

Variedades de maíz azul Chalqueño seleccionadas por múltiples caracteres y estabilidad del rendimiento*

Varieties of blue maize Chalqueño, selected for multiple characters and yield stability

José Luis Arellano Vázquez^{1§}, Israel Rojas Martínez² y Germán Fernando Gutiérrez Hernández³

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. C. P. 56250. Tel: 015959212657. Ext.183. ²Estación Experimental Tlaxcala-INIFAP. Carretera Tlaxcala-Santa Ana, km 2.5. Col Industrial Tlaxcala. C. P. 90800. Tel: 012464646799. ³Departamento de Bioprocesos, Unidad profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto s/n. C. P. 07340, La Laguna Tecomán, México, D. F. [§]Autor para correspondencia: arellano.jose@inifap.gob.mx.

Resumen

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) evaluar las características agronómicas y el rendimiento a través de varios ambientes; 2) analizar el comportamiento de las variedades en función de múltiples caracteres; 3) determinar la estabilidad del rendimiento de las variedades; y 4) Seleccionar variedades en función de múltiple caracteres y estabilidad del rendimiento. Se realizó una evaluación de 24 variedades de maíz criollo azul de la raza Chalqueño y el híbrido de grano blanco H-139 como testigo, en seis localidades del Altiplano Central de México. Los experimentos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.001$) entre localidades, variedades y en la interacción variedades x localidades para días a floración masculina y femenina, intervalo de floración masculina-femenina, altura de planta, acame de planta, mazorcas por planta y rendimiento. Entre localidades el rendimiento de grano varió de 3.7 a 6.7 t ha⁻¹, la proporción de mazorcas por planta de 0.59 a 0.86, y los días a floración masculina de 82.9 a 107.6 días, los valores más alto correspondieron a las localidades ubicadas a 2 400 m de altitud. Entre variedades el rendimiento varió de 4.7 a 6.4 t ha⁻¹, el testigo H-139 rindió 6.5 t ha⁻¹, la proporción

Abstract

The objectives of this study were 1) to evaluate the agronomic traits and yield through multiple environments; 2) analyse the behaviour of the varieties through multiple characters; 3) determine the stability of yield; and 4) selecting varieties based on multiple characters and yield stability. An evaluation of 24 varieties was conducted of blue maize landrace Chalqueño and white grain hybrid H-139 as a control, in six locations in the Central Highlands of Mexico. The experiments were established under an experimental design of randomized complete block with four replications. Significant differences ($p \leq 0.001$) were recorded between locations, varieties and in the varieties x locations interaction for days to male and female flowering, interval of male-female flowering, plant height, flattened plant, pods per plant and yield. Among localities grain yield ranged from 3.7 to 6.7 t ha⁻¹, the proportion of ears per plant was from 0.59 to 0.86 and the days to male flowering of 82.9 to 107.6 days, the highest values corresponded to localities at 2 400 m elevation. Among varieties yield ranged from 4.7 to 6.4 t ha⁻¹, the control H-139 yielded 6.5 t ha⁻¹, the proportion of ears per plant ranged from 0.6 to 0.8 and male flowering 90 to 102 days. The analysis of the varieties through multiple characters, detected the

* Recibido: marzo de 2014
Aceptado: septiembre de 2014

de mazorcas por planta varió de 0.6 a 0.8 y la floración masculina de 90 a 102 días. El análisis de las variedades en función de múltiples caracteres, detectó a las variedades 12, 15, 22, 23 y 24 con expresión favorable en peso de mazorca, mazorcas por planta, peso hectolítrico y periodo tardío a la floración masculina y femenina. El análisis de estabilidad del rendimiento identificó a las variedades 2, 3, 6 y 22 como variedades estables, pero con bajo rendimiento, excepto la variedad 22 que rindió 6.4 t ha⁻¹ y fue estadísticamente similar al testigo H-139, por lo que fue seleccionada por presentar favorablemente caracteres de planta, mazorca, grano, rendimiento y estabilidad del rendimiento. Las variedades 13, 20, 23 y el híbrido H-139 de alto rendimiento interacción con localidades de buena productividad.

Palabras clave: *Zea mays* L, caracteres de planta, interacción genotipo * ambiente, mazorca y grano, rendimiento.

Introducción

En el Altiplano Central de México las áreas de mayor importancia comercial de maíz azul cubren una superficie aproximada de 75 mil hectáreas y se ubican en regiones de clima templado frío, bajo condiciones de temporal o seco y se siembran con maíz predominantemente de la raza Chalqueño. En esta región el maíz azul tiene una demanda que rebasa la producción de 200 mil toneladas por año y su precio es 70% superior al del maíz blanco. Elevar la producción de maíz azul a corto plazo es factible a partir de las mejores variedades criollas seleccionadas por sus atributos de buen rendimiento, tolerancia al acame y calidad del grano. En localidades de temporal del estado de Puebla las mejores variedades criollas de maíz azul son de la raza Chalqueño y rinden en promedio 6.6 t ha⁻¹, con periodo a floración tardío y acame de planta de 20%, no obstante, esas variedades alcanzan rendimientos experimentales de 8 a 10 t ha⁻¹ con índices de producción de mazorcas por planta de 0.9 a 1, bajo condiciones de temporal muy benigno (Arellano *et al.*, 2003).

En el Valle de Texcoco bajo condiciones de temporal limitado, las mejores variedades de maíz azul Chalqueño rinden de 5.1 a 5.4 t ha⁻¹, con índices de producción de mazorcas por planta de 0.5 a 0.7 (Antonio *et al.*, 2004). En localidades de Valles Altos, Romero *et al.* (2002) detectaron rendimientos de maíz Chalqueño de 3.1 a 4.1 t ha⁻¹ y de 3.9 a 4.9 en sus cruces intervarietales, por su parte Esquivel *et al.* (2013) observaron rendimientos de 4.5 y 5.9 t ha⁻¹ en

variedades 12, 15, 22, 23 and 24 with positive expression in ear weight, pods per plant, test weight and late to male and female flowering period. The stability analysis to identify yield varieties 2, 3, 6 and 22 as stable varieties but, with low yield except the variety 22 which yielded 6.4 t ha⁻¹ and was statistically similar to the control H-139, which was selected by favourably presenting characters of plant, ear, grain yield and yield stability. The varieties 13, 20, 23 and the hybrid H-139 of high-yield, interaction with good productivity locations.

Keywords: *Zea mays* L, cob and grain, genotype * environment interaction, plant characters, yield.

Introduction

In the Central Highlands of Mexico the most commercially important areas of blue maize cover an approximate area of 75 hectares and are located in cold temperate regions under rainfed conditions, sown with maize predominantly of race Chalqueño. This region has a blue maize demand that exceeds the production of 200 thousand tons per year and its price is 70% higher than the white maize. Increase blue maize production is feasible in the short term from the best local varieties selected for their attributes of good yield, tolerance to lodging and grain quality. In localities of rainfed, in the State of Puebla, the best blue maize landraces are Chalqueño and yields an average 6.6 t ha⁻¹, with late flowering period and plant lodging at 20%; however, these varieties achieve experimental yields of 8 to 10 t ha⁻¹ with production rates of ears per plant 0.9 to 1, under good rainfed conditions (Arellano *et al.*, 2003).

In the Valley of Texcoco under conditions of limited rainfed, the best varieties of blue maize Chalqueño yield 5.1 to 5.4 t ha⁻¹, with production rates of ears per plant from 0.5 to 0.7 (Antonio *et al.*, 2004). In localities of High Valleys, Romero *et al.* (2002) detected Chalqueño maize, yields from 3.1 to 4.1 t ha⁻¹ and 3.9 to 4.9 in their inter-varietal crosses; Esquivel *et al.* (2013) observed yields of 4.5 and 5.9 t ha⁻¹ in maize populations Chalqueño and intervarietal crosses, respectively, and detected significant changes in ears per plant, grain length and days to male flowering, favouring crosses for effects of specific combining ability. While hybrid and synthetic varieties of blue maize evaluated in rainfed and irrigated areas of

poblaciones de maíz Chalqueño y sus cruzas intervarietales, respectivamente y detectaron cambios significativos en mazorcas por planta, longitud de grano y días a floración masculina que favorecen a las cruzas por efectos de aptitud combinatoria específica. Mientras que con híbridos y variedades sintéticas de maíz azul evaluados en áreas de temporal y riego del estado de Tlaxcala, se obtuvieron rendimientos de 8.6 a 10.2 t ha⁻¹ con índices de mazorcas por planta de 1.1 a 1.3 (Arellano *et al.*, 2012). Para clasificar y seleccionar cultivares sobresalientes, se han utilizado múltiples caracteres morfológicos y agronómicos analizados mediante el procedimiento de componentes principales, de esta manera, en maíz Chalqueño se estableció que los caracteres días a floración femenina, altura de mazorca, diámetro de mazorca, longitud de grano, volumen de grano, número de hileras y color de grano permiten clasificar su diversidad genética (Herrera *et al.*, 2000).

En variedades de maíz azul Chalqueño se definió que los caracteres días a floración masculina y femenina, intervalo en días entre floración masculina y femenina, peso de mazorca y peso de grano podrido permiten la identificación de variedades sobresalientes (Antonio *et al.*, 2003), mientras que los caracteres de semilla vigor de geminación, proporción de plántulas normales y anormales y semilla no germinada en un periodo de cuatro días, permitieron la identificación de variedades de maíz azul con vigor de semilla y crecimiento inicial (Antonio *et al.*, 2003). Ángeles *et al.* (2010), definieron a días a floración femenina, número de hojas arriba de la mazorca, longitud de mazorca, longitud del grano y diámetro de olote como caracteres que explican la variación genética del maíz nativo de Molcaxac, Puebla.

En variedades de maíz Cacahuacintle se identificó a los caracteres mazorcas por planta, peso hectolítrico del grano, altura de planta, y peso de cien semillas para detectar variedades de mejor potencial agronómico en el valle de Toluca (Arellano *et al.*, 2010). Para la producción y el aprovechamiento del maíz azul son importantes las variedades que expresen de manera favorable varios caracteres de planta, mazorca, y grano, por lo que los objetivos del presente estudio son: 1) evaluar las características agronómicas y el rendimiento a través de varios ambientes; 2) analizar el comportamiento de las variedades en función de múltiples caracteres; 3) determinar la estabilidad del rendimiento de las variedades; y 4) seleccionar variedades en función de múltiple caracteres y estabilidad del rendimiento.

the State of Tlaxcala, yields of 8.6 10.2 t ha⁻¹ with indices of ears per plant from 1.1 to 1.3 (Arellano *et al.*, 2012). In order to classify and select outstanding cultivars, we have been using multiple morphological and agronomic traits, analysed by the method of principal components, thus, in maize Chalqueño we established that, the characters days to silking, ear height, ear diameter, length grain, grain volume, number of rows and grain colour allow sorting genetic diversity (Herrera *et al.*, 2000).

In Chalqueño blue maize varieties we defined the characters days to male and female flowering interval in days between male and female flowering, ear weight and grain weight of rotten allowed the identification of outstanding varieties (Antonio *et al.*, 2003), while characters seed vigour germination, percentage of normal and abnormal seedlings and seeds not germinated over a period of four days, allowed the identification of varieties of blue maize with seed vigour and early growth (Antonio *et al.*, 2003). Angeles *et al.* (2010), defined days to silking, number of leaves above the ear, ear length, grain length and diameter of cob as characters that explain the genetic variation of native maize of Molcaxac, Puebla.

In varieties of maize Cacahuacintle the characters identified were cobs per plant, hectolitre grain weight, plant height, and weight of a hundred varieties of seeds for better agronomic potential in the Valley of Toluca (Arellano *et al.*, 2010). For the production and use of blue maize varieties are important favourably express several traits of plant, ear, and grain, so that the objectives of this study are: 1) to evaluate the agronomic traits and yield through various environments; 2) analyse the behaviour of varieties for multiple characters; 3) determine the stability of yield of varieties; and 4) select varieties based on multiple characters and yield stability.

Materials and methods

Genetic material. Consisted of 24 native varieties of blue maize Chalqueño, originating in the States of Mexico (21), Puebla (2) and Hidalgo (1) and the hybrid H-139 as a control. The varieties were acquired using a collection of landraces with producers from different locations of the indicated entities.

Materiales y métodos

Material genético. Consistió de 24 variedades criollas de maíz azul de la raza Chalqueño, originarias de los Estados de México (21), Puebla (2) e Hidalgo (1) y el híbrido H-139 como testigo. Las variedades fueron adquiridas mediante una colecta de maíces criollos con productores de distintas localidades de las entidades indicadas.

Localidades. Los experimentos se establecieron en Coatlinchán, Montecillo, Temamatla, Ayapango y Amecameca del Estado de México y en Ahuashuatepec del estado de Tlaxcala. Coatlinchán y Montecillo se localizan a 19° 29' latitud norte, 98° 53' latitud oeste, y altitud de 2 240 m con temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación anual de 636.5 mm el clima de ambas localidades corresponde a templado frío, subhúmedo (García, 1988). Temamatla se localiza a 19° 21' latitud norte, 98° 52' latitud oeste, y 2 271 m de altitud, tiene temperatura media de 15 °C y precipitación pluvial de 700 mm. Ayapango se ubica a 19° 07' latitud norte, 98° 48' longitud oeste y altitud de 2 400 m, tiene una temperatura media de 14.8 °C, y precipitación anual de 1 050 mm. Amecameca se localiza a 19° 08' latitud norte, 98° 46' longitud oeste, altitud de 2 470 m, temperatura media de 14.4 °C y precipitación pluvial de 1 000 mm. San Andrés Ahuashuatepec, Tlaxcala, se ubica aproximadamente (datos de Apizaco, Tlaxcala, localidad más cercana) a 19° 25' longitud norte, 98° 8' latitud norte, altitud de 2 408 m, temperatura media anual de 13.9 °C y precipitación pluvial de 859 mm. El clima de estas localidades corresponde a templado frío, el más húmedo de los subhúmedos (García, 1988).

Fecha de siembra y manejo agronómico. Los experimentos se desarrollaron durante los años 2004 y 2005 y las siembras se hicieron entre el 15 y el 30 de abril. La densidad de población fue de 50 mil plantas ha⁻¹. La fórmula de fertilización química fue 120N-60P-30K kg ha⁻¹ y se aplicó en dos oportunidades, la primera aplicación se hizo con 60N-60P-30K al momento de la siembra y la segunda con 60N-00P-00K, 40 días después. Los experimentos se desarrollaron con las lluvias del temporal, excepto en Coatlinchán y Montecillo, donde se aplicó riego un día después de la siembra y posteriormente en la etapa vegetativa antes de la floración a los 80 días después de la siembra.

Diseño experimental, datos registrados y análisis estadístico. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El tamaño de la parcela fue

Locations. Experiments were established in Coatlinchán, Montecillo, Temamatla, Ayapango and Amecameca, State of Mexico and Ahuashuatepec in Tlaxcala. Coatlinchán and Montecillo are located 19° 29' north latitude, 98° 53' west latitude, and elevation of 2240 m with an average annual temperature of 15.2 °C and annual rainfall of 636.5 mm, climate in both locations correspond to cold temperate, humid (García, 1988). Temamatla is located at 19° 21' north latitude, 98° 52' west latitude, and 2271 m above sea level, average temperature of 15 °C and rainfall of 700 mm. Ayapango is located at 19° 07' north latitude, 98° 48' west longitude and elevation of 2 400 m, the average temperature of 14.8 °C, and annual rainfall of 1 050 mm. Amecameca is located at 19° 08' north latitude, 98° 46' west longitude, elevation 2 470 m, mean temperature of 14.4 °C and rainfall of 1 000 mm. San Andrés Ahuashuatepec, Tlaxcala, is located approximately (data from Tlaxcala, Tlaxcala, nearest town) to 19° 25' north longitude, 98° 8' north latitude, elevation 2408 m, mean annual temperature of 13.9 °C and rainfall of 859 mm. The climate of these locations corresponds to cold temperate, the wettest of the subhumid (García, 1988).

Planting date and agronomic management. Experiments made during 2004 and 2005 and, planting was made between April 15 and 30. The population density was 50 000 plants ha⁻¹. The formula of chemical fertilization was 120N-60P-30K kg ha⁻¹ and was applied twice, the first application was made with 60N-60P-30K at the time of sowing and the second with 60N-00P-00K, 40 days later. The experiments were developed under rainfed conditions, except for Coatlinchán and Montecillo, where irrigation was applied one day after planting and later in the vegetative stage prior to flowering at 80 days after sowing.

Experimental design, statistical analysis and data recorded. The experimental design of randomized complete block design with four replications. The plot size was four rows, 6 m long, with a distance of 0.8 m between rows and 0.6 m between plants; each row had three floors and two interleaved manner. The following characters were recorded: days to male flowering (DFM), is the number of days from planting until 50% of plants in each plot were in anthesis; days to female flowering (DFF), is the number of days from planting until exposed stigmas were 1 cm long; gap between male and female flowering (IMFO) is the difference DFF - DFM, plant height (AP), measured in centimetres from the soil surface at the base of the plant to the ligule of the

cuatro surcos de 6 m de largo, con una distancia de 0.8 m entre surcos y 0.6 m entre matas; cada surco tenía matas de tres plantas y de dos de manera intercalada. Se registraron las siguientes caracteres: días a floración masculina (DFM), es el número de días transcurridos desde la siembra hasta que 50% de las plantas de cada parcela se encontraran en antesis; días a floración femenina (DFF), es el número de días desde la siembra hasta que los estigmas expuestos tenían 1 cm de longitud; intervalo entre floración masculina y femenina (IFMF), es la diferencia DFF - DFM; altura de planta (AP), se midió en centímetros desde la superficie del suelo al pie de la planta hasta la lígula de la hoja bandera; acame (AC), es el porcentaje de plantas con acame de raíz, para cuyo cálculo se consideraron solo plantas con una inclinación mayor de 30° con respecto a la vertical.

Las mazorcas por planta (MPP), es el cociente del número de mazorcas cosechadas sobre el número total de plantas presentes por parcela; rendimiento de grano (RG), es el peso total de mazorca por parcela * el contenido de materia seca del grano ajustado a 14% de humedad del grano * el porcentaje de grano x el factor de conversión de la superficie cosechada respecto a una hectárea y expresado en toneladas por hectárea. Con esos datos se efectuaron análisis combinados de varianza y la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para la comparación de medias. Además se efectuaron análisis de componentes principales con el propósito de identificar variedades sobresalientes en función de múltiple caracteres (autor, año) y análisis de la interacción genotipo-ambiente (Vargas y Crossa, 2000), para conocer la estabilidad del rendimiento de las variedades. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo con los procedimientos indicados en el programa SAS versión 8.0 para Windows (SAS Institute, 1999).

Resultados y discusión

Se registraron diferencias significativas ($p \leq 0.001$) entre localidades, variedades e interacción variedades por localidades para días a floración masculina y femenina, intervalo de floración masculina-femenina, altura de planta, acame de planta, mazorcas por planta y rendimiento (Cuadro 1), lo cual evidencia variación ambiental entre localidades, variabilidad genética entre los caracteres de las variedades de maíz azul, y la influencia de la variación ambiental sobre la expresión de la diversidad genética varietal.

flag leaf; lodging (AC) is the percentage of plants with root lodging, for which calculation is considered only plants with a greater inclination of 30° to the vertical.

The pods per plant (MPP) is the ratio of the number of ears harvested on the total number of plants present per plot; Grain yield (GY) is the total ear weight per plot x dry matter content of the grain adjusted to 14% grain moisture * percentage grain * conversion factor of harvested area about four acres expressed in tons per hectare. With these data, a combined analysis of variance and Tukey test ($\alpha \leq 0.05$) for comparison of means were made. Furthermore, we made a principal component analysis in order to identify outstanding varieties depending on multiple characters (author, year) and analysis of genotype-environment interaction (Vargas and Crossa, 2000), for yield stability of the varieties were made. Statistical analyses were performed using the procedures in the program SAS version 8.0 for Windows (SAS Institute, 1999).

Results and discussion

Significant differences ($p \leq 0.001$) between locations, varieties and varieties interaction for localities to days to male and female flowering interval male-female flowering, plant height, flattening of the plant, pods per plant and yield (Table 1) were recorded, which shows environmental variation among sites, genetic variability between characters of blue maize varieties and the influence of environmental variation on the expression of the varietal genetic diversity.

Behaviour among localities. Among the localities there was a significant differences ($p \leq 0.05$) for days to male flowering ranging from 81 to 107; silking days from 88 to 112; gap between male and female flowering 5 to 6.7 days; plant height of 178-283 cm; flattening from 13.6 to 31.8%; ears per plant from 0.59 to 0.86 and grain yield of 3.7 to 6.7 t ha⁻¹. The localities Ayapango, Amecameca and Ahuashuatepec located at elevations between 2 400 and 2 450 m showed a larger period of male and female flowering, the pods per plant and yield, the opposite occurred in Temamatla, Montecillo and Coatlinchán located at 2 230 m (Table 2), this can be attributed to the favourable adaptation of varieties at higher elevations and improved environmental conditions of rainfall, which in these locations ranged between 859

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística de caracteres agronómicos de variedades de maíz azul Chalqueño evaluadas en seis localidades del Altiplano Central de México.

Table 1. Mean squares and statistical significance of agronomic traits of varieties of Chalqueño blue maize evaluated in six locations in the Central Highlands of Mexico.

Fuente de Variación	Caracteres agronómicos							
	g l	DFM	DFF	IF	AP	AC	MPP	REND
Localidades	5	23348**	27513**	616**	185728**	11072**	1.7**	176171703**
Repet (loc)	18	97**	97**	7.4**	2101**	55**	0.05**	5144484**
Variedades	24	357**	440**	8.1**	2390**	167**	0.05**	6749760**
Loc x Var	120	49**	57**	3.5**	1048**	81**	0.01**	18505789**
Error total	432	14.8	15.1	2.5	480.6	33.9	0.01	5296
CV (%)		3.9	3.7	27.5	9.3	22.8	13.8	18.3

**= Diferencias altamente significativas ($p < 0.01$); DFM= días a floración masculina; DFF= días a floración femenina; IF= intervalo entre floración masculina y femenina; AP= altura de planta en cm; AC= acame de planta en porcentaje; MPP= mazorcas por planta; REND= rendimiento de grano en t ha⁻¹; CV= coeficiente de variación.

Comportamiento entre localidades. Entre localidades se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para días a floración masculina que variaron de 81 a 107; días a floración femenina de 88 a 112; intervalo entre floración masculina y femenina de 5 a 6.7 días; altura de planta de 178 a 283 cm; acame de 13.6 a 31.8%; mazorcas por planta de 0.59 a 0.86 y rendimiento de grano de 3.7 a 6.7 t ha⁻¹. Las localidades Ayapango, Amecameca y Ahuashuatepec, ubicadas a altitudes de entre 2 400 y 2 450 m mostraron mayor periodo a floración masculina y femenina, mazorcas por planta y rendimiento, lo contrario ocurrió en las localidades Temamatla, Montecillo y Coatlinchán, ubicadas a 2 230 m (Cuadro 2), esto se puede atribuir a la adaptación favorable de las variedades a mayor altitud y a mejores condiciones ambientales de precipitación pluvial, que en esas localidades fluctuaron entre los 859 y 1 050 mm (García, 1988). Los rendimientos observados entre localidades concuerdan con los obtenidos por Arellano *et al.* (2003) en su estudio con maíz azul de diferentes razas.

and 1 050 mm (García, 1988). The yields observed between locations consistent with those obtained by Arellano *et al.* (2003) in their study with blue maize of different races.

Behavior Among varieties. Among the varieties there was a significant differences ($p \leq 0.05$) for days to male flowering ranged from 90 to 102; days to silking of 95 to 109; plant height of 2.1 to 2.5 m; flattens from 7.6 to 18.7%; ears per plant of 0.6 to 0.9 and grain yield of 4.2 to 6.4 t ha⁻¹. Control H-139 with 6.5 t ha⁻¹ and 10 blue maize landraces were statistically similar in grain yield, of these Cocotitlán-22, Pahuacan-13, Zoyatzingo-24, Ayapango-04, Juchitepec-15 and Cuijingo-12 in yields of 6.3, 5.7, 5.7, 5.6, 5.4 and 5.3 t ha⁻¹, respectively (Table 3). In general, the varieties were late in flowering, high floor, flattening plant level from 11 to 18% can be considered high, since the control H-139 presented 7.6%. In these varieties the number of ears per plant was 0.6 to 0.8, that is, 6-8 pods per 10 plants harvested, which can be

Cuadro 2. Medias por localidad de caracteres agronómicos de 24 variedades criollas de maíz azul Chalqueño evaluadas en Valles Altos.

Table 2. Means by locality of agronomic characters of 24 landrace maize of blue Chalqueño evaluated in High Valleys.

Localidad	Caracteres agronómicos							
	DFM	DFF	IF	AP	AC	MPP	REND	
Coatlinchán	82.9 e	88.1 e	5.2 b	283.2 a	31.8 a	0.59 f	3.7 d	
Montecillo	91.7 d	94.7 d	5 b	263.4 b	26 b	0.67 d	4.6 c	
Temamatla	81.5 e	88.1 e	6.6 a	178.7 e	17.2 c	0.65 e	4 d	
Ahuashuatepec	103.2 b	109.9 b	6.7 a	216.6 c	13.6 d	0.85 a	6.4 a	
Ayapango	100.7 c	107 c	6.3 a	271.3 b	18.2 c	0.86 a	6.7 a	
Amecameca	107.6 a	112.7 a	5.1 b	198.3 e	14.6 d	0.8 b	6.3 a	
Tukey 0.05	1.5	1.5	0.6	8.8	2.3	0.04	0.4	

Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$). DFM= días a floración masculina; DFF= días a floración femenina; IF= intervalo entre floración masculina y femenina; AP= altura de planta en cm; MPP= mazorcas podridas en porcentaje; AC= acame de planta en porcentaje; MPP= mazorcas por planta; REND= rendimiento de grano en t ha⁻¹.

Comportamiento de variedades. Entre variedades se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para días a floración masculina que variaron de 90 a 102; días a floración femenina de 95 a 109; altura de planta de 2.1 a 2.5 m; acame de 7.6 a 18.7%; mazorcas por planta de 0.6 a 0.9 y rendimiento de grano de 4.2 a 6.4 t ha⁻¹. El testigo H-139 con 6.5 t ha⁻¹ y 10 variedades criollas de maíz azul fueron estadísticamente similares en rendimiento de grano, de éstas sobresalieron Cocotitlán-22, Pahuacán-13, Zoyatzingo-24, Ayapango-04, Juchitepec-15 y Cuijingo-12 con rendimientos de 6.3, 5.7, 5.7, 5.6, 5.4 y 5.3 t ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 3). En general las variedades fueron tardías en su floración, de planta alta, con nivel de acame de planta de 11 a 18% que se puede considerar alto, ya que el testigo H-139 presentó 7.6% de acame. En estas variedades la cantidad de mazorcas por planta fue de 0.6 a 0.8, esto es, de 6 a 8 mazorcas por cada 10 plantas cosechadas, lo que se puede considerar una proporción reducida y el intervalo entre floración masculina y femenina fue de 5 a 7 días que se considerará muy amplio, lo que puede correlacionar negativamente con el rendimiento según Bolaños y Edmeades (1996). Resultados similares fueron observados por Arellano *et al.* (2003).

considered a small proportion and timing of male and female flowering was 5-7 days which is considered very large, which may negatively correlated with yield, according to Bolaños and Edmeades (1996). Similar results were observed by Arellano *et al.* (2003).

Analysis of varieties by major components. Statistical process components (PC), allows ranking varieties for multiple characters, which facilitates the selection of desirable genotypes. According to this analysis it was found that the first two main components explained 69.8% of the total variance of the variables, with values of 4.5 and 1.8 and specific contribution of 50 and 19.8% of the total variability, respectively. According to the eigenvectors in the first component (PC1) variables with higher weight were days to male flowering (0.41) and female (0.43), interval between male-female flowering (0.38) and plant height (0.41), while the second component (PC2), were cobs per plant (0.34), ear weight (0.58) and test weight (0.36), (Table 4). These values are proportional to the simple correlation coefficients between CP and variables (Johnson and Wichern, 1999).

Cuadro 3. Medias de caracteres agronómicos de las variedades de maíz azul Chalqueño, en promedio de seis localidades de Valles Altos.

Table 3. Averages of agronomic traits of varieties of blue maize Chalqueño, in averaged of six locations in High Valleys.

Variedades	Caracteres agronómicos						
	DFM (d)	DFF (d)	IF (d)	AP (cm)	AC (%)	MPP	REND (t ha ⁻¹)
Nexapa-1	102 a	109 a	7 a	242 a	18 a	0.6 b	5.2 d
Nexapa-2	102 a	109 a	7 a	241 a	16 a	0.7 b	4.7 e
Ahuatepec-3	93 g	98 f	5 b	210 e	13 a	0.7 b	4.7 e
Mihuacán-4	101 a	107 a	6 a	239 a	17 a	0.7 b	5.6 a
Chalma-5	98 b	103 a	5 b	235 a	15 a	0.7 b	4.7 d
Chalma-6	100 a	105 a	5 b	245 a	11 b	0.7 b	5.1 c
Ayapango-7	101 a	107 a	6 a	242 a	12 a	0.7 b	5.0 c
Chalma-8	100 a	106 a	6 a	238 a	17 a	0.7 b	5.2 c
Chalma-9	99 a	106 a	7 a	237 a	12 b	0.7 b	5.2 c
Tototltepec-10	90 i	95 i	5 b	220 b	14 a	0.8 a	4.9 d
Cuijingo-11	100 a	106 a	6 a	243 a	14 a	0.7 b	5.2 c
Cuijingo-12	99 a	105 a	6 a	241 a	11c	0.7 b	5.4 b
Pahuacán-13	101 a	106 a	5 b	249 a	16 a	0.7 b	5.7 a
Acaxochit-14	95 f	100 e	5 b	227 a	9 e	0.7 b	5.2 c
Juchitepec-15	99 a	105 a	6 a	237 a	12 b	0.7 b	5.4 b
Metepec-16	90 i	95 i	5 b	229 a	9 d	0.8 a	5.5 a
Serdán-17	91 i	96 i	5 b	216 d	12 a	0.7 b	4.2 e
Metepec-18	94 g	100 e	6 a	230 a	14 a	0.8 a	5.2 c

DFM= días a floración masculina; DFF= días a floración femenina; IFMF= intervalo entre floración masculina y femenina; AP= altura de planta; A= acame de planta; MPP= mazorcas por planta; RG= rendimiento de grano.

Cuadro 3. Medias de caracteres agronómicos de las variedades de maíz azul Chalqueño, en promedio de seis localidades de Valles Altos (Continuación).

Table 3. Averages of agronomic traits of varieties of blue maize Chalqueño, in averaged of six locations in High Valleys (Continuation).

Variedades	Caracteres agronómicos						
	DFM (d)	DFF (d)	IF (d)	AP (cm)	AC (%)	MPP	REND (t ha ⁻¹)
Metepec-19	92 h	98 g	6 b	222 b	13 a	0.8 a	4.2 f
Tehuistitlan-20	100 a	107 a	7 a	243 a	16 a	0.7 b	5.3 b
Pahuacán-21	100 a	106 a	6 a	246 a	13 a	0.7 b	5.5 a
Cocotitlán-22	97 c	102 c	5 b	228 a	13 a	0.8 a	6.4 a
Cocotitlán-23	96 c	102 c	6 a	237 a	12 a	0.7 b	5.9 a
Zoyatzingo-24	100 a	106 a	6 a	243 a	11 c	0.7 b	5.7 a
H-139	100 a	105 a	5 b	229 a	7 f	0.9 a	6.5 a
Tukey (0.05)	4	4.1	1.7	23.3	6.1	0.11	1

DFM= días a floración masculina; DFF= días a floración femenina; IFMF= intervalo entre floración masculina y femenina; AP= altura de planta; A= acame de planta; MPP= mazorcas por planta; RG= rendimiento de grano.

Análisis de las variedades por componentes principales. El procedimiento estadístico de componentes principales (CP), permite clasificar a las variedades en función de múltiples caracteres, lo cual facilita la selección de genotipos deseables. De acuerdo con este análisis se detectó que los dos primeros componentes principales explicaron 69.8% de la variación total de las variables estudiadas, con valores propios de 4.5 y 1.8 y contribución específica de 50 y 19.8% de la variabilidad total, respectivamente. De acuerdo con los vectores propios, en el primer componente (CP1) las variables con mayor peso fueron días a floración masculina (0.41) y femenina (0.43), intervalo entre floración masculina-femenina (0.38), y altura de planta (0.41), mientras que en el segundo componente (CP2), fueron mazorcas por planta (0.34), peso de mazorca (0.58) y peso hectolítrico (0.36), (Cuadro 4), tales valores son proporcionales a los coeficientes de correlación simple entre CP y las variables (Johnson y Wichern, 1999).

En la representación gráfica (Figura 1) del comportamiento de las variedades en función de CP1 y CP2, se observó que el híbrido H-139 (25) y la variedad Cocotitlán (22) se ubicaron en el cuadrante II en una posición aislada de las variedades de maíz azul, esto las identifica como genotipos de mejor peso de mazorca, proporción de mazorcas por planta y peso hectolítrico; sin embargo, el híbrido H-139 resultó superior a Cocotitlán, lo cual se puede atribuir al vigor híbrido que expresan esos caracteres en H-139. En el cuadrante I se identificó a las variedades 23, 12, 15, 9, 4 y 24 con valores intermedios en peso de mazorca, mazorcas por planta y peso hectolítrico, floración tardía y porte alto de planta. Badu-Apraku *et al.* (2014), observaron que las

Cuadro 4. Vectores propios para los dos primeros componentes principales con relación a las variables estudiadas en variedades de maíz azul Chalqueño.

Table 4. Eigenvectors for the first two main components in relation to the variables studied in Chalqueño blue maize varieties.

Variable	CP1	CP2
Días a floración masculina	0.418*	0.26
Días a floración femenina	0.431*	0.218
Intervalo entre DFM y DFF	0.383*	-0.187
Altura de planta	0.417*	0.162
Acame de planta	0.264	0.444*
Mazorcas por planta	-0.315	0.344*
Peso de mazorca	0.084	0.589*
Peso hectolítrico	0.066	0.367*

*variable que explica mayor participación en la componente.

In the graphical representation (Figure 1) of the behaviour of the strains depending on CP1 and CP2, it was observed that the hybrid H-139 (25) and the variety Cocotitlán (22) is placed in quadrant II in an isolated position of blue maize varieties, that the best genotypes identified as ear weight, percentage of ears per plant and test weight; however, the hybrid H-139 was superior to Cocotitlán, which is attributable to the force hybrid expressing of those characters in H-139. In the quadrant I, varieties 23, 12, 15, 9, 4 and 24 with intermediate values were identified in ear weight, pods per plant and test weight, late flowering and high plant height. Badu-Apraku *et al.* (2014) observed that, the genetic gains in maize yield for effects of breeding under environmental

ganancias genéticas en rendimiento de maíz por efectos del mejoramiento genético bajo estrés ambiental estuvieron relacionadas con mazorcas por planta, aspecto de planta y mazorca y área foliar funcional, mientras que en ambiente optimo con altura de planta y mazorca, mazorcas por planta y aspecto de mazorca y planta. Con intervalo corto entre floración masculina y femenina, altura de planta, mazorcas por planta retardo en senescencia foliar y alto contenido de clorofila foliar (Betrán *et al.*, 2003).

Resultados similares en cuanto a los caracteres que permitieron la agrupación de las variedades (Figura 1) fueron detectados por Antonio *et al.* (2003). Esas variedades junto con la 22 constituyeron el grupo de variedades selectas en función de múltiples caracteres de planta, mazorca y periodo de exposición de las inflorescencias masculina y femenina y se caracterizaron como maíces criollos azules sobresalientes por su rendimiento, peso de mazorca y peso de grano, pero con periodo tardío a floración.

Análisis de la estabilidad del rendimiento de variedades. El comportamiento entre variedades difirió entre localidades, ya que la interacción variedades por localidades resulto significativa ($p \leq 0.001$) para todas las variables estudiadas (Cuadro 1). Con el propósito de interpretar de manera más precisa la naturaleza de la interacción genotipo x ambiente para el rendimiento y definir la estabilidad de las variedades, se realizó un análisis en base al procedimiento estadístico Ammi-biplot (Vargas y Crossa, 2000), mediante el cual se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.001$) entre ambientes, genotipos y en la interacción genotipo x ambiente (Cuadro 5), lo cual se explica en función de la diversidad de ambientes y genotipos estudiados.

Los resultados de la partición de sumas de cuadrados para los términos o componentes del análisis ammi-biplot, indicaron que las dos primeras componentes acumularon el 66.3 % ($p = 0.005$) de la suma de cuadrado de la variación total para rendimiento a través de ambientes (Cuadro 6).

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza para rendimiento de variedades de maíz azul Chalqueño en seis localidades de Valles Altos.

Table 5. Results of analysis of variance of yield on Chalqueño blue maize varieties at six locations in High Valleys.

F de V	gl	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Pr > F
Repeticiones	3	6.2	2.0	2.0	0.129
Ambientes	5	880.7	176.1	159.8	< 0.001
Genotipos	24	161.9	6.7	6.1	< 0.001
Gen x Ambiente	120	222.0	1.8	1.7	< 0.001

C de V= 19.8%; R²= 0.72.

stress were related to ears per plant, looking plant and ear and functional leaf area, while optimal environment with plant height and ear, ears per plant and plant and ear aspect. With short intervals between male and female flowering, plant height, ears per plant delay leaf senescence and high leaf chlorophyll (Betrán *et al.*, 2003).

Similar results regarding the characters that allowed the grouping of varieties (Figure 1) were detected by Antonio *et al.* (2003). These varieties along with the group of 22 were the varieties selected for multiple characters of the plant, ear and period of exposure of male and female inflorescences and characterized as blue landraces for their outstanding yield, ear weight and grain weight but with late flowering period.

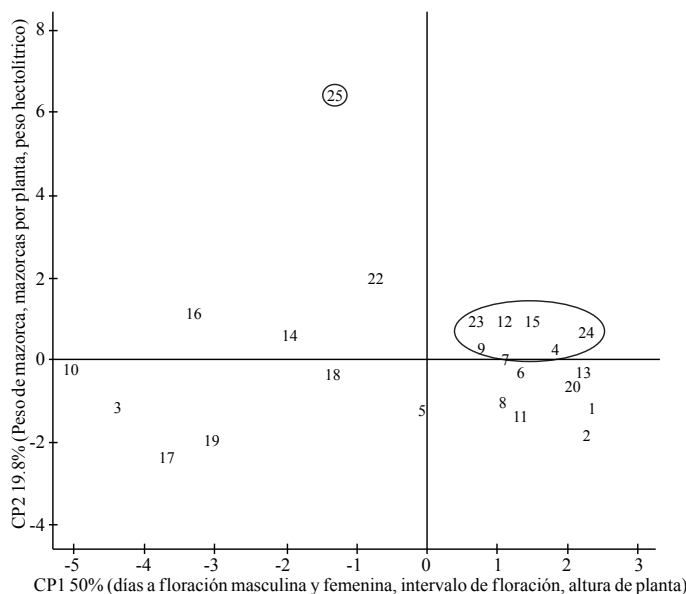


Figura 1. Representación gráfica del comportamiento de variedades de maíz azul Chalqueño evaluadas en Valles Altos; los números representan a las variedades enlistadas en el Cuadro 3.

Figure 1. Graphical representation of the behaviour of Chalqueño blue maize varieties evaluated in High Valleys, the numbers represent the varieties listed in Table 3.

Cuadro 6. Resultados de la separación de las sumas de cuadrados y nivel de probabilidad de F para las tres principales componentes del análisis ammi-biplot.

Table 6. Results of the separation of the sums of squares and probability level of F for the three main components of the analysis ammi-biplot.

S de C por componente	(%)	Porcentaje acumulado	Grados libres	Cuadrado medio	F	Probabilidad de F
92.7	41.7	41.7	28	3.3	3	< 0.001
54.5	24.5	66.3	26	2	1.9	0.005
32.3	14.5	80.9	24	1.3	1.2	0.215

CM error= 1.1.

De acuerdo con la representación gráfica (Figura 2), los ambientes o localidades estudiadas presentaron una dispersión amplia en su comportamiento, es decir, fueron distintos por su expresión del rendimiento. En las localidades 3 (Temamatla, Mex), 4 (Ahuashuatepec, Tlax), 5 (Ayapango, Mex) y 6 (Amecameca, Mex) con rendimientos de 4.0, 6.4, 6.7 y 6.2 t ha⁻¹, se detectó interacción con las variedades 13, 20, 23 y 25 las cuales mostraron alto rendimiento. Al respecto, Arellano *et al.* (2010) observaron que híbrido de maíz H-66 de alto rendimiento en ambientes de temporal interaccionó favorablemente con localidades de buena y buena productividad; sin embargo, Arellano *et al.* (2011) detectaron que el híbrido de maíz H-70 de alto rendimiento en temporal y riego resultó estable en ambientes favorables, intermedios y pobres. Kang (1998), indicó que la estabilidad de los genotipos puede o no estar ligada con alto rendimiento.

Por el contrario, los genotipos que se consideraron estables a través de ambientes fueron Nexapa-2, Ahuatepec-3 y Chalma-6 con rendimientos estadísticamente bajos de 4.7 a 5.1 t ha⁻¹ y Cocotitlán-22, con alto rendimiento y caracteres de planta favorables, por lo cual se definió como la variedad criolla de maíz azul de mejor comportamiento.

Las variedades seleccionadas en base al criterio de múltiples caracteres (Figura 1), no resultaron estables en función del rendimiento, excepto la 22, (Figura 2), esto se pudiera atribuir a que los diferentes caracteres que influyen en el rendimiento y que se integraron en la CP2 (peso de mazorca, mazorcas por planta y peso hectolitrico) interaccionan de manera más intensa con los ambiente y determinaron la inestabilidad del rendimiento de las variedades selectas. Vázquez *et al.* (2012) detectaron que los híbridos de maíz de mejor expresión en los caracteres de calidad de grano: peso hectolitrico e índice de flotación, no fueron estables en rendimiento.

Analysis of yield stability of varieties. Behaviour between varieties differed between locations, since the interaction varieties by localities resulted significant ($p \leq 0.001$) for all variables (Table 1). In order to interpret more accurately the nature of the genotype x environment interaction for yield and define the stability of varieties, an analysis was performed based on the statistical procedure Ammi-biplot (Vargas and Crossa, 2000), by which significant differences ($p \leq 0.001$) among environments, genotypes and the genotype x environment interaction was detected (Table 5), which is explained in terms of the diversity of environments and genotypes.

The results of the partition of sums of squares for the terms or components of analysis ammi-biplot indicated that the two first components accumulated 66.3% ($p = 0.005$) of the sum of the square of the total variance for yield across environments (Table 6).

According to the graphical representation (Figure 2), the environments or locations studied presented a wide dispersion in their behaviour, that is, they were different in their yield expression. In the locations 3 (Temamatla, CA), 4 (Ahuashuatepec, Tlaxcala), 5 (Ayapango, Mex) and 6 (Amecameca, Mex) with yields of 4.0, 6.4, 6.7 and 6.2 t ha⁻¹, an interaction was detected with the varieties 13, 20, 23 and 25 which show high yield. In this regard, Arellano *et al.* (2010) found that maize hybrid H-66 of high yield in rainfed environments interacted favourably with good locations and good productivity; however, Arellano *et al.* (2011) found that the maize hybrid H-70 of high yield in rainfed and irrigation was stable in favourable intermediate and poor environments. Kang (1998) indicated that the stability of genotypes may or may not be linked with high-yield.

In contrast, genotypes which were considered stable across environments were Nexapa-2, Ahuatepec-3, and Chalma-6 with statistically low yields of 4.7 to 5.1 t ha⁻¹ and

Conclusiones

El 32% de las variedades de maíz azul evaluadas se seleccionaron por su expresión favorable de múltiples caracteres de planta, mazorca y grano; sin embargo, no manifestaron estabilidad del rendimiento. Las variedades con estabilidad del rendimiento presentaron rendimientos de bajo a intermedio, mientras que las variedades que interaccionaron con ambientes de buena productividad presentaron alto rendimiento. La variedad 22, presentó alto rendimiento y estabilidad del rendimiento a través de ambientes.

Literatura citada

Ángeles, G. E.; Ortiz E. T.; López, P. A. y López, G. R. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):287-296.

Antonio, M. M.; Arellano, V. J. L.; García de los S, G.; Miranda, C. S.; Mejía, C. J. A. y González, C. F. V. 2004. Variedades criollas de maíz azul raza Chalqueño. Características agronómicas y calidad de semilla. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1):9-15.

Arellano, V. J. L.; Rojas, M. I. y Gutiérrez, H. G. F. 2013. Híbridos y variedades sintéticas de maíz azul para el Altiplano Central de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(7):999-1011.

Arellano, V. J. L.; Virgen, V. J.; Ávila, P. M. A. y Rojas, M. I. 2011. H-70 híbrido de maíz de alto rendimiento para áreas de temporal y riego del Altiplano Central de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP. Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE). Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). Folleto técnico Núm. 13. 34 pp.

Arellano, V. J. L.; Virgen, V. J.; Ávila, P. M. A. y Rojas, M. I. 2010. H-66 híbrido de maíz para los Valles Altos de los Estados de México y Tlaxcala. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP. Centro de Investigación Regional Centro (CIRCE). Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). Folleto técnico Núm. 43. 30 pp.

Arellano, V. J. L.; Gámez, V. A. J. y Ávila P. M. A. 2010. Potencial agronómico de variedades criollas de maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):37-41.

Arellano, V. J. L.; Tut, C. C.; María, R. A.; Salinas, M. Y. y Taboada, G. O. R. 2003. Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26 (2):101-107.

Badu-Apraku, B.; Fakorede, M. A. and Oyekunle, B. 2014. Agronomic traits associated with genetic gains in maize yield during three breeding eras in West Africa. *Maydica* 59: 49-57.

Betrán, F. J.; Beck, D.; Bazinger, M. and Edmeades, G. O. 2003. Secondary traits in parental inbreds and hybrids under stress and non-stress environments in tropical maize. *Field Crops Res.* 83:51-65.

Bolaños, J. and Edmeades, G. O. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Res.* 48:65-80.

Cocotitlán-22, with high yield and plant characters favourable, so it was defined as blue maize landrace of better behaviour.

The selected based on the criteria of multiple characters (Figure 1) were not stable in terms of yield, except for 22 (Figure 2), this could be attributed to the different characters that influence yield and were integrated in CP2 (ear weight, pods per plant and test weight) interact more intensely with the environment and determined the instability of the yield of selected varieties. Vázquez *et al.* (2012) found that maize hybrids with best expression in the grain quality traits: flotation index and hectoliter weight were not stable in yield.

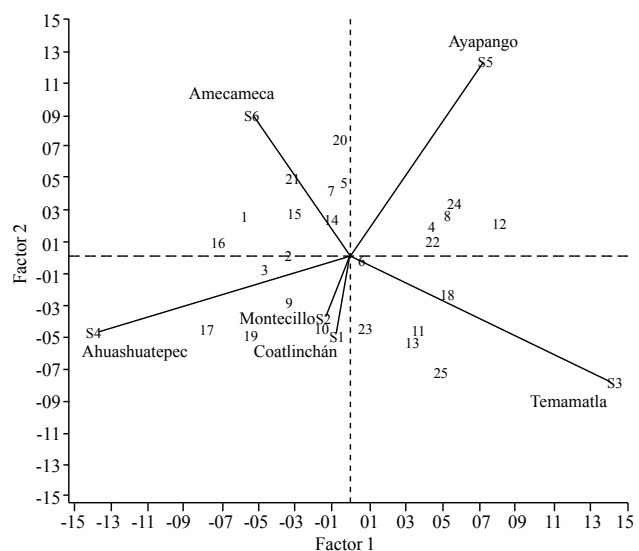


Figura 2. Representación gráfica de la interacción genotipo x ambiente para el rendimiento de variedades de maíz azul Chalqueño en Valles Altos. Los números representan a las variedades enlistadas en el Cuadro 3.

Figure 2. Graphical representation of the genotype x environment interaction for yield varieties of Chalqueño blue maize in High Valleys. The numbers represent the listed varieties in Table 3.

Conclusions

32% of blue maize varieties evaluated were selected for their favourable expression of multiple characters of the plant, ear and grain; however, they did not show stable yield. The varieties with yield stability showed low to intermediate yields, while varieties that interacted with environments of good productivity had high yield. The variety 22 had a high yield and yield stability across the environments.

End of the English version



- Esquivel, E. G.; Castillo G. F.; Hernández, C. J. M.; Santacruz, V. C.; García de los Santos, G. y Acosta, G. J. A. 2013. Aptitud Combinatoria en maíz con divergencia genética en el Altiplano Mexicano. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(1):5-18.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4ª. (Ed.). Instituto de Geografía- Universidad Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 217 p.
- Herrera, C. B. E.; Castillo, G. F.; Sánchez, G. J de J.; Ortega, P. R. y Goodman, M. 2000. Caracteres morfológicos para valorar la diversidad entre poblaciones de maíz en una región: caso la raza Chalqueño. *Rev. Fitotec. Mex.* 23(2):335-354.
- Johnson, R. A. and Wichern, D. W. 1999. *Applied multivariate statistical analysis* 4th (Ed.). Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, USA. 816p.
- Kang, M. S. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Adv. Agron.* 62:199-252.
- Romero, P. J.; Castillo G. F. y Ortega P. R. 2002. Cruzas de poblaciones nativas de maíz de la raza Chalqueño: II. Grupos genéticos, divergencia genética y heterosis. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(1):107-115.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 1999. *SAS user's guide. Statistics. Version 8.* SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 1028.
- Vargas, H. M. y Crossa, J. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del Biplot en SAS. Unidad de Biometría y Estadística. Centro Internacional de Maíz y Trigo (CIMMYT). 42 p.
- Vázquez, C. M. G.; Salinas M. Y.; Rojas M. I.; Arellano, V. J. L.; Velázquez C. G. A. y Espinoza, C. A. 2012. Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz de Valles Altos de Tlaxcala, México. *Rev. Fitotec. Méx.* 35:229-237.