

RESPUESTA DE HÍBRIDOS TRILINEALES Y PROBADORES DE MAÍZ EN VALLES ALTOS DEL CENTRO DE MÉXICO*

RESPONSE OF THREE-WAY CROSS HYBRIDS AND TESTER OF CORN IN THE CENTRAL MEXICAN HIGHLAND

José Luis Torres Flores^{1§}, Edgar Jesús Morales Rosales², Andrés González Huerta², Antonio Laguna Cerda² y Hugo Córdoba Orellana^{1†}

¹CIMMYT. Carretera México-Veracruz, km 45. El Batán, Texcoco, Estado de México. Tel. 01 595 21900. Ext. 1117. C. P. 56130. ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas. Toluca, Estado de México. A. P. 435. (ejmoraless@uaemex.mx), (agonzalezh@uaemex.mx), (alc@uaemex.mx). [§]Autor para correspondencia: j.torres@cgiar.org.

RESUMEN

La identificación de híbridos de tres líneas sobresalientes formados con germoplasma, proveniente de diferentes instituciones de investigación, podría contribuir a incrementar la heterosis en rendimiento de grano y la estabilidad de los maíces que se siembran en los Valles Altos del centro de México. El presente trabajo se realizó en 2009 en diez ambientes de esta región, con el objetivo de identificar material genético sobresaliente. En un diseño experimental alpha látice 8*5 con dos repeticiones por ambiente, fueron evaluados 40 genotipos de maíz: 32 híbridos trilineales blanco precoz, cuatro cruza simples (probadores) y cuatro testigos del CIMMYT. Los resultados más sobresalientes indicaron lo siguiente: a) los ambientes donde se registró una producción de mazorca mayor a 9.5 t ha⁻¹ fueron Tlahuelilpan, Batán (+) y Batán (AC), pero Tlaxcoapan fue el ambiente con rendimiento y estabilidad promedio, b) quince genotipos tuvieron rendimientos de mazorca estadísticamente iguales entre 8.2 y 9.4 t ha⁻¹, pero los de mayor producción fueron los identificados con los códigos 21, 28, 27, 29 y 20 (CMS989001//México gpo. 10; CMS 989003//Tuxpeño Crema 1; CMS 989003//SB1; CMS 989003//México gpo. 10; CMS 989001//Tuxpeño Crema 1), con promedios aritméticos muy aceptables en ambientes favorables y en condiciones de baja fertilidad y sequía pero

ABSTRACT

The identification of hybrids formed with three outstanding lines with germplasm from different research institutions could contribute to increase the heterosis in grain's yield and the stability of maize planted in the High Valleys of Central Mexico. This work was conducted in 2009 in ten environments of this region with the aim to identifying outstanding genetic material. In an alpha lattice experimental design with two 8*5 replicates per environment, we evaluated 40 genotypes of maize: early white trilinear 32 hybrids, four single crosses (testers) and four controls from CIMMYT. The most outstanding results indicated the following: a) the environments recorded with a higher production than 9.5 t ha⁻¹ were Tlahuelilpan, Batán (+) and Batán (AC) but, Tlaxcoapan was the one with average stability and yield b) fifteen cob genotypes had statistically similar yields between 8.2 and 9.4 t ha⁻¹, but the ones with the highest production were identified by the codes 21, 28, 27, 29 and 20 (CMS989001//Mexico gpo. 10; CMS 989003//Tuxpeño Cream 1; CMS 989003//SB1; CMS 989003//Mexico gpo. 10; CMS 989001//Tuxpeño Cream 1), with very acceptable arithmetic means in favorable environments and under conditions of low fertility and drought, but unstable, due that, out of these, only

* Recibido: marzo de 2011
Aceptado: octubre de 2011

inestables, debido que de éstos sólo el genotipo 27 fue el más estable a través de los diez ambientes contrastantes. Los mejores probadores fueron los identificados con los códigos 35 y 36 [CMS 989001 (P3) y CMS 989003 (P4)], ambos con 9.3 t ha⁻¹. El mejor testigo fue el híbrido trilineal identificado con la clave 39 y con el origen CMT 089005, con 8.5 t ha⁻¹. El mejor testigo y los mejores probadores tuvieron rendimientos de mazorca estadísticamente iguales que los 15 híbridos más sobresalientes. El subconjunto de genotipos integrado por los cinco híbridos trilineales y por los dos probadores, con las mayores producciones de mazorca, constituyen el material genético más sobresaliente, para emplearse en un nuevo programa de mejoramiento genético, y generar tecnología de producción o para recomendación en siembra comercial en esta región de México.

Palabras clave: *Zea mays* L., híbridos de tres líneas, métodos multivariados, producción de mazorca, Valles Altos.

INTRODUCCIÓN

En México existe un potencial para maíz (*Zea mays* L.) de 3 millones de hectáreas en Valles Altos centrales de los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala (Eagles y Lothrop, 1994); en el año 2008 se sembró más de ocho millones de hectáreas, de las cuales se obtuvieron más de 26 millones de toneladas de maíz, con un promedio de 3.2 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2008). El mejoramiento genético de maíz para esta región de México, ha centrado su atención en la obtención de híbridos formados con líneas derivadas de poblaciones nativas sobresalientes o de variantes intermedias entre las razas Cónico y Chalqueño, como Mich-21, Qro-10, Tlax-151, Tlax-208, Mex-37, Mex-39, Hgo-4, Hgo-7, Puebla-75 y Chapingo II (Gámez *et al.*, 1996).

Los factores que limitan la producción de maíz, propios de estas zonas, son las temperaturas bajas y las precipitaciones escasas, por lo que los genotipos a cultivarse deben tener características favorables que superen estos problemas; además, debe usarse una técnica apropiada para la producción de híbridos (Beck, 2001; Nava *et al.*, 2002).

Para esta región actualmente podrían detectarse nuevos híbridos con mayores rendimientos debido a una mayor heterosis interracial, mejor tolerancia al acame de raíz, mayor resistencia a enfermedades y madurez precoz, entre otras. En teoría los híbridos de dos líneas son más

genotipo 27 was the most stable over the ten contrasting environments. The best testers were identified by codes 35 and 36 [CMS 989 001 (P3) and CMS 989 003 (P4)], both with 9.3 t ha⁻¹. The best trilinear hybrid control was identified with the key 39 and, the origin CMT 089,005, with 8.5 t ha⁻¹. The best control and, the best testing had ear yields statistically identical as the 15 most outstanding hybrids. The subgroup of genotypes composed of the five trilinear hybrid and, the two testers, with the largest ear productions, are the most prominent genetic material for use in a new breeding program, and generate production technology or planting recommendation trade in this region of Mexico.

Key words: *Zea mays* L., ear cob's production, High Valleys, hybrids of three lines, multivariate methods.

INTRODUCTION

In Mexico there is a potential for maize (*Zea mays* L.) of 3 million hectares in the Central Valleys of the States of Hidalgo, Mexico, Puebla and Tlaxcala (Eagles and Lothrop, 1994); in 2008, it was planted more than eight million hectares, obtaining more than 26 million tonnes of maize, with an average of 3.2 t ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2008). Genetic improvement of maize for this region of Mexico has been focused on obtaining hybrids formed with lines derived from outstanding native populations or intermediate variants between races: Chalqueño and Cónico as Mich-21, Querétaro-10, Tlaxcala 151, Tlaxcala-208, CA-37, CA-39, Hidalgo-4, Hidalgo-7, Puebla-75 and Chapingo II (Gámez *et al.*, 1996).

The factors that limit the typical maize production of these areas are low temperatures and low rainfall, so, the genotypes to be grown should have favorable characteristics to overcome these problems; also, an appropriate technique for the production of hybrid must be used (Beck, 2001; Nava *et al.*, 2002).

Currently for this region, it could be detected new hybrids with higher yields due to the increased interracial heterosis, improved root lodging tolerance, increased disease resistance and early maturity, among others. In theory, the two-line hybrids are more productive than those with three lines but, the first ones have a higher genotype*environment interaction, for this reason, they are not recommended for

productivos que los de tres, pero los primeros presentan mayor interacción genotipo*ambiente, por lo que no son recomendables comercialmente debido que también su producción de semilla es más costosa. No obstante, los híbridos que son considerados en el presente estudio no están documentados en la literatura especializada, de ahí la importancia de la presente investigación (Vasal y Córdoba, 1996; Torres, 2008).

Los Valles Altos de la Mesa central de México se ubican entre las altitudes de 2 200 y 2 600 m. En ésta área ecológica se cultivan casi 700 000 ha de maíz con riego y temporal favorable (700 a 800 mm anuales), con rendimiento de grano de 3.5 t ha⁻¹. Así, se ha considerado que es factible incrementar el rendimiento en esta región, sembrando híbridos trilineales de mayor producción y estabilidad y con características agronómicas que les otorguen eficiencia en el uso de fertilizantes y del agua en altas densidades de población (Velásquez *et al.*, 2009).

Por lo anterior el objetivo de este estudio fue evaluar 32 híbridos trilineales, cuatro cruza simples (probadores) y cuatro testigos en diez ambientes de los Valles Altos del centro de México, con el propósito de identificar genotipos sobresalientes para iniciar un nuevo programa de mejoramiento, para generar tecnología o para recomendación comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de los experimentos

Este estudio se realizó en el año 2009 en diez ambientes de los Valles Altos del centro de México: ocho de éstos se establecieron bajo condiciones normales (ciclo primavera-verano), uno con bajo nitrógeno (ciclo primavera-verano) y otro con sequía (ciclo otoño-primavera). En la estación experimental del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ubicada en el Batán, municipio de Texcoco, Estado de México, se establecieron cuatro ensayos en las siguientes modalidades: siembra temprana convencional (Batán+), agricultura de conservación (Batán AC), baja fertilidad (Batán-) y siembra tardía (Batán T).

Los seis ensayos restantes se establecieron en Tlahuelilpan, Tlaxcoapan y Atitalaquia, tres localidades del estado de Hidalgo, en Tlaltizapan, estado de Morelos (sequía),

commercial seed production since its production is quite more expensive. However, hybrids that are considered in this study are not documented in the cited literature, hence the importance of this research (Vasal and Córdoba, 1996; Torres, 2008).

The High Valleys of the Central Plateau of Mexico are between elevations of 2 200 and 2 600 m. In this ecological area are grown almost 700 000 ha of irrigated maize and favorable time (700 to 800 mm) with grain yield of 3.5 t ha⁻¹. Thus, we have considered it feasible to increase the yield in this region, sowing trilinear hybrid with major yields and stability, with agronomic characteristics that give them efficient use of fertilizers and water at high population densities (Velásquez *et al.*, 2009).

Therefore, the aim of this study was to evaluate 32 trilinear hybrids, four single crosses (testers) and four controls in ten environments of the High Valleys of Central Mexico, with the aim to identifying the outstanding genotypes to start a new breeding program in order to generate commercial technology or recommendation.

MATERIALS AND METHODS

Location of experiments

This study was conducted in 2009 in ten environments of the Central Valleys of Mexico: eight of these were established under regular conditions (Spring-Summer), one with low nitrogen (Spring-Summer) and one with drought (Autumn-Spring). In the experimental station of the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) located in El Batán, Texcoco, Mexico State, four trials were established in the following ways: conventional early planting (Batán +), conservation agriculture (Batán AC), low fertility (Batán -) and late planting (Batán T).

The remaining six trials were established in Tlahuelilpan, Atitalaquia Tlaxcoapan and in three locations in the State of Hidalgo, in Tlaltizapan, Morelos (drought) in Juárez Almoloya Rancho Arroyo Research and Training Institute for Agriculture, Aquaculture and Forestry of the State of Mexico (ICAMEX) and Calimaya Seed Growers Association (Aspros), both of them municipalities of Mexico State. The Table 1 describes the 10 environments,

en Almoloya de Juárez Rancho Arroyo del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México, (ICAMEX) y en Calimaya Asociación de Productores de Semilla, (ASPROS), ambos municipios del Estado de México. En el Cuadro 1 se describen los 10 ambientes, considerando la institución donde se establecieron los experimentos, las condiciones de siembra, la altitud, la temperatura promedio, la precipitación pluvial anual y su localización geográfica.

considering the institution where the experiments were established, planting conditions, elevation, average temperature, annual rainfall and geographical location.

Genetic material

The 40 genotypes were considered advisable for planting maize in the States of Hidalgo, Mexico, Puebla and Tlaxcala, in localities with elevations from 1 800 to 2 700 m. The

Cuadro 1. Descripción de los diez ambientes de Valles Altos del Centro de México, donde se evaluaron los 40 genotipos de maíz 2009.

Table 1. Description of the ten environments in the High Valleys of Central Mexico, where the 40 maize genotypes were evaluated 2009.

Ambientes	Institución	Código	Altitud, temperatura y precipitación	Localización geográfica
El Batán, Texcoco	CIMMYT	Siembra temprana convencional (Batán + = Loc1)	2 240 m, 17.5 °C, 580.9 mm	19° 31' latitud norte, 98° 54' longitud oeste
El Batán, Texcoco	CIMMYT	Agricultura de conservación (Batán AC = Loc2)	2 240 m, 17.5 °C, 580.9 mm	19° 31' latitud norte, 98° 54' longitud oeste
Tlaltizapan, Morelos	CIMMYT	Seqüía= Loc3	940 m, 20 °C, 100 mm	18° 41' latitud norte, 99° 07' longitud oeste
El Batán, Texcoco	CIMMYT	Baja fertilidad (Batán - = Loc4)	2 240 m, 17.5 °C, 580.9 mm	19° 31' latitud norte, 98° 54' longitud oeste
Tlahuelilpan, Hidalgo	Semillas Azteca	Loc5	2 030 m, 19 °C, 750 mm	20° 07' latitud norte, 99° 13' longitud oeste
Tlaxcoapan, Hidalgo	Semillas Azteca	Loc6	2 070 m, 19 °C, 730 mm	20° 05' latitud norte, 99° 46' longitud oeste
El Batán, Texcoco	CIMMYT	Siembra tardía (Batán T = Loc7)	2 240 m, 17.5 °C, 580.9 mm	19° 31' latitud norte, 98° 54' longitud oeste
Atitalaquia, Hidalgo	Semillas Azteca	Loc8	2 070 m, 19 °C, 730 mm	20° 05' latitud norte, 99° 46' longitud oeste
Almoloya de Juárez, México	ICAMEX	Arroyo = Loc9	2 650 m, 15 °C, 850 mm	19° 21' latitud norte, 99° 46' longitud oeste
Calimaya, México	ASPROS	Aspros = Loc10	2 670 m, 15 °C, 750 mm	19° 00' latitud norte, 100° 00' longitud oeste

García (1988).

Material genético

Se consideraron 40 genotipos de maíz recomendables para siembra en los estados de Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala, en localidades con altitudes desde 1 800 hasta 2 700 m. En el Cuadro 2 se muestra el origen de las ocho líneas de los progenitor macho proporcionados por ICAMEX, CIMMYT, Semillas Berentsen (SB) y por la Universidad Autónoma Chapingo (UACH). En el Cuadro 3 se indican los 32 híbridos trilineales, los cuatro probadores y cuatro testigos (híbridos trilineales de CIMMYT) evaluados en los diez ensayos.

Table 2 shows the origin of the eight lines of the male parent provided by ICAMEX, CIMMYT, Semillas Berentsen (SB) and the University of Chapingo (UACH). The Table 3 shows the 32 trilinear hybrids, the four testers and four controls (CIMMYT hybrid trilinear) evaluated in the ten trials.

Design and experimental plot size

The 40 genotypes of maize in this study, considered as treatments were evaluated in an experimental design 8*5 alpha lattice, using two replications per environment. The

Cuadro 2. Progenitores macho empleados en la formación de los 32 híbridos trilineales de maíz.

Table 2. Male parents used in the formation of the 32 trilinear maize hybrids.

Línea	Código	Institución
1	IML-2	ICAMEX
2	IML-6	ICAMEX
3	SB1	SB
4	Tuxpeño Crema 1	UACH
5	México gpo. 10	UACH
6	BPVC 236 S12	CIMMYT
7	CML459	CIMMYT
8	(CML356/GWIB)S8	CIMMYT

analysis of data through the ten environments was done as a series of experiments in time and space. Every experimental useful plot consisted of a furrow with 5 m in length with a distance between rows of 0.76 m. The plants within each plot were spaced at 16.5 cm.

Agronomic management trials

In all four experiments established at the CIMMYT experimental station, located in El Batán, Mexico State, as well as in the CIMMYT experimental station located in Tlaltizapan, Morelos State, the soil preparation was done with a tractor and consisted of a fallow, a cross and a drag. In Batán (+), crossed by the treatment was fertilized

Cuadro 3. Material genético evaluado en el presente estudio.

Table 3. Evaluated genetic material in this study.

Tratamientos	Genotipos	Genealogía
1	Híbrido Trilineal-1	CMS 9790129//IML-2
2	Híbrido Trilineal-2	CMS 9790129//IML-6
3	Híbrido Trilineal-3	CMS 9790129//SB1
4	Híbrido Trilineal-4	CMS 9790129//Tuxpeño Crema 1
5	Híbrido Trilineal-5	CMS 9790129//México gpo. 10
6	Híbrido Trilineal-6	CMS 9790129//BPVC 236 S12
7	Híbrido Trilineal-7	CMS 9790129//CML459
8	Híbrido Trilineal-8	CMS 9790129//(CML356/GWIB)S8
9	Híbrido Trilineal-9	CMS 9790107//IML-2
10	Híbrido Trilineal-10	CMS 9790107//IML-6
11	Híbrido Trilineal-11	CMS 9790107//SB1
12	Híbrido Trilineal-12	CMS 9790107//Tuxpeño Crema 1
13	Híbrido Trilineal-13	CMS 9790107//México gpo. 10
14	Híbrido Trilineal-14	CMS 9790107//B.P.V.C. 236 S12
15	Híbrido Trilineal-15	CMS 9790107//CML459
16	Híbrido Trilineal-16	CMS 9790107//(CML356/GWIB)S8
17	Híbrido Trilineal-17	CMS 989001//IML-2
18	Híbrido Trilineal-18	CMS 989001//IML-6
19	Híbrido Trilineal-19	CMS 989001//SB1
20	Híbrido Trilineal-20	CMS 989001//Tuxpeño Crema 1
21	Híbrido Trilineal-21	CMS 989001//México gpo. 10
22	Híbrido Trilineal-22	CMS 989001//BPVC 236 S12
23	Híbrido Trilineal-23	CMS 989001//CML459
24	Híbrido Trilineal-24	CMS 989001//(CML356/GWIB)S8
25	Híbrido Trilineal-25	CMS 989003//IML-2
26	Híbrido Trilineal-26	CMS 989003//IML-6
27	Híbrido Trilineal-27	CMS 989003//SB1
28	Híbrido Trilineal-28	CMS 989003//Tuxpeño Crema 1

Cuadro 3. Material genético evaluado en el presente estudio (Continuación).
Table 3. Evaluated genetic material in this study (Continuation).

Tratamientos	Genotipos	Genealogía
29	Híbrido Trilineal-29	CMS 989003//México gpo. 10
30	Híbrido Trilineal-30	CMS 989003//BPVC 236 S12
31	Híbrido Trilineal-31	CMS 989003//CML459
32	Híbrido Trilineal-32	CMS 989003//(CML356/GWIB)S8
33	Probador 1 (Cruza simple)	CMS 9790129
34	Probador 2 (Cruza simple)	CMS 9790107
35	Probador 3 (Cruza simple)	CMS 989001
36	Probador 4 (Cruza simple)	CMS 989003
37	Hibrido trilineal de CIMMYT (Testigo 1)	CMT 089001
38	Hibrido trilineal de CIMMYT (Testigo 2)	CMT 089003
39	Hibrido trilineal de CIMMYT (Testigo 3)	CMT 089005
40	Hibrido trilineal de CIMMYT (Testigo 4)	CMT 089007

Diseño y tamaño de la parcela experimental

Los 40 genotipos de maíz, considerados en este estudio como tratamientos, fueron evaluados en un diseño experimental alpha látice 8*5, empleando dos repeticiones por ambiente. El análisis de los datos a través de los diez ambientes se hizo como una serie de experimentos en tiempo y espacio. Cada parcela experimental útil constó de un surco de 5 m de longitud y la distancia entre surcos fue de 0.76 m. Las plantas dentro de cada parcela estuvieron separadas a 16.5 cm.

Manejo agronómico de los ensayos

En los cuatro experimentos establecidos en la estación experimental del CIMMYT, situada en El Batán, Estado de México, así como en la estación experimental del CIMMYT localizada en Tlaltizapan, estado de Morelos, la preparación del suelo se hizo con tractor y consistió en un barbecho, una cruza y una rastra. En Batán (+), antes del surcado se fertilizó con el tratamiento 150N-60P-00K; 50% del nitrógeno y 100% del fósforo se depositaron en la siembra y el otro 50% del nitrógeno se aplicó cuando las plantas tenían una altura de 30 cm. En Batán (-) no se aplicaron fertilizantes. En los cinco ambientes restantes también se empleo tractor y se efectuaron las mismas prácticas culturales, pero en Tlaxcoapan, Hidalgo, se aplicó el tratamiento 70N-70P-30K, debido que el riego se realiza con aguas negras (ricas en materia orgánica); en el resto de los ambientes se empleó la fórmula 120N-80P-00K, fraccionada en dos fechas de aplicación: en la siembra y en la primera escarda.

with 150N-60P-00K, 50% of nitrogen and 100% of the phosphorus is deposited in the planting and, 50% of the nitrogen was applied when the plants had a height of 30 cm. In Batán (-), we did not apply fertilizer. In the five remaining environments we also used a tractor and made the same cultural practices but, Tlaxcoapan, Hidalgo, the treatment was applied 70N-70P-30K, because the irrigation is done with sludge (rich in organic matter), in the rest of the rooms was used 120N-80P formula-00K, fractionated on two dates of application: in the first planting and weeding.

In the ten environments, it was considered a population density of 80 000 plants ha⁻¹. Weed control was mechanical, manual and chemical; in the latter were applied post-emergence gesaprim in size 90 and hierbamina in doses of 1 kg ha⁻¹ and 1 L ha⁻¹, respectively. Manual harvesting of genetic material was made after physiological maturity.

Variables recorded

The variables recorded in the 10 trials were male and female flowering (days), plant height and ear (cm), root and stalk lodging (%), pod rot (%), pod yield (t ha⁻¹) with standardized to 15% moisture in all genotypes, an aspect of the ear (scale of 1 to 5), incidence of rust (scale of 1 to 5) and presence of *Helminthosporium turcicum* (scale of 1 to 5). In the drought experiment took notes of senescence and chlorophyll content (SPAD), which can be used to select the best genotypes in stress conditions. All variables were recorded as suggested in the instructions developed by CIMMYT (1985).

En los diez ambientes se consideró una densidad de población de 80 000 plantas ha⁻¹. El control de maleza fue mecánico, manual y químico, en este último en post emergencia se aplicaron gesaprim calibre 90 y hierbamina, en dosis de 1 kg ha⁻¹ y 1 L ha⁻¹, respectivamente. La cosecha manual del material genético se efectuó después de la madurez fisiológica.

Variables registradas

Las variables que se registraron en los 10 ensayos fueron floración masculina y femenina (días), alturas de planta y de mazorca (cm), acame de raíz y tallo (%), pudrición en mazorca (%), rendimiento de mazorca (t ha⁻¹) con humedad estandarizada al 15% en todos los genotipos, aspecto de la mazorca (escala de 1 al 5), incidencia de roya (escala de 1 al 5) y presencia de *Helminthosporium turcicum* (escala de 1 al 5). En el experimento de sequía se tomaron notas de senescencia y contenido de clorofila (Spad), las cuales pueden servir para seleccionar a los mejores genotipos en condiciones de estrés. Todas las variables fueron registradas como se sugiere en el instructivo elaborado por el CIMMYT (1985).

Análisis estadístico

Los datos provenientes de los diez ensayos fueron sometidos a un análisis de varianza combinado y las salidas de la computadora correspondieron a un modelo de efectos mixto, donde los ambientes y la interacción G*A se consideraron como efectos aleatorios y los genotipos de maíz como efectos fijos. La heredabilidad en sentido amplio (H²), se consideró como un estimador de la variabilidad genética entre genotipos de maíz y se calculó a partir de la esperanza matemática de los cuadrados medios del análisis de varianza combinado (González *et al.*, 2006). Se utilizó el programa sistema para análisis estadístico (Statistical Analysis System, SAS) versión 9.1. También se hizo la comparación de medias entre genotipos con la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS) al nivel de significancia del 5%.

Para representar simultáneamente en el biplot los efectos de los ambientes y de los genotipos se usó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI Model), descrito por Vargas y Crossa (2000). En el eje x se representó el rendimiento de mazorca promedio correspondiente a los 40 genotipos de maíz y al de los diez ambientes, y en el eje y se consideraron los valores de la componente principal 1 (interacción G*A). Para representar simultáneamente en el biplot las interrelaciones entre los 40

Statistical analysis

Data from the ten trials were subjected to a combined analysis of variance and, the computer outputs corresponded to a mixed effects model, where the environment and the interaction G*E were considered as random effects and genotypes of maize and effects fixed. The broad-sense heritability (H²) was considered as an estimator of genetic variability among genotypes of maize and is calculated from the expected mean square of the combined analysis of variance (González *et al.*, 2006). The Statistical Analysis System was used (SAS) version 9.1. It was also the comparison of means between genotypes with the test of least significant difference (LSD) at the level of significance of 5%.

In order to simultaneously represent in the biplot the effects of environments and genotypes, it was used the model of additive main effects and multiplicative interaction (AMMI Model), described by Vargas and Crossa (2000). In the x-axis, the average cob's yield for the 40 genotypes of maize and the ten environments and, the y-axis values were considered the main component 1 (G*E interaction). For simultaneously representing the biplot on the interrelationships among the 40 genotypes of maize and 11 variables evaluated in the ten trials, we used the multivariate technique described by Sánchez (1995).

In the main component's analysis before applying the method of singular value decomposition, a standardization of the data contained in the matrix of rows (genotypes) and columns (variables) was performed, a technique also known as variable genotype analysis (González *et al.*, 2007). For the cluster analysis, the heritabilities of each variable was used and then, calculated the genetic correlations and, the dendrogram was drawn for the localities, with the simple unweighted chaining method that uses Euclidean distances (Cooper *et al.*, 1996).

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of variance

In this study we found that, the effects across the environments (E), genotypes (G) and G*E interaction were highly significant ($p < 0.01$) for all variables (Table 4). These results indicated that, the heterogeneous conditions

genotipos de maíz y las 11 variables evaluadas en los diez ensayos, se empleó la técnica multivariada descrita por Sánchez (1995).

En el análisis de componentes principales, antes de aplicar el método de descomposición de valores singulares, se hizo una estandarización de los datos contenidos en la matriz de hileras (genotipos) y columnas (variables); esta técnica también se conoce como análisis genotipo*variable (González *et al.*, 2007). Para el análisis de conglomerados se usaron las heredabilidades de cada variable y después se calcularon las correlaciones genéticas y se elaboró el dendograma para las localidades, con el método de encadenamiento simple no ponderado que emplea distancias euclidianas (Cooper *et al.*, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

En este estudio se detectó que los efectos entre ambientes (A), entre genotipos (G) y en la interacción G*A fueron altamente significativos ($p < 0.01$), para todas las variables evaluadas (Cuadro 4). Estos resultados indican que existieron condiciones heterogéneas entre al menos dos de los diez ambientes de los Valles Altos del centro de México, y podrían estar relacionadas con dos grandes grupos: Tlaltizapan, Morelos y el resto de los ambientes que difieren notablemente en precipitación pluvial, temperaturas, altitud, y localización geográfica, principalmente (García, 1988). Estos resultados también sugieren que existe variabilidad genética que podría ser útil en un nuevo programa de fitomejoramiento, para generar o validar tecnología o para recomendación en siembra comercial.

exist between at least two out of the ten environments of the Central High Valleys of Mexico and, could be related to both of the main groups: Tlaltizapan, Morelos and other environments that differ markedly in rainfall, temperature, elevation, and geographical location, mainly (García, 1988). These results also suggest that there is genetic variability that could be useful in a new breeding program to generate or validate recommendation technology or commercial planting.

The variability among genotypes for the evaluated variables, estimated in this study through the broad-sense heritability, was in the range of 0.27 (*Helminthosporium*) to 0.93 (male flowering). The significant G*E interaction was observed for cob yield and its yield components indicates that it is difficult to identify genotypes with wide adaptability and, it would be more convenient to emphasize the detection of trilinear maize hybrids' specific adaptation but, with the best yield in both, favorable and unfavorable environments.

For the Toluca-Atlacomulco Valley in the State of Mexico, Morales *et al.* (2005); González *et al.* (2009) found heterogeneity among four environments when evaluating the yield and its components in 25 varieties and hybrids, due to differences in rainfall, temperatures and soil types. García (1988) indicated that, the differentiation between this Valley and El Batán in the State of Mexico and from the States of Tlaxcala, Hidalgo and Morelos, are associated with specific geographical location and with the elevation, rainfall, temperature, and with the predominant soil types and vegetation.

Comparison of means between genotypes

The trilinear hybrid identified with code 20 (CMS989001// Tuxpeño Crema 1) had the highest cob yield (9.4 t ha⁻¹), but its production was statistically equal to the genotypes

Cuadro 4. Significancia estadística de los valores de F y estimaciones de heredabilidad en sentido amplio (H²) correspondientes al análisis de varianza combinado.

Table 4. Statistical significance of F values and estimates of broad sense heritability (H²) for the combined analysis of variance.

FV	GL	RG	FM	FF	AP	AM	ASM	PM	ASP	R	H	A
Ambientes (A)	9	529.4*	7762.1**	6421.9**	12611**	12412**	5.6**	3035**	5.6**	21.5**	30.6**	1587.9**
Genotipos (G)	39	12.3**	99.9**	97.3**	1311**	1254**	1.3**	122**	0.7**	0.5**	0.4**	47.2**
Interacción G*A	351	1.97**	3.5**	2.5**	195**	187**	0.6**	60**	0.5**	0.3**	0.3**	30.9**
H ²		0.9	0.93	0.9	0.88	0.86	0.53	0.64	0.4	0.48	0.27	0.63

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; RG= rendimiento de mazorca; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; ASM= aspecto de mazorca; PM= pudrición de mazorca; ASP= aspecto de planta; R= roya; H= *helminthosporium*; A= acame de tallo y raíz.

La variabilidad entre genotipos para las variables evaluadas, estimada en el presente estudio a través de la heredabilidad en sentido amplio, quedó comprendida en el intervalo de 0.27 (*Helminthosporium*) a 0.93 (floración masculina). La interacción G*A significativa que se observó para el rendimiento de mazorca y para sus componentes del rendimiento, indica que es difícil identificar genotipos con amplia adaptabilidad, por lo que sería más conveniente dar énfasis a la detección de híbridos trilineales de maíz con adaptación específica, pero con el mejor comportamiento tanto en ambientes favorables como no favorables.

Para el Valle Toluca-Atlacomulco en el Estado de México Morales *et al.* (2005); González *et al.* (2009), detectaron heterogeneidad entre cuatro ambientes cuando evaluaron el rendimiento de grano y los componentes del rendimiento en 25 variedades e híbridos de maíz, debido a diferencias en precipitación pluvial, temperaturas y tipos de suelos. García (1988) indicó que la diferenciación entre las localidades de este Valle y el Batán en el Estado de México y de las correspondientes a los estados de Tlaxcala, Hidalgo y Morelos, están asociadas a su ubicación geográfica y específicamente, con la altitud, precipitación pluvial, temperaturas, y con los tipos de suelos y vegetación predominantes.

Comparación de medias entre genotipos

El híbrido trilineal identificado con el código 20 (CMS989001//TUXPEÑO CREMA 1), tuvo el mayor rendimiento de mazorca (9.4 t ha⁻¹), pero su producción fue estadísticamente igual a los genotipos identificados como 35, 21, 27, 36, 28, 29, 19, 3, 34, 2, 5, 33, 39, 4, 18 y 17, con medias desde 8.4 hasta 9.3 t ha⁻¹ (Cuadro 5). Este subconjunto de genotipos representa la porción más sobresaliente para propósitos de fitomejoramiento, generación de tecnología o para recomendación comercial para esta región de México. No obstante, la presencia de los cuatro probadores del CIMMYT en este subconjunto, así como los híbridos de cruce simple empleados como hembras e identificados como 35(CMS989001), 36(CMS989003), 34(CMS9790107) y 33(CMS9790129), sugiere que para rendimiento de mazorca existió poca variación en los híbridos trilineales.

De los 17 genotipos con la mayor producción de mazorca (Cuadro 5) los identificados como 35, 5, 33 y 17, fueron estadísticamente iguales y también se clasificaron como precoces (83 y 84 días a floración masculina y 84 y 85 días a floración femenina). El genotipo 20 y este grupo fueron

identificados as 35, 21, 27, 36, 28, 29, 19, 3, 34, 2, 5, 33, 39, 4, 18 and 17, averaging from 8.4 to 9.3 t ha⁻¹ (Table 5). This subset of genotypes represents the portion outstanding for breeding purposes, generation of technology or business recommendation for this region of Mexico. However, the presence of the four CIMMYT testers in this subset, as well as single-cross hybrids used as females are identified as 35(CMS989001), 36(CMS989003), 34(CMS9790107) and 33(CMS9790129) suggests that for ear yield there was little variation in the trilinear hybrid.

Out of the 17 genotypes with the highest production of cobs (Table 5) those identified as 35, 5, 33 and 17, were statistically similar and were classified as early (83 and 84 days to flowering and 85 male and 84 female flowering days). The genotype 20 and this group were statistically different (Table 5). Precocity is a very desirable feature in the new varieties of maize, because in the High Valleys of Central Mexico there are frequent frosts at the beginning (March-April) or at the end of the growing season (September-October) (González and Larios, 1993; González *et al.*, 2009).

The hybrid 20 (9.4 t ha⁻¹) had a mean plant height of 241 cm and differed statistically from the genotypes 35 (222 cm), 36 (232 cm), 19 (232 cm) and 34 (232 cm); regarding the height of the ear, this and 11 of the genotypes with increased production of cob, differed significantly (from 106 to 125 cm). In this region of Mexico, in landraces there is a close relationship between these variables and, the stem and root lodging, higher dimensions of the largest lodging facility, therefore, increased production of ear and lower production of grain (González *et al.*, 2009).

In the present study, the 17 genotypes with increased production of cob also had desirable characteristics in appearance of the ear (2.1 to 2.8), with respect of the plant (1.7 to 2.6) and tolerance to rust (1.2 to 2) and *Helminthosporium* (1.6 to 2.1). In ear rot, stem and root lodging were both tolerant genotypes as susceptible (4.5 to 12% and 0.6 to 7.8%, respectively). In relation to the ear rot and rust; the most outstanding hybrid RG (code 20), only differ statistically from genotype 2, 18 and 36, respectively (Table 5).

The tolerance and disease resistance is mainly related to the breeding type, variety and quality of the environment, where the evaluated genotypes with the interaction G*E and, the agronomic crop management (Morán *et al.*, 1993). González

estadísticamente diferentes (Cuadro 5). La precocidad es una característica muy deseable en las nuevas variedades de maíz, debido a que en los Valles Altos del centro de México son muy frecuentes las heladas al inicio (marzo-abril) o al final del ciclo de cultivo (septiembre-octubre) (González y Larios 1993; González *et al.*, 2009).

et al. (2007) observed that in the Valley of Toluca, Mexico State, the cob rot in varieties was of 9%, while the hybrids of three and four lines only 4%, they also concluded that, the causal agents of the ear rot were *Fusarium oxisporium*, *Fusarium moniliforme*, *Fusarium poae* and *Fusarium graminearum*.

Cuadro 5. Comparación de medias de once variables entre genotipos de maíz (promedio sobre ambientes y repeticiones).
Table 5. Comparison of means of eleven variables among genotypes of maize (averaged over environments and replicates).

Núm.	Genealogía	RG	FM	FF	AP	AM	ASM	PM	ASP	R	H	A
20	CMS 989001// Tuxpeño Crema 1	9.4	88	90	241	136	2.4	11.6	2.4	1.7	2	4.7
35	CMS 989001 (P3)	9.3	85	86	222	106	2.1	9.8	1.7	1.4	1.8	1
21	CMS 989001// Mexico gpo. 10	9.3	87	88	248	134	2.3	9.6	2.6	1.3	1.7	7.8
27	CMS 989003// SB1	9.3	89	92	238	125	2.1	6.3	2	1.4	1.8	0.6
36	CMS 989003 (P4)	9.3	86	88	232	119	2.1	6.3	1.8	1.2	1.7	2.1
28	CMS 989003// Tuxpeño Crema 1	9.3	89	89	239	133	2.3	6.9	2.4	1.7	1.9	4.8
29	CMS 989003// Mexico gpo. 10	9.1	88	86	244	135	2.1	6.4	2	1.4	1.6	3.8
19	CMS 989001// SB1	8.9	89	91	232	119	2.7	10.8	2.2	1.3	1.6	2.7
3	CMS 9790129// SB1	8.9	86	88	235	120	2.3	6.5	2.1	1.4	1.6	1.1
34	CMS 9790107 9 (P2)	8.8	83	84	232	115	2.5	10.7	1.9	1.3	1.8	0.8
2	CMS 9790129// IML-6	8.7	85	86	238	119	2.4	4.6	1.9	1.7	1.8	1.3
5	CMS 9790129// Mexico gpo. 10	8.7	84	84	245	128	2.6	12	2.3	1.4	2.1	5.9
33	CMS 9790129 (P1)	8.7	84	85	238	123	2.5	5.8	2.1	1.3	1.8	1.1
39	CMT 089005	8.5	88	88	236	121	2.3	8.3	2.4	1.5	1.9	2.9
4	CMS 9790129// Tuxpeño Crema 1	8.4	85	88	245	137	2.6	9.3	2.2	2.0	2.1	2.9
18	CMS 989001// IML-6	8.4	86	88	236	125	2.3	4.5	2.2	1.5	1.7	2.2
17	CMS 989001// IML-2	8.4	83	85	233	120	2.8	8.1	2	1.3	1.9	2
11	CMS 9790107// SB1	8.3	87	88	229	113	2.3	8.9	2	1.4	1.9	0.5
12	CMS 9790107// Tuxpeño Crema 1	8.2	86	88	246	140	2.7	10.7	2.4	1.9	2.1	4.5
13	CMS 9790107// Mexico gpo. 10	8.2	84	85	249	132	2.6	7.8	2.2	1.5	1.9	4.1
37	CMT 089001	8.1	84	85	236	124	2.1	4.5	2.1	1.9	2.3	2.6
30	CMS 989003// BPVC 236 S12	7.9	86	87	237	126	2.4	4.8	2.1	1.5	1.7	2.8
22	CMS 989001// BPVC 236 S12	7.9	85	86	227	125	2.5	9	2.1	1.5	2.3	1.9
23	CMS 989001// CML459	7.8	88	88	225	119	2.5	4	2.2	1.2	1.7	1.1
25	CMS 989003// IML-2	7.8	83	85	247	132	2.6	10.6	2.2	1.3	2	5.4
24	CMS 989001// (CML356/GWIB)S8	7.6	84	86	227	118	2.5	11.4	2.4	1.7	1.7	4.2
38	CMT 089003	7.5	83	84	229	113	2.6	6.9	2	1.8	1.9	2.9
1	CMS 9790129// IML-2	7.4	80	82	237	125	2.9	10.7	2.5	1.4	2	5.7
9	CMS 9790107// IML-2	7.2	82	83	225	118	2.5	11.7	2.4	1.4	1.9	3.3
31	CMS 989003// CML459	7.1	89	88	225	113	2.8	5.2	2.2	1.2	1.6	2
7	CMS 9790129// CML459	7	86	86	226	116	2.6	9.1	2.1	1.5	1.8	4
16	CMS 9790107// (CML356/GWIB)S8	6.9	82	84	230	118	2.9	12.2	2.3	1.9	1.9	3.2
32	CMS 989003// (CML356/GWIB)S8	6.9	85	87	226	114	2.7	7	2.1	1.5	1.9	3.8

RG= rendimiento de mazorca (t ha⁻¹); FM= días a floración masculina; FF= días a floración femenina; AP= altura de planta (cm); AM= altura de mazorca (cm); ASM= aspecto de la mazorca (escala de 1 a 5); PM= pudrición de mazorca (%); ASP= aspecto de la planta (escala de 1 a 5); R= roya (escala de 1 a 5); H= helminthosporium (escala de 1 a 5); A= acame de raíz y tallo (%).

Cuadro 5. Comparación de medias de once variables entre genotipos de maíz (promedio sobre ambientes y repeticiones) (Continuación).

Table 5. Comparison of means of eleven variables among genotypes of maize (averaged over environments and replicates) (Continuation).

Núm.	Genealogía	RG	FM	FF	AP	AM	ASM	PM	ASP	R	H	A
8	CMS 9790129// (CML356/GWIB)S8	6.8	82	83	232	120	2.7	10.1	2.4	1.6	1.9	3
6	CMS 9790129// B.P.V.C. 236 S12	6.8	84	84	225	117	2.6	9.9	1.9	1.8	2.2	2.5
26	CMS 989003// IML-6	6.7	87	88	233	125	2.5	4.1	2.1	1.4	1.9	1.6
40	CMT 089007	6.7	89	90	233	119	2.4	2.8	2.2	1.3	1.8	3.7
15	CMS 9790107// CML459	6.6	85	86	216	108	2.9	7.8	2.3	1.4	1.7	0.9
14	CMS 9790107// B.P.V.C. 236 S12	6.2	83	85	225	117	3	12.3	2.4	1.8	2	4
10	CMS 9790107// IML-6	5.3	85	86	234	122	3	10.9	2.4	1.6	1.7	1.3
	DMS (0.05)	1.11	1.71	2	9.22	8.91	0.48	5.39	0.4	0.44	0.54	4.21

RG= rendimiento de mazorca (t ha⁻¹); FM= días a floración masculina; FF= días a floración femenina; AP= altura de planta (cm); AM= altura de mazorca (cm); ASM= aspecto de la mazorca (escala de 1 a 5); PM= pudrición de mazorca (%); ASP= aspecto de la planta (escala de 1 a 5); R= roya (escala de 1 a 5); H= helminthosporium (escala de 1 a 5); A= acame de raíz y tallo (%).

El híbrido 20 (9.4 t ha⁻¹) tuvo una altura de planta promedio de 241 cm y difirió estadísticamente de los genotipos 35 (222 cm), 36 (232 cm), 19 (232 cm), y 34 (232 cm); con relación a la altura de la mazorca, éste y 11 de los genotipos con mayor producción de mazorca difirieron significativamente (de 106 a 125 cm). En esta región de México en las variedades criollas hay una relación estrecha entre ambas variables y el acame de tallo y raíz, a mayores dimensiones de la planta mayor acame; por lo tanto, mayor producción de mazorca y menor producción de grano (González *et al.*, 2009).

En el presente estudio, los 17 genotipos con la mayor producción de mazorca también tuvieron características deseables en aspecto de la mazorca (2.1 a 2.8), en aspecto de la planta (1.7 a 2.6) y en la tolerancia a roya (1.2 a 2) y Helminthosporium (1.6 a 2.1). En pudrición de mazorca, acame de tallo y raíz hubo genotipos tanto tolerantes como susceptibles (4.5 a 12% y 0.6 a 7.8%, respectivamente). Con relación a pudrición de mazorca y roya el híbrido más sobresaliente en RG (código 20), sólo difirió estadísticamente de los genotipos 2, 18 y 36, respectivamente (Cuadro 5).

La tolerancia y la resistencia a enfermedades está relacionada principalmente con el tipo de raza, variedad y calidad del ambiente donde se evalúan los genotipos, con la interacción G*A y con el manejo agronómico del cultivo (Morán *et al.* 1993). González *et al.* (2007) observaron que en el Valle de Toluca, estado de México la pudrición de mazorca en variedades fue de 9%, mientras que en híbridos de tres

Cluster analysis

In the Figure 1, two groups of environments were detected when considering an average distance of 0.22 units, in Group 1 identified four areas of Batán [conventional early planting (LOC1), conservation agriculture (LOC2) under nitrogen (Loc4) and late planting (Loc7)], State of Mexico, to both environments of the State of Hidalgo [Tlahuelilpan (Loc5) and Atitalaquia (Loc8)] and the Valley of Toluca, Mexico [Rancho Arroyo, municipality of Almoloya de Juárez (Loc9) and Calimaya (Aspros, Loc10)]. In group 2 were classified Tlaxcoapan locations in the State of Hidalgo (Loc6) and Tlaltizapan, in the State of Morelos (drought, Loc3).

These results are related to a geographic location, elevation, temperatures and rainfall prevailing in each locality and particularly with the differences between El Batán, Almoloya de Juárez and those of Tlaltizapan Calimaya, the three locations in the State of Mexico are between 2 240 and 2 670 meters and capture between 580 and 850 mm of rainfall, while Tlaltizapan is located at 940 meters and captured only 100 mm of rain annually (García, 1988). Tlaltizapan is an ideal location to evaluate and detect natural conditions, genotypes resistant and tolerant to environmental stresses such as drought. González *et al.* (2007) indicated that, the environmental heterogeneity that exists in the places that make the Valley of Toluca-Atlacomulco is mainly related to rainfall and soil types.

y cuatro líneas sólo 4%; ellos también concluyeron que los agentes causales de la pudrición de mazorca fueron *Fusarium oxysporium*, *Fusarium moniliforme*, *Fusarium graminearum* y *Fusarium poae*.

Análisis de conglomerados

En la Figura 1 se detectaron dos grupos de ambientes cuando se consideró una distancia promedio de 0.22 unidades; en el grupo 1 se identificó cuatro ambientes del Batán [siembra temprana convencional (Loc1), agricultura de conservación (Loc2), bajo nitrógeno (Loc4) y siembra tardía (Loc7)], Estado de México; a dos ambientes del estado de Hidalgo [Tlahuelilpan (Loc5) y Atitalaquia (Loc8)] y a los del Valle de Toluca, Estado de México [Rancho Arroyo, municipio de Almoloya de Juárez (Loc9) y Calimaya (ASPROS, Loc10)]. En el grupo 2 se clasificaron las localidades de Tlaxcoapan, en el estado de Hidalgo (Loc6) y Tlaltizapan, en el estado de Morelos (sequía, Loc3)].

Estos resultados están relacionados con la localización geográfica, con la altitud, con las temperaturas y con las precipitaciones pluviales predominantes en cada localidad y particularmente, con las diferencias que existen entre Batán, Almoloya de Juárez y Calimaya con las de Tlaltizapan; las tres localidades mexiquenses se sitúan entre 2240 y 2670 msnm y captan entre 580 y 850 mm de precipitación pluvial; mientras que Tlaltizapan se localiza a 940 msnm y sólo se captan 100 mm de lluvia anualmente (García, 1988). Tlaltizapan es una localidad ideal para evaluar y detectar en condiciones naturales, genotipos resistentes y tolerantes a ambientes de estrés, como sequía. González *et al.* (2007) indicaron que la heterogeneidad ambiental que existe en las localidades que conforman el Valle Toluca-Atlacomulco está relacionada principalmente con la precipitación pluvial y los tipos de suelo.

Modelo AMMI

La componente principal 1 explicó 33.7% de la variación original, que para la Figura 2 correspondió a la interacción entre los 40 genotipos y los diez ambientes. En esta Figura se detectaron tres grupos de ambientes. En el grupo 1 se identificó los sitios de mayor producción de mazorca (entre 9 y 10 t ha⁻¹), con promedios superiores a la media general y con interacción positiva con el CP1, como los ambientes identificados como Loc1 (Batán, siembra temprana convencional), Loc2 (Batán, agricultura de conservación) y Loc5 (Tlahuelilpan). En el grupo 2 se identificó a Loc1= Batán, siembra temprana convencional (Batán+); Loc2= Batán, siembra temprana convencional (Batán+); Loc3= Tlaltizapan, Morelos (drought); Loc4= Batán low fertility (Batán-); Loc5= Tlahuelilpan, Hidalgo Loc6= Tlaxcoapan, Hidalgo; Loc7 late planting= Batán (Batán T)= Atitalaquia Loc8, Hidalgo; Loc9= Rancho Arroyo, Almoloya de Juárez (ICAMEX) Loc10= Calimaya, State of Mexico (Aspros).

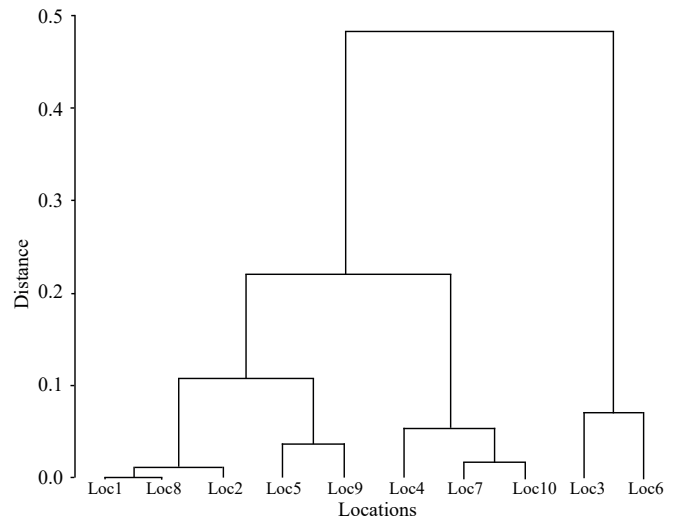


Figura 1. Agrupamiento de los diez ambientes de Valles Altos del Centro de México. Método de encadenamiento simple no ponderado.

Figure 1. Grouping the ten environments of the High Valleys of Central Mexico. Simple unweighted chaining method.

AMMI model

The main component 1 explained 33.7% of the original variation, as for the Figure 2 corresponded to the interaction between the 40 genotypes and, the ten environments. In this figure we detected three groups of settings. In group 1 the major production sites of cobs were identified (between 9 and 10 t ha⁻¹), with averages higher than the overall mean and positive interaction with the CP1, as the environments identified as LOC1 (Batán, early planting conventional) LOC2 (Batán, conservation agriculture) and Loc5 (Tlahuelilpan). In group 2 was identified LOC1= Batán, early planting conventional (Batán+); LOC2= Batán, conservation agriculture (Batán AC); Loc3= Tlaltizapan, Morelos (drought); Loc4= Batán low fertility (Batán-); Loc5= Tlahuelilpan, Hidalgo Loc6= Tlaxcoapan, Hidalgo; Loc7 late planting= Batán (Batán T)= Atitalaquia Loc8, Hidalgo; Loc9= Rancho Arroyo, Almoloya de Juárez (ICAMEX) Loc10= Calimaya, State of Mexico (Aspros).

Environments represented by Loc6 (Tlaxcoapan) Loc7 (Batán, late planting), Loc8 (Atitalaquia) Loc9 (Almoloya de Juárez) and Loc10 (Calimaya) Tlaxcoapan was the only environment with average yield and stability because it was located near the grand mean and had scores close to zero in the CP1 and, the other four areas had negative scores on PC1.

Batán, agricultura de conservación (Batán AC); Loc3= Tlaltizapan, Morelos (sequía); Loc4= Batán de baja fertilidad (Batán-); Loc5= Tlahuelilpan, Hidalgo; Loc6= Tlaxcoapan, Hidalgo; Loc7= Batán de siembra tardía (Batán T); Loc8= Atitalaquia, Hidalgo; Loc9= Rancho Arroyo, Almoloya de Juárez (ICAMEX), Loc10= Calimaya, Estado de México (ASPROS).

Ambientes representados por Loc6 (Tlaxcoapan), Loc7 (Batán, siembra tardía), Loc8 (Atitalaquia), Loc9 (Almoloya de Juárez) y Loc10 (Calimaya); Tlaxcoapan fue el único ambiente con rendimiento y estabilidad promedio, debido a que se localizó cerca de la gran media y tuvo puntuaciones cercanas a cero en la CP1 y los otros cuatro ambientes tuvieron puntuaciones negativas en la CP1. El grupo 3 estuvo conformado por Loc3 (Tlaltizapan, sequía) y Loc4 (Batán, bajo nitrógeno) que fueron los ambientes con rendimiento de mazorca inferiores a la gran media y con interacción negativa con la CP1.

En la Figura 2 también se detectó que los genotipos más sobresalientes en los tres ambientes más favorables (Grupo 1), fueron los que se identificaron como el material más promisorio en la comparación de medias de genotipos; en el modelo AMMI los genotipos más sobresalientes en Tlahuelilpan, Batán siembra temprana convencional y Batán agricultura de conservación fueron los identificados con los códigos 20, 21, 19 y 29, 18, 28, 5, 2 y 36, todos con rendimientos de mazorca superiores a la gran media. Otros genotipos estables fueron los identificados con los códigos 22, 23, 4, 3, 34, 27 y 35, que presentaron producciones de mazorca superiores a la gran media y puntuaciones cercanas a cero en la CP1.

Análisis genotipo*variable

Los componentes principales 1 (31.3%) y 2 (26.4%) explicaron 57.7% de la variación original (Figura 3). Estos resultados sugieren que las correlaciones aproximadas que se pueden detectar en el biplot, deben interpretarse con alguna reserva, debido que la CP1 explicó menos de 50% de la variación original (González *et al.*, 2009).

Las variables que explicaron principalmente al CP1 fueron floración masculina y femenina (FM y FF), rendimiento de grano (RG), pudrición de mazorca (PM) y aspecto de la mazorca (ASM); mientras que el CP2 estuvo relacionado en mayor grado con las alturas de la planta (AP) y de la mazorca (AM) y con el acame (A). Estos resultados

Group 3 consisted of Loc3 (Tlaltizapan, drought) and Loc4 (Batán, under nitrogen) were the environments with lower cob yield the grand mean and negative interaction with CP1.

The Figure 2 also found that, the most outstanding genotypes in the three most favorable environments (Group 1) were those identified as the most promising material in comparison with the averages of genotypes in AMMI model's most outstanding genotypes Tlahuelilpan, Batán early planting conventional and Batán conservation agriculture were identified by codes 20, 21, 19 and 29, 18, 28, 5, 2 and 36, all with cob yields higher than the grand mean. Other stable genotypes were identified by codes 22, 23, 4, 3, 34, 27 and 35, which had higher cob production to the grand mean and near-zero scores in the CP1.

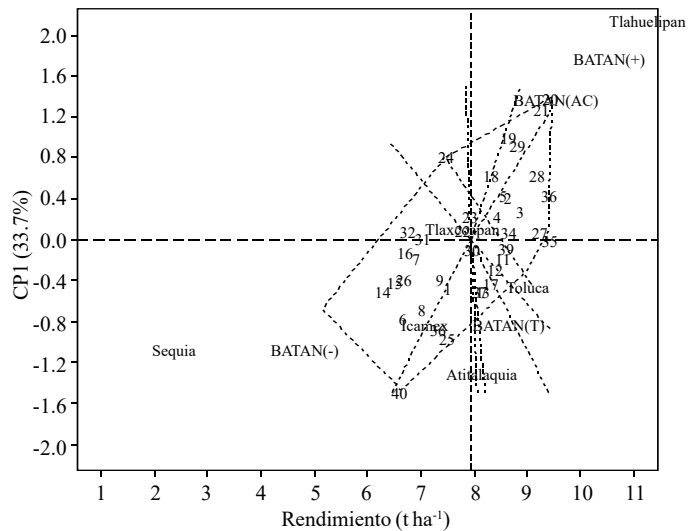


Figura 2. Rendimiento de mazorca de 40 genotipos de maíz evaluados en el año 2009 en 10 ambientes de los Valles Altos del Centro de México.

Figure 2. Cob yield of 40 maize genotypes evaluated in 2009 in 10 environments of the High Valleys in Central Mexico.

Variable*genotype analysis

The main components 1 (31.3%) and 2 (26.4%) accounted for 57.7% of the original variation (Figure 3). These results suggest that, the approximate correlations can be detected in the biplot, must be interpreted with some reserve, because the CP1 explained less than 50% of the original variation (González *et al.*, 2009).

The variables that mainly explained PC1 were male and female flowering (FM and FF), grain yield (RG), ear rot (PM) and appearance of the ear (ASM); while CP2 was

sugieren que la CP1 estuvo asociada principalmente con la producción de mazorca y con el ciclo biológico del material genético; mientras que la CP2 se relacionó principalmente con las dimensiones de la planta (Figura 3).

Debido que el ángulo que podría formarse entre el vector de RG con FM, FF, AP y AM es inferior a 90° , se infiere que el incremento en la producción de mazorca en el material genético bajo estudio, estuvo correlacionado positiva y significativamente con un mayor ciclo biológico y con las mayores dimensiones de la planta.

Aún cuando rendimiento de mazorca no tuvo relación significativa con el resto de las variables evaluadas, debe considerarse el hecho que en Valles Altos del centro de México son frecuentes las heladas en el mes de octubre, por lo que los genotipos con mayor número de días a madurez fisiológica tendrán mayor oportunidad de ser dañados por frío, ocasionando una disminución en su rendimiento de grano y en su calidad, particularmente en las localidades situadas a altitudes superiores a 2 600 m, como Calimaya y Almoloya de Juárez, en el Estado de México. También debe considerarse que los genotipos con mayores alturas de planta y mazorca podrían ser más susceptibles al acame; por lo tanto, a enfermedades de la planta y de la mazorca, lo que podría limitar su potencial de rendimiento en esta región.

En el biplot de la Figura 3, mostró que los genotipos identificados como 27, 28, 29, 20 y 21 fueron de mayor producción de mazorca (RG) en promedio, también tuvieron un mayor número de días a floración masculina (FM) y femenina (FF) y mayores alturas de planta (AP) y mazorca (AM); con relación a su estructura genética se observó que los híbridos 27, 28 y 29 tuvieron como progenitor hembra a la cruz simple CMS 989003, mientras que en los híbridos 20 y 21 su hembra fue la cruz simple CMS 989001. Debido que ambas cruza simples (código 35 y 36) y los cinco híbridos trilineales más sobresalientes tuvieron rendimientos de mazorca estadísticamente iguales se infiere que no sería justificable la formación de los híbridos de tres líneas si éstos no tienen mayor rendimiento y estabilidad que las cruza simples.

CONCLUSIONES

Para la identificación de material promisorio con una menor inversión se pueden considerar dos o tres ambientes de los Valles Altos del centro de México: Calimaya, en el Estado

related in a greater degree with the height of the plant (AP) and ear (AM) and the lodging (A). These results suggest that PC1 was associated mainly with the production of ear and with the life cycle of genetic material, while the CP2 was mainly related to the size of the plant (Figure 3).

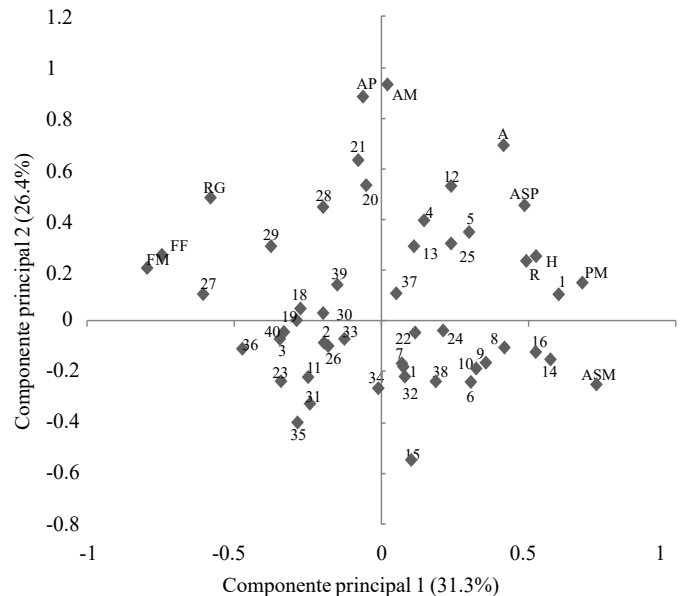


Figura 3. Interrelaciones en el biplot entre 40 genotipos de maíz (números) y 11 variables registradas (letras) en 10 ambientes de los Valles Altos del Centro de México. Los códigos que se muestran en el biplot son los mismos que se indican en el Cuadro 5.

Figure 3. Interrelationships in the biplot between 40 maize genotypes (numbers) and 11 recorded variables (letters) in 10 environments of the High Valles of Central Mexico. The codes shown in the biplot are the same as indicated in Table 5.

Due to the angle that could form between the vector of RG with FM, FF, AP and AM is lower than 90° , it can be implied that, the increase in the production of cob in the genetic material under study, was positively and significantly correlated with a higher life cycle and, the larger the plant.

Even though the cob yield had no significant relationship with the rest of the evaluated variables, it should be considered the fact that, in the High Valleys of Central Mexico the frosts are quite frequent in the month of October, so that genotypes with a greater number of days physiological maturity have a better chance of being damaged by cold, causing a decrease in grain yield and quality, particularly in the villages located at elevations

de México y Tlaltizapan, en el estado de Morelos, o bien Calimaya, Batán y Tlaltizapan; el Batán podría ser sustituido por Tlaxcoapan, por Atitalaquia o por Tlahuelilpan. Esta estrategia reduciría el número de ambientes en el mismo año e incrementaría el número de ensayos en varios años.

Se detectaron 15 híbridos trilineales sobresalientes, con rendimientos de mazorca de 8.2 a 9.4 t ha⁻¹ y con características agronómicas y estabilidad aceptable a través de los ambientes, pero el material más promisorio fue CMS989001//México gpo. 10 (9.3 t ha⁻¹), CMS 989003//Tuxpeño Crema 1 con (9.3 t ha⁻¹), CMS 989003//SB1 (9.3 t ha⁻¹) y CMS 989003//México gpo. 10 (9.1 t ha⁻¹). El mejor probador fue CMS989001 (P3) con 9.3 t ha⁻¹ y el mejor testigo fue el híbrido trilineal CMT 089005 con 8.5 t ha⁻¹.

El modelo AMMI y el análisis de componentes principales entre genotipos y variables, confirmaron los resultados anteriores. Los tres ambientes donde se observaron los mayores rendimientos de mazorca fueron Tlahuelilpan, Batán siembra convencional y Batán con agricultura de conservación; Tlaxcoapan fue el único ambiente con rendimiento y estabilidad promedio.

Los genotipos 27, 28, 29, 20 y 21 fueron de mayor producción de mazorca (RG) en promedio, también tuvieron un mayor número de días a floración masculina (FM) y femenina (FF) y mayores alturas de planta (AP) y mazorca (AM); con relación a su estructura genética se observó que los híbridos 27, 28 y 29 tuvieron como progenitor hembra a la cruce simple CMS 989003, mientras que en los híbridos 20 y 21 su hembra fue la cruce simple CMS 989001. Ambas cruces simples (código 35 y 36) y los cinco híbridos trilineales más sobresalientes tuvieron rendimientos de mazorca estadísticamente iguales.

LITERATURA CITADA

- Beck, L. D. 2001. Research on tropical highland maize. Maize research highlights. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Estado de México, México. 9-17 pp.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1985. Managing trials and reporting Data for CIMMYT's International Maize Testing Program. El Batán, Estado de México. 20 p.
- Cooper, M.; DeLacy, I. H. and Basford, K. E. 1996. Plant Adaptation and Crop Improvement. 193-224 pp.

above 2 600 m, as Calimaya and Almoloya de Juárez in the State of Mexico. It should also be considered that, the genotypes with increased plant and ear heights might be more susceptible to lodging, therefore, to plant diseases and ear, which could limit its yield potential in this region.

The biplot of Figure 3 showed that, the genotypes identified as 27, 28, 29, 20 and 21 were the largest production of cobs (RG) on average, they also had a greater number of days to male flowering (FM) and female (FF) and greater heights of plant (AP) and cob (AM), with respect to their genetic structure was observed that hybrids 27, 28 and 29 as female parent had a simple CMS crosses 989003, while in hybrids 20 and 21 the female was the simple crosses CMS 989001. Because the two single crosses (code 35 and 36) and since the five most outstanding trilinear hybrid had cob yields statistically equal, it can be inferred that it would not be justifiable to the formation of three-line hybrid that have not improved yield and stability than single crosses.

CONCLUSIONS

To identify promising material with a smaller investment can be considered two or three environments of the High Valleys of Central Mexico: Calimaya, State of Mexico and Tlaltizapan, in the State of Morelos, or Calimaya, Batán and Tlaltizapan; Batán could be replaced by Tlaxcoapan by Atitalaquia or Tlahuelilpan. This strategy would reduce the number of environments in the same year and increase the number of trials over several years.

Fifteen outstanding trilinear hybrids were detected, with yields from 8.2 to 9.4 cob t ha⁻¹ and with acceptable agronomic characteristics and stability across environments, but the most promising material was CMS989001//Mexico gpo. 10 (9.3 t ha⁻¹), CMS 989003//Tuxpeño Cream 1 with (9.3 t ha⁻¹), CMS 989003//SB1 (9.3 t ha⁻¹) and CMS 989003//Mexico gpo. 10 (9.1 t ha⁻¹). The best tester was CMS989001 (P3) with 9.3 t ha⁻¹ and, the best control was the trilinear hybrid CMT 089005 with 8.5 t ha⁻¹.

The AMMI model and main component analysis between genotypes and variables, confirmed the previous results. The three environments with the greatest cob yields were Tlahuelilpan, Batán conventional planting with Batán conservation agriculture; Tlaxcoapan was the only one with average yield and stability.

- Eagles, H. A. and Lothrop, J. E. 1994. Highland maize from Central Mexico-the origin, characteristics, and use in breeding programs. *Crop Sci.* 34:11-20.
- Gámez, V. A. J.; Avila, P. M. A.; Ángeles, A. H.; Díaz, C.; Ramírez, V. H.; Alejo, J. A. y Terrón, I. A. 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Publicación especial. Núm. 16. INIFAP, SAGAR. Toluca, México. 103 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. D. F., México. 246 p.
- González, H. A. y Larios, G. M. A. 1993. Estudio comparativo del rendimiento de grano en maíz: 7 híbridos experimentales, 2 variedades sintéticas y 7 criollos sobresalientes. *Revista Ciencias Agrícolas Informa.* 1:19-26.
- González, H. A.; Sahún, C. J.; Pérez, L. D. J.; Domínguez, L. A.; Serrato, C. R. y Landeros, F. C. E. 2006. Diversidad fenotípica del maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. *Rev. Fitotec.* 29(3):255-261.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E. y Pérez, L. D. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):33-42.
- González, H. A.; Sahagún, C. J.; Vázquez, G. L. M.; Rodríguez, P. J. E.; Pérez, L. D. J.; Domínguez, L. A.; Franco, M. O. y Balbuena, M. A. 2009. Identificación de variedades de maíz sobresalientes considerando el modelo AMMI y los índices de Eskridge. *Agric. Téc. Méx.* 35(2):189-200.
- Morales, R. M. M.; Ron, P. J.; Sánchez, G. J. J.; Ramírez, D. J. L.; De la Cruz, L. L.; Mena, S. M.; Hurtado, S. P. y Chuela, B. M. 2005. Diversidad genética y heterosis entre híbridos comerciales de maíz de Jalisco liberados en la década de 1990. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(2):115-126.
- Morán, R. V.; Ramírez, D. J. L. y Ron, P. J. 1993. Ganancia genética de variedades mejoradas de maíz liberadas en diferentes épocas. *Rev. Fitotec. Mex.* 16(2):102-112.
- Nava, P. F.; Mejía, C. J. A.; Castillo, G. F. y Molina, G. J. D. 2000. Evaluación de maíces precoces e intermedios en Valles Altos Centrales de México. I. Poblaciones sobresalientes. *Rev. Fitotec. Mex.* 23(1):119-128.
- The genotypes 27, 28, 29, 20 and 21 were the largest production of cob (RG) on average, also had a greater number of days to male flowering (FM) and female (FF) and greater heights of plant (AP) and cob (AM), with respect to their genetic structure was observed that hybrids 27, 28 and 29 as female parent had the simple crosses CMS 989003, while the hybrids 20 and 21 the female was the simple crosses CMS 989001. Both single crosses (code 35 and 36) and, the five most outstanding trilinear hybrids had cob yields statistically similar with each other.

End of the English version



- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Rev. Fitotec. Mex.* 18(2):188-203.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) dependiente de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2008. URL: <https://www.siap.sagarpa.gob.mx>.
- Statistical Analysis System (SAS). SAS Para Windows version 9.1. (SAS). 2007. Institute. Cary, N.C. USA.
- Torres, F. J. L. 2008. Comportamiento de híbridos triples de maíz de diferentes zonas ecológicas en los Valles Altos de México. 54 Reunión anual PCCMCA, San José, Costa Rica del 14 al 18 de Abril.
- Vasal, S. K. y Córdova, S. H. 1996. Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. *In: Memoria del curso internacional de actualización en fitomejoramiento y agricultura sustentable.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Departamento de Fitomejoramiento, Buenavista, Saltillo, México. 32-54 pp.
- Vargas, H. M. y Crossa, J. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. Unidad de Biometría. CIMMYT, México. URL: <https://www.cimmyt.cgiar.org/biometrics>.
- Velásquez, C. G. A.; Tut, C. C.; Virgen, V. J.; Pérez, C. J. P.; Vázquez, C. G. y Salinas, M. Y. 2009. H-159E: híbrido de maíz para Valles Altos de la mesa central de México. INIFAP. Memoria técnica. Núm. 10. 34-35 pp.