment; μ = effect of general mean; G_i = effect of the i^{th} variety; A_j = effect of the i^{th} environment; n is the number of principal components retained in the model; B_k is the singular value for each principal component; τ_{ik} corresponds to the values of vectors that are characteristic of the varieties in each principal component; δ_{jk} are the values of vectors that are characteristic of the environments for each principal component; E_{ij} is the experimental error. Analyses were carried out with the SAS software, version 9.0 (SAS Institute, 2002).

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of Eberhart and Russell stability parameters

The combined variance analysis for grain yield showed significance ($p \leq 0.01$) in varieties and in the interaction of varieties per environments. The average yield ($t \text{ ha}^{-1}$) for the 20 varieties evaluated in each environment, as well as the environmental indexes (I_j) are shown in Table 2. There were differences in productivity between varieties in each environment, which indicates the importance of carrying out evaluations in different locations and years, to observe the answer from varieties to different environments and to evaluate the way in which differences are present between varieties in trends of this behavior throughout environments (Becker and León, 1988; Fikere *et al.*, 2008).

With the combined analysis significant differences were detected between yield averages in crosses and parents, and between varieties within groups of parents or crosses there were significant differences only between the inter-varietal crosses and between the female parents. The variance analysis, based on the methodology proposed by

Cuadro 2. Rendimiento promedio (t ha⁻¹) de 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes con altitudes intermedias en el estado de Guerrero, México. Verano-Otoño 2004 a 2008. Table 2. Average yield (t ha⁻¹) of 20 maize varieties evaluated in 16 environments with intermediate altitudes in the state of Guerrero, México. Summer-Autumn, 2004 to 2008.

V	Ambientes																M
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	
V1	5.245 a	10.270	5.460 a	6.043	6.375 a	6.477	6.106 a	5.778	5.856	7.180 a	6.053 a	5.267	4.793	7.618 a	5.931	5.832	6.268 a
V2	4.475	8.943	4.911	5.976	6.383 a	5.817	5.393	5.536	5.339	5.149	6.351 a	5.914	5.081	4.944	6.170	4.962	5.709
V3	4.939	10.383	4.763	7.119 a	5.969	5.671	5.724	6.176 a	6.172 a	6.174	5.524	6.370	4.839	7.698 a	6.091	5.919 a	6.221 a
V4	3.892	9.568	5.824 a	5.845	5.832	4.710	5.320	6.667 a	6.286 a	6.810 a	6.262 a	5.187	5.234 a	7.544 a	6.564	5.433	6.061 a
V5	4.141	12.084 a	5.107 a	6.290 a	5.809	6.417	5.262	6.029 a	6.371 a	4.715	6.120 a	6.746 a	5.313 a	6.075 a	6.427	6.873 a	6.236 a
V6	4.718	10.840 a	5.974 a	6.453 a	5.848	6.156	6.789 a	4.817	5.297	5.926	5.459	7.242 a	5.286 a	5.157	6.456	5.440	6.116 a
V7	4.703	9.803	4.896	6.056	5.807	6.596	6.028 a	6.358 a	6.210 a	6.369 a	6.528 a	5.531	5.440 a	7.434 a	6.730	6.213 a	6.294 a
V8	3.031	10.716 a	4.837	6.179 a	5.601	5.542	5.764	6.050 a	5.558	5.854	5.493	7.173 a	5.710 a	6.017	7.007 a	6.028 a	6.035 a
V9	4.122	9.897	5.634 a	6.115	6.289 a	6.173	5.502	5.174	5.850	5.657	6.308 a	7.012 a	5.295 a	6.929 a	6.305	6.075 a	6.146 a
V10	5.409 a	11.079 a	5.478 a	5.631	6.289 a	7.404 a	6.185 a	5.183	5.777	5.908	5.267	5.203	5.911 a	6.709 a	6.459	5.863	6.235 a
V11	5.710 a	9.551	4.312	5.831	5.831	6.392	5.889	6.074 a	6.392 a	6.623 a	5.857 a	6.856 a	5.547 a	6.873 a	6.672	6.773 a	6.324 a
V12	5.112 a	10.713 a	4.977	6.252 a	6.098 a	4.636	5.463	5.775	5.816	5.731	5.404	5.883	5.314 a	6.448 a	5.745	5.789	5.947
V13	4.847	10.358	4.016	5.770	5.949	8.666 a	6.107 a	5.323	5.833	6.296	6.076 a	7.579 a	2.947	5.683	7.571 a	6.427 a	6.216 a
V14	4.721	8.780	5.828 a	6.362 a	6.630 a	6.037	7.168 a	5.728	5.845	4.292	5.432	4.819	3.116	5.148	5.244	6.061 a	5.701
V15	3.522	9.077	5.051 a	6.298 a	5.917	5.280	5.282	5.221	6.001 a	5.070	5.991 a	6.089 a	4.637	6.161 a	5.864	6.093 a	5.722
V16	3.786	10.156	4.738	5.696	5.374	6.156	5.918	5.887	6.620 a	5.475	6.765 a	5.947	4.579	6.080 a	6.044	5.805	5.939
V17	5.215 a	9.056	5.155 a	5.100	4.919	4.890	5.877	4.374	4.009	3.683	3.654	4.472	5.054	6.784 a	5.890	5.366	5.219
V18	3.053	8.893	3.874	4.914	4.724	5.911	5.920	4.214	3.975	4.652	4.540	5.028	4.896	7.798 a	5.463	5.471	5.208
V19	3.822	8.107	3.572	5.205	5.148	4.966	6.335 a	5.603	4.231	3.642	5.527	4.788	4.374	5.554	5.418	5.226	5.095
V20	2.475	7.725	3.756	5.232	4.568	5.373	6.349 a	4.099	3.271	4.442	3.733	3.744	4.709	5.205	5.144	3.570	4.587
M	4.347	9.800	4.908	5.918	5.768	5.964	5.919	5.503	5.535	5.482	5.617	5.842	4.904	6.393	6.160	5.761	5.864
<i>I_j</i>	-1.517	3.936	-0.956	0.055	-0.096	0.100	0.055	-0.361	-0.329	-0.381	-0.247	-0.021	-0.960	0.529	0.296	-0.103	
DMS	1.720	1.686	1.546	0.978	0.937	1.274	1.330	1.227	1.056	0.870	1.181	0.948	0.828	1.773	0.765	1.000	

A: ambientes; A1: Acatlán 2004; A2, A6, A10, A14: Olinalá 2004, 2005, 2006, 2007; A3, A7; A11, A15, A16: Teloloapan 2004, 2005, 2006, 2007, 2008; A4, A8, A12: Ahuacatlán 2005, 2006, 2007; A5, A9: Santa Ana 2005, 2006; A13: Iguala 2007; V: variedad; V1: SINT-3-HE×CIST; V2: VS-521×CIST; V3: VS-529×CIST; V4: HEI-1×CIST; V5: SINT-3-HE×VE-1; V6: VS-521×VE-1; V7: VS-529×VE-1; V8: HEI-1×VE-1; V9: SINT-3-HE×VE-3; V10: VS-521×VE-3; V11: VS-529×VE-3; V12: HEI-1×VE-3; V13: criollo del agricultor; V14: CIST; V15: VE-1; V16: VE-3; V17: SINT-3-HE; V18: VS-521; V19: VS-529; V20: HEI-1; M: media; *I_j*: índice ambiental; DMS (p≤0.05): diferencia mínima significativa ✦ A: environment; A1: Acatlán 2004; A2, A6, A10, A14: Olinalá 2004, 2005, 2006, 2007; A3, A7; A11, A15, A16: Teloloapan 2004, 2005, 2006, 2007, 2008; A4, A8, A12: Ahuacatlán 2005, 2006, 2007; A5, A9: Santa Ana 2005, 2006; A13: Iguala 2007; V: variedad; V1: SINT-3-HE×CIST; V2: VS-521×CIST; V3: VS-529×CIST; V4: HEI-1×CIST; V5: SINT-3-HE×VE-1; V6: VS-521×VE-1; V7: VS-529×VE-1; V8: HEI-1×VE-1; V9: SINT-3-HE×VE-3; V10: VS-521×VE-3; V11: VS-529×VE-3; V12: HEI-1×VE-3; V13: criollo del agricultor; V14: CIST; V15: VE-1; V16: VE-3; V17: SINT-3-HE; V18: VS-521; V19: VS-529; V20: HEI-1; M: mean; *I_j*: environmental index; DMS (p≤0.05): least significant difference.

dentro de grupos de progenitores o cruzas sólo hubo diferencias significativas entre las cruzas intervarietales y entre los progenitores hembra. El análisis de varianza, de acuerdo con la metodología propuesta por Eberhart y Russell (1966), mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre las medias de las variedades y las de ambientes anidados en variedades (Cuadro 3). Las diferencias entre variedades permiten detectar aquellas con mejor potencial genético, y las diferencias entre ambientes para cada variedad permiten detectar aquellas con estabilidad en una serie de ambientes, de acuerdo con el modelo de Eberhart y Russell (1966) y De León *et al.* (2005).

En la identificación y clasificación de las variedades de maíz por su estabilidad, con base en los estimadores de los coeficientes de regresión (b_i) y desviaciones de regresión (δ_{di}^2) para las seis categorías propuestas por Carballo y Márquez (1970), al combinar los coeficientes de regresión $b_i > 1$, $b_i = 1$ y $b_i < 1$ y las desviaciones de regresión $\delta_{di}^2 > 0$, $\delta_{di}^2 = 0$, se identificaron cinco grupos de los seis posibles, considerando el resultado de las pruebas de significancia para $b_i = 1$ y $\delta_{di}^2 = 0$ para cada variedad (Cuadro 4).

1) Las variedades VS-529×CIST, VS-529×VE-1, SINT-3-HE×VE-3, HEI-1×VE-3, VE-1 y VE-3 presentaron $b_i = 1$ y $\delta_{di}^2 = 0$, es decir, son estables y consistentes; las primeras cuatro son cruzas intervarietales y las dos últimas progenitores masculinos.

Eberhart and Russell (1966), showed significant differences ($p \leq 0.01$) between the averages of varieties and those of environments nested in varieties (Table 3). The differences between varieties allow detecting those that have better genetic potential, and differences between environments for each variety allow detecting those with stability in a series of environments, according to the model by Eberhart and Russell (1966), and De León *et al.* (2005).

In identifying and classifying maize varieties from their stability, based on estimators from regression coefficients (b_i) and regression deviations (δ_{di}^2) for the six categories proposed by Carballo and Márquez (1970), when combining the regression coefficients $b_i > 1$, $b_i = 1$ and $b_i < 1$ and the regression deviations $\delta_{di}^2 > 0$, $\delta_{di}^2 = 0$, five groups were identified out of the six possible, taking into account the result from significance tests for $b_i = 1$ and $\delta_{di}^2 = 0$ for each variety (Table 4).

1) Varieties VS-529×CIST, VS-529×VE-1, SINT-3-HE×VE-3, HEI-1×VE-3, VE-1 and VE-3 showed $b_i = 1$ and $\delta_{di}^2 = 0$, that is, they are stable and consistent; the first four are intervarietal crosses and the last two are male parents.
2) With values of $b_i = 1$ and $\delta_{di}^2 > 0$, whose response is stable and inconsistent, this group was integrated by varieties SINT-3-HE×CIST, HEI-1×CIST, VS-521×VE-1, VS-521×VE-3, criollo del agricultor, SINT-3-HE, VS-521 and HEI-1.

Cuadro 3. Análisis de varianza para la estimación de los parámetros de estabilidad de 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero, México. Verano-Otoño 2004 a 2008.

Table 3. Variance analysis to estimate stability parameters of 20 maize varieties evaluated in 16 environments in the state of Guerrero, México. Summer-Autumn, 2004 to 2008.

Fuente de variación	GL	SC	CM
Variedades	19	71.19	3.747**
Ambientes / Variedades	300	540.15	1.800**
Ambientes (lineal)	1	409.54	409.541**
Variedades×Ambientes (lineal)	19	10.31	0.543**
Desviaciones conjuntas	280	120.29	0.430**
Error conjunto	608	113.67	0.187

GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; **: significativo ($p \leq 0.01$) ❖ GL: degrees of freedom; SC: sum of squares; CM: mean squares; **: significant ($p \leq 0.01$).

Cuadro 4. Rendimiento promedio (t ha⁻¹; primera hilera) y parámetros de estabilidad (segunda hilera) de 19 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero, México. Verano-Otoño, 2004-2008.

Table 4. Average yield (t ha⁻¹; first row) and stability parameters (second row) for 19 maize varieties evaluated in 16 environments in the state of Guerrero, México. Summer-Autumn, 2004 to 2008.

Progenitores hembra (♀)	Progenitores macho (♂)			
	CIST	VE-1	VE-3	Per se (♀)
SINT-3-HE	6.268 a	6.236 a	6.146 a	5.219
b_i y δ_{di}^2	=1; >0	>1; >0	=1; =0	=1; >0
VS-521	5.709	6.116 a	6.235 a	5.208
b_i y δ_{di}^2	<1; =0	=1; >0	=1; >0	=1; >0
VS-529	6.221 a	6.294 a	6.324 a	5.095
b_i y δ_{di}^2	=1; =0	=1; =0	<1; =0	<1; >0
HEI-1	6.061 a	6.035 a	5.947	4.587
b_i y δ_{di}^2	=1; >0	>1; >0	=1; =0	=1; >0
Per se (♂)	5.701	5.722	5.939	
	<1; >0	=1; =0	=1; =0	
DMS (cruzas)=0.299				

$b_i=1$; $\delta_{di}^2=0$: variedad estable y consistente; $b_i=1$; $\delta_{di}^2>0$: estable pero inconsistente; $b_i<1$; $\delta_{di}^2=0$: responde mejor en ambientes desfavorables y consistente; $b_i<1$; $\delta_{di}^2>0$: responde mejor en ambientes desfavorables e inconsistente; $b_i>1$; $\delta_{di}^2=0$: responde mejor en buenos ambientes y consistente; $b_i>1$; $\delta_{di}^2>0$: responde mejor en buenos ambientes e inconsistente * $b_i=1$; $\delta_{di}^2=0$: variety stable and consistent; $b_i=1$; $\delta_{di}^2>0$: stable but inconsistent; $b_i<1$; $\delta_{di}^2=0$: respond better to unfavorable and consistent environments; $b_i<1$; $\delta_{di}^2>0$: respond better to unfavorable and inconsistent environments; $b_i>1$; $\delta_{di}^2=0$: respond better to good and consistent environments; $b_i>1$; $\delta_{di}^2>0$: respond better to good and inconsistent environments.

- 2) Con valores $b_i=1$ y $\delta_{di}^2>0$, cuya respuesta es estable e inconsistente, se integró con las variedades SINT-3-HE×CIST, HEI-1×CIST, VS-521×VE-1, VS-521×VE-3, criollo del agricultor, SINT-3-HE, VS-521 y HEI-1. Las cuatro primeras son cruzas intervarietales, la quinta es la variedad local y las restantes son progenitores femeninos.
- 3) Coeficientes de regresión $b_i<1$ y desviaciones de regresión $\delta_{di}^2=0$ corresponden a las cruzas intervarietales VS-521×CIST y VS-529×VE-3, las cuales respondieron mejor a ambientes desfavorables y tuvieron respuestas consistentes; es decir, amortiguaron mejor las condiciones ambientales desfavorable. Alcázar y Sierra (1984) reportan resultados similares, pero ellos usaron otro tipo de material genético y en otros ambientes.

- The first four are intervarietal crosses, the fifth is the local variety, and the rest are female parents.
- 3) Regression coefficients of $b_i<1$ and regression deviations of $\delta_{di}^2=0$ correspond to intervarietal crosses VS-521×CIST and VS-529×VE-3, which responded better to unfavorable environments and had consistent responses; that is, they buffered unfavorable environmental conditions better. Alcázar and Sierra (1984) report similar results, but they used a different type of genetic material in other environments.
- 4) Parents CIST and VS-529 showed regression coefficients of $b_i<1$ and regression deviations of $\delta_{di}^2>0$, indicating that they responded better in unfavorable environments but were inconsistent; however, they participated in stable high grain-yielding intervarietal crosses, as was expected.

- 4) Los progenitores CIST y VS-529 presentaron coeficientes de regresión $b_i < 1$ y desviaciones de regresión $\delta_{di}^2 > 0$, indicando que respondieron mejor en ambientes desfavorables pero fueron inconsistentes; sin embargo, participaron en cruza intervarietales estables de alto rendimiento de grano, como se esperaba.
- 5) Variables con $b_i > 1$ y $\delta_{di}^2 > 0$ fueron SINT-3-HE×VE-1 y HEI-1×VE-1, que respondieron mejor en ambientes favorables y fueron inconsistentes; su rendimiento tiende a ser bajo en condiciones ambientales críticas pero pueden cambiar su comportamiento de un ambiente a otro (Becker y León, 1988; Ali *et al.*, 2003), lo cual dificulta la selección de genotipos con buen potencial genético (Eberhart y Russell, 1966).

Entre las cruza más sobresalientes en rendimiento de grano se identificaron VS-529×CIST y VS-529×VE-1, clasificadas como estables y consistentes; en tanto que SINT-3-HE×CIST, SINT-3-HE×VE-1 y VS-521×VE-3 se consideraron como inconsistentes. La variedad VS-529×VE-3 puede ser germoplasma interesante por su alto rendimiento de grano, consistencia y buena respuesta en ambientes desfavorables, como las localidades semicálidas de la Montaña, estado de Guerrero. Los progenitores masculinos y femeninos poseen una buena base genética obtenida durante el proceso de selección, ya que generaron cruza idóneas para responder a condiciones ambientales tanto favorables como adversas (Córdova, 1991).

El análisis general de las cruza varietales indicó que los progenitores masculinos tuvieron mayor influencia, y presentaron mayor rendimiento *per se* que los femeninos porque su origen es de regiones semicálidas (Cuadro 4). Los progenitores masculinos VE-1 y VE-3 fueron estables y valiosos como poblaciones segregantes en la selección de individuos sobresalientes para el mejoramiento del rendimiento de grano y mantenimiento de la estabilidad. La contribución de los progenitores femeninos fue aportar heterosis y las cruza con VS-529 y SINT-3-HE mostraron consistencia en rendimiento y en los parámetros de estabilidad, como lo sugieren Mejía y Molina (2003). Los progenitores hembras y machos se ubicaron en diferentes grupos claramente ya que difirieron en sus parámetros de estabilidad (b_i y δ_{di}^2). Las variedades locales de los agricultores cooperantes mostraron

- 5) Varieties with $b_i > 1$ and $\delta_{di}^2 > 0$ were SINT-3-HE×VE-1 and HEI-1×VE-1, which responded better in favorable environments and were inconsistent; their yield tends to be low in critical environmental conditions but their behavior can change from one environment to another (Becker and León, 1988; Ali *et al.*, 2003), which makes it more difficult to select genotypes with good genetic potential (Eberhart and Russell, 1966).

Among the most outstanding crosses in grain yield VS-529×CIST and VS-529×VE-1 were identified, classified as stable and consistent; while SINT-3-HE×CIST, SINT-3-HE×VE-1 and VS-521×VE-3 are considered as inconsistent. Variety VS-529×VE-3 can be interesting germplasm because of its high grain yield, consistency and good response to unfavorable environments, as the semi-warm locations of the Montaña, the state of Guerrero. Male and female parents have a good genetic base obtained during the selection process, since they generated ideal crosses to respond to environmental conditions both favorable and adverse (Córdova, 1991).

The general analysis of varietal crosses indicated that male parents had a greater influence, and they showed higher yield *per se* than female parents because their origin is from semi-warm regions (Table 4). Male parents VE-1 and VE-3 were stable and valuable as segregating populations in the selection of outstanding individuals for improving grain yield and maintaining stability. The contribution of female parents was to contribute heterosis, and crosses with VS-529 and SINT-3-HE showed consistency in yield and in stability parameters, as Mejía and Molina (2003) suggest. Female and male parents were clearly located in different groups, since they differed in their stability parameters (b_i and δ_{di}^2). The cooperating farmers' local varieties showed acceptable responses in their environments because they were adapted to the specific conditions there, and in some cases these native populations managed to outperform the varietal crosses in grain yield. Their inconsistency is attributed to the fact that in each evaluation environment, the cooperating farmer's native population was used, which was not the same in all the trial environments.

respuestas aceptables en sus ambientes porque estuvieron adaptadas a dichas condiciones específicas, y en algunos casos estas poblaciones nativas lograron superar a las cruza varietales en rendimiento de grano. Su inconsistencia se atribuye a que en cada ambiente de evaluación se usó la población nativa del agricultor cooperante, que no fue la misma en todos los ambientes de prueba.

Análisis AMMI

En el análisis de varianza combinado para 20 variedades y 16 ambientes (Cuadro 5) se detectaron diferencias ($p \leq 0.01$) en todas las fuentes de variación para rendimiento de grano. La significancia de la interacción $V \times A$ indica que al menos una variedad presenta comportamiento en un ambiente con desviación relevante con respecto a lo esperado por la suma de los efectos promedio de ambiente y variedad. Del análisis AMMI el 9.6 % de la suma de cuadrados total se atribuyó a efectos de las variedades, mientras que los efectos ambientales e interacción genotipo por ambiente representaron 55.24 y 17.62 %. Sin embargo, se identificaron variedades estables mediante el análisis de parámetros de estabilidad. Las variedades SINT-3-HE \times CIST, SINT-

AMMI analysis

In the combined variance analysis for 20 varieties and 16 environments (Table 5) significant differences ($p \leq 0.01$) were detected, in all sources of variation for grain yield. Significance of the $V \times E$ interaction indicates that at least one variety presents behavior in an environment with important deviation as compared to what is expected from the sum of average effects from environment and variety. From the AMMI analysis, 9.6 % of the total sum of squares was ascribed to effects from varieties, while the environmental effects and genotype per environment interaction represented 55.24 and 17.62 %. However, stable varieties were identified by means of the stability parameter analysis. Varieties SINT-3-HE \times CIST, SINT-3-HE \times VE-1, VS-529 \times VE-1 and VS-529 \times VE-3, were outstanding in grain yield throughout the environments, while VS-521 \times CIST and HE-1 \times VE-3 presented the lowest values in crosses, similarly to what was observed when applying the methodology proposed by Eberhart and Russell (1966).

The AMMI method allows splitting the variation for variety per environment interaction, and the dispersion of varieties in function of average yield

Cuadro 5. Análisis de varianza AMMI para 20 variedades de maíz evaluadas en 16 ambientes del estado de Guerrero, México. Verano-Otoño 2004 a 2008.

Table 5. AMMI variance analysis for 20 maize varieties evaluated in 16 environments in the state of Guerrero, México. Summer-Autumn, 2004 to 2008.

Fuente de variación	GL	SC	CM	% SC
Ambientes (A)	15	1228.60	81.91**	55.24
Variedades (V)	19	213.56	11.24**	9.60
Interacción $V \times A$	285	391.81	1.38**	17.62
CP1	33	88.61	2.69**	22.62
CP2	31	69.37	2.24**	17.71
CP3	29	54.19	1.89**	13.83
Residuo	608	341.00	0.56	15.33
Media	5.864			
CV (%)	13.32			

GL: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: cuadrados medios; % SC: porcentaje de la SC respecto a la SC total, para CP1, CP2 y CP3 el porcentaje es con respecto a SC de interacción $V \times A$; **: significativo ($p \leq 0.01$); CP: componente principal; CV (%): coeficiente de variación ♦ GL: degrees of freedom; SC: sum of squares; CM: mean squares; % SC: percentage of SC in relation to total SC, for CP1, CP2 and CP3 the percentage is in relation to SC of $V \times A$ interaction. **: significant ($p \leq 0.01$); CP: principal component; CV (%): coefficient of variation.

3-HE×VE-1, VS-529×VE-1 y VS-529×VE-3 fueron sobresalientes en rendimiento de grano a través de ambientes, mientras que VS-521×CIST y HEI-1×VE-3 presentaron los valores menores entre los cruzamientos, similar a lo observado al aplicar la metodología propuesta por Eberhart y Russell (1966).

El método AMMI permite descomponer la variación para la interacción variedades por ambientes y en la gráfica biplot se aprecia la dispersión de las variedades en función del rendimiento promedio de las coordenadas del primer componente principal (CP1). Las variedades SINT-3-HE×VE-1, criollo del agricultor, CIST, SINT-3-HE, VS-521 y HEI-1 presentaron valores absolutos superiores a 0.40 sobre el CP1 (Figura 1) y se infiere que contribuyeron en mayor grado a la interacción variedades por ambientes (IV×A). En el análisis de parámetros de estabilidad se detectaron estos mismos genotipos como inconsistentes.

En el análisis AMMI se identificaron ocho variedades con valor del CP1 menor al valor absoluto 0.20; es decir, estas variedades presentaron efectos pequeños de IV×A (Cossa *et al.*, 1990; Medina *et al.*, 2002). Cinco de ellas (VS-529×CIST, VS-529×VE-1, SINT-3-HE×VE-3, HEI-1×VE-3 y VE-1) fueron estables en el análisis de Eberhart y Russell (1966). Las variedades VS-521×CIST, VS-529×VE-3 y VS-521×VE-3 también mostraron valores bajos para el CP1; las dos primeras se clasificaron como consistentes y buena respuesta en ambientes desfavorables, y la tercera con buena respuesta en todos los ambientes, de manera inconsistente. Estas variedades mostraron rendimientos de 5.709 a 6.324 t ha⁻¹ (Figura 1).

can be seen (CP1) in the bi-plot graphic. Varieties SINT-3-HE×VE-1, criollo del agricultor, CIST, SINT-3-HE, VS-521 and HEI-1, presented absolute values 0.40 above the CP1 (Figure 1), and it can be inferred that they contributed to a greater degree to the variety per environment interaction (IV×E). In the stability parameter analysis, these same genotypes were detected as inconsistent.

In the AMMI analysis, eight varieties with a CP1 value of less than the absolute value 0.20 were identified; that is, these varieties presented small IV×E effects (Cossa *et al.*, 1990; Medina *et al.*, 2002). Five of them (VS-529×CIST, VS-529×VE-1, SINT-3-HE×VE-3, HEI-1×VE-3 and VE-1) were stable in the Eberhart and Russell (1966) analysis. Varieties VS-521×CIST, VS-529×VE-3 and VS-521×VE-3, also showed low values for CP1; the first two were classified as consistent with a good response in unfavorable environments, and the third with good response in all environments, inconsistently. These varieties showed yields of 5.709 to 6.324 t ha⁻¹ (Figure 1).

Figure 2 shows the behavior of varieties and those of greatest interaction with the environments in function of the CP1 and CP2 coordinates. Varieties HEI-1×CIST, SINT-3-HE×VE-1, criollo del agricultor, CIST, SINT-3-HE, VS-521 and HEI-1, together with environments A11 (Teloloapan 2006), A9 (Santa Ana 2006), A4 (Ahuacatitlán 2005) and A13 (Iguala 2007), contributed more to the variety per environment interaction, reinforcing the fact that varieties were sensitive to environmental changes in evaluation sites.

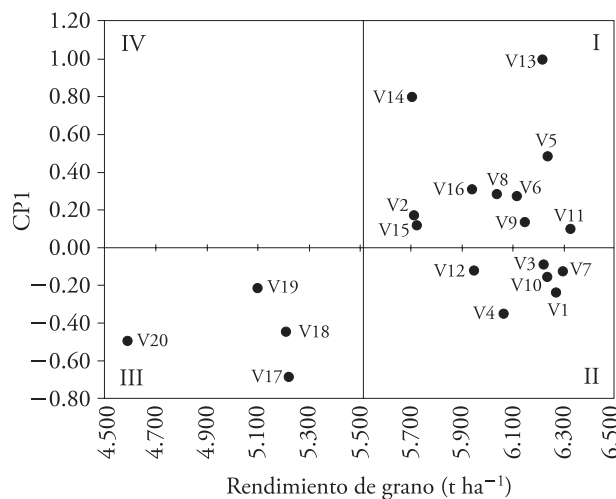


Figura 1. Representación gráfica del CP1 en función del rendimiento (t ha⁻¹) promedio de 20 variedades evaluadas en 16 ambientes de la región semicálida del estado de Guerrero, México, durante el período Verano-Otoño 2004 a 2008.

Figure 1. Graphic representation of CP1 in function of average yield (t ha⁻¹) for 20 maize varieties evaluated in 16 environments in the semi-warm region of the state of Guerrero, México, during the Summer-Autumn period, 2004 to 2008.

En la Figura 2 se observa el comportamiento de las variedades y las de mayor interacción con los ambientes en función de las coordenadas del CP1 y CP2. Las variedades HEI-1×CIST, SINT-3-HE×VE-1, criollo del agricultor, CIST, SINT-3-HE, VS-521 y HEI-1 junto con los ambientes A11 (Teloloapan 2006), A9 (Santa Ana 2006), A4 (Ahuacatitlán 2005) y A13 (Iguala 2007) aportaron más a la interacción variedades por ambientes, reforzando el hecho de que las variedades fueron sensibles a los cambios ambientales de los sitios de evaluación.

En relación a los ambientes, Yan *et al.* (2000) señalan que aquellos con un ángulo menor de 90° tienen la cualidad de clasificar a las variedades de manera semejante, lo cual permite elegir ambientes distintos para la evaluación de las variedades y así probar otras localidades. Con base en la mayor longitud de los vectores de cada ambiente, las localidades que mejor discriminaron a las variedades (Figura 2) fueron: Ahuacatitlán 2005, Santa Ana 2006, Teloloapan 2006, Iguala 2007 (A4, A9, A11 y A13), de acuerdo con los criterios aplicados por Kempton (1984) y Yan *et al.* (2000).

Ocho variedades mostraron una tendencia cercana a cero y en un sentido más estricto las variedades VS-521×CIST, VS-529×VE-1, SINT-3-HE×VE-3 y VS-529×VE-3, fueron las más estables en los ambientes donde fueron evaluadas. Además, al evaluar el mismo material genético más de dos años en los mismos ambientes, se expresa un comportamiento relativamente variable. Este resultado confirma la importancia de evaluar las variedades por varios ciclos de siembra en un mismo lugar, antes de tomar cualquier decisión para su uso comercial.

With regards to environments, Yan *et al.* (2000) point out that those that exhibit an angle under 90° have the quality of classifying varieties in a similar way, which allows to choose different environments for the evaluation of varieties and, thus, test other localities. Based on the greater length of vectors in each environment, the localities that better discriminated varieties (Figure 2) were: Ahuacatitlán 2005, Santa Ana 2006, Teloloapan 2006, Iguala 2007 (A4, A9, A11 and A13), according to criteria applied by Kempton (1984) and Yan *et al.* (2000).

Eight varieties showed a tendency close to zero and, in a stricter sense, varieties VS-521×CIST, VS-529×VE-1, SINT-3-HE×VE-3 and VS-529×VE-3, were the most stable in the environments where they were evaluated. In addition, evaluating the same genetic material for more than two years in the same environments a relatively changeable behavior is expressed. This result confirms the importance of evaluating varieties during several planting cycles in the same place, before making any decision for their commercial use.

CONCLUSIONS

The stability parameters allowed identifying and characterizing the varieties into five groups. Six varieties showed stability; four of them were intervarietal crosses and two were male parents. The cross VS-529×VE-3 responded best to unfavorable environments, showed consistency when facing environmental changes, and expressed the greatest potential in grain yield. Twelve varieties were inconsistent, which is why they should not be

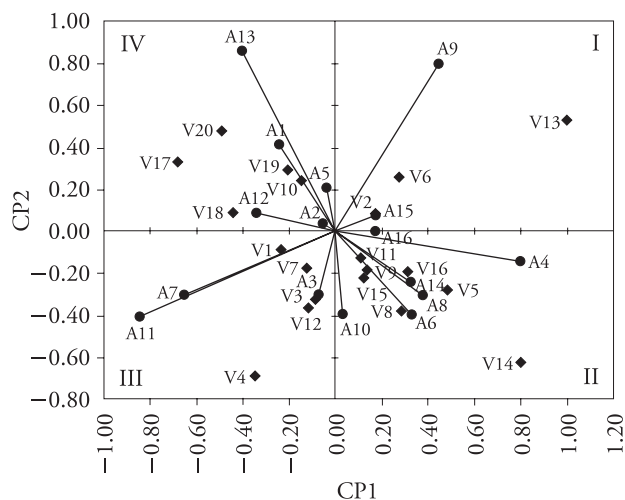


Figura 2. Representación gráfica del CP1 y CP2 de 20 variedades evaluadas en 16 ambientes de la región semicálida del estado de Guerrero durante el período Verano-Otoño 2004 a 2008.

Figure 2. Graphic representation of CP1 and CP2 for 20 maize varieties evaluated in 16 environments in the semi-warm region of the state of Guerrero during the Summer-Autumn period, 2004 to 2008.

CONCLUSIONES

Los parámetros de estabilidad permitieron identificar y caracterizar a las variedades en cinco grupos. Seis variedades mostraron estabilidad; cuatro fueron cruza intervarietales y dos progenitores masculinos. La cruza VS-529×VE-3 respondió mejor en ambientes desfavorables, mostró consistencia ante los cambios ambientales y expresó el mayor potencial de rendimiento de grano. Doce variedades fueron inconsistentes, por lo cual no deberían considerarse en una siembra amplia; en este grupo se ubicó el criollo del agricultor y tres progenitores femeninos, y estas variedades fueron sensibles a los cambios desfavorables que prevalecieron en los ambientes. Con el análisis AMMI se conoció la aportación de cada fuente de variación a la suma de cuadrados total, lo cual permitió entender mejor la respuesta compleja de las variedades para un carácter como el rendimiento de grano; además detectó variedades adecuadas para cada ambiente. Los métodos usados en este estudio mostraron resultados semejantes, por lo cual es posible elegir una o dos variedades como deseables por su buen potencial genético para rendimiento de grano y estabilidad.

LITERATURA CITADA

- Alcázar A., J. J., y M. Sierra M. 1984. Evaluación de variedades tropicales de maíz de planta baja en el estado de Veracruz. *Rev. Fitotec. Mex.* 6: 24-35.
- Ali, N., F. Javidfar, and Y. Mirza. 2003. Selection of stable rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes through regression analysis. *Pak. J. Bot.* 35: 175-183.
- Becker, H. C., and J. Leon. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breed.* 101: 1-23.
- Byth, D. E. 1981. A conceptual basis of genotypic×environment interactions for plant improvement. *In*: Byth, D. E., and V. E. Mungomery (eds). *Interpretation of Plant Response and Adaptation to Agricultural Environments*. Austr. Institute Agric. Sci. pp: 254-265.
- Carballo C., A., y F. Márquez S. 1970. Comparación de variedades de maíz de El Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5: 129-146.
- Córdova S., H. 1991. Estimación de parámetros de estabilidad para determinar la respuesta de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) a ambientes contrastantes de Centro América, Panamá y México. *Agron. Mesoamer.* 2: 1-10.
- Crossa, J., H. Gauch, and R. Zobel. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493-500.
- De León C., H., F. Rincón S., M. H. Reyes V., S. Garduño D., G. Martínez Z., R. Cavazos C., y J. D. Figueroa C. 2005. Potencial de rendimiento y estabilidad de combinaciones germoplásmicas formadas entre grupos de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 135-143.
- Eberhart, S. A., and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40.
- Fikere, M., T. Tadesse, and T. Letta. 2008. Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. *Int. J. Sustain. Crop Prod.* 3(6): 80-87.
- Finlay, K. W., and G. N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Austr. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- García M., E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ta. Ed. UNAM. México, D. F. 217 p.
- Gauch, H., and R. Zobel. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 79: 753-761.
- Gollob, H. F. 1968. A statistical model which combines features of factor analytic e analysis of variances techniques. *Psychometrika* 33: 73-115.
- Kempton, R. A. 1984. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. *J. Agric. Sci.* 103: 123-135.
- Medina, S., C. Marín, V. Segovia, A. Bejarano, Z. Venero, R. Ascanio, y E. Meléndez. 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 J. D. Molina G. 2003. Cambios de estabilidad en el rendimiento de variedades tropicales de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 26: 89-94.
- Molina G., J. D. 1992. Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa. AGT editor S. A., México, D. F. 349 p.
- SAS, Statistical Analysis System Institute. 2002. *The SAS System for Windows*. SAS Institute Inc. Cary, NC 27513, USA.
- Yan, W. L., A. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavncics. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597-605.

—End of the English version—

