

## Híbridos y variedades sintéticas de maíz azul para el Altiplano Central de México: potencial agronómico y estabilidad del rendimiento\*

### Hybrids and synthetic varieties of blue corn for Central Highlands of Mexico: agronomic potential and yield stability

José Luis Arellano Vázquez<sup>1§</sup>, Israel Rojas Martínez<sup>2</sup> y Germán Fernando Gutiérrez Hernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Valle de México- INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel: 01595 9212681. <sup>2</sup>Estación Experimental Tlaxcala- INIFAP. Carretera Tlaxcala-Santa Ana, km 2.5. Col. Industrial, Tlaxcala. C. P. 90800. Tel: 0124646-46871. <sup>3</sup>Departamento de Bioprocesos, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología- Instituto Politécnico Nacional. Av. Acueducto s/n. C. P. 07340, La Laguna Ticomán, México, D. F. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: arellano.jose@inifap.gob.mx.

#### Resumen

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) determinar el potencial agronómico de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul a través del periodo a floración femenina, resistencia al acame, producción de mazorcas por planta y rendimiento; y 2) conocer la estabilidad del rendimiento de híbridos y variedades sintéticas y seleccionar genotipos estables y de mejor respuesta a ambientes de temporal limitado y de temporal con riego. Se evaluaron 14 híbridos trilineales, 10 variedades sintéticas y la variedad criolla de la región. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones. Los experimentos se establecieron en el estado de Tlaxcala, en las localidades de Benito Juárez y Tlacualpan bajo condiciones de temporal o seco y en Huamantla y Calpulalpan bajo temporal con dos riegos adicionales. Los análisis combinados de varianza detectaron diferencias ( $p \leq 0.001$ ) entre localidades e híbridos para días a floración femenina, acame, mazorcas por planta y rendimiento, en la interacción genotipo x ambiente sólo para rendimiento. Entre localidades el rendimiento varió de 7.8 a 10.6 t ha<sup>-1</sup>, entre híbridos de 7.2 a 10.2. El análisis de la interacción genotipo x ambiente permitió detectar al híbrido HA-911 como un cultivar estable con rendimiento de 10.4 t ha<sup>-1</sup>, a los híbridos HA-912 y HA-913 como cultivares que

#### Abstract

The objectives of this study were 1) to determine the agronomic potential of hybrid and synthetic varieties of blue corn through the silking period, lodging resistance, production of cobs per plant and yield; and 2) to determine yield stability of hybrids and synthetic varieties and select stable genotypes and best response to environments of rainfed limited and rainfed with irrigation. 14 trilinear hybrids were evaluated, 10 synthetic varieties and a landrace from the region. The experimental design was randomized complete block with three replications. The experiment was established in the state of Tlaxcala, in the localities of Benito Juárez and Tlacualpan under rainfed conditions and in Huamantla and Calpulalpan under rainfed with two irrigations. The combined analysis of variance detected differences ( $p \leq 0.001$ ) between localities and hybrids for days to silking, lodging, cobs per plant and yield in genotype x environment interaction for yield. Among localities yield varied from 7.8 to 10.6 t ha<sup>-1</sup>, and among hybrids from 7.2 to 10.2. The analysis of genotype x environment interaction allowed to detect the hybrid HA-911 as a stable cultivar with yields of 10.4 t ha<sup>-1</sup>, for hybrids HA-912 and HA-913 as cultivars that interacted with the best irrigated environment and showed yields of 12.2 and 11.8 t ha<sup>-1</sup>, respectively, and

\* Recibido: febrero de 2013  
Aceptado: junio de 2013

interaccionaron con el mejor ambiente de riego y mostraron rendimientos de 12.2 y 11.8 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, y a las variedades sintéticas VSA-902 y VSA-904 como variedades que interaccionaron con la localidad de temporal limitado y presentaron rendimientos de 9.5 y 9.4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., días a floración femenina, mazorcas por planta, rendimiento.

## Introducción

Se estima que la producción de maíz azul en el Altiplano Central de México es de 200 mil toneladas al año; sin embargo, la demanda real podría ser de más de 300 mil, ya que el precio de compra de maíz azul se mantiene todo el año 70% arriba del de maíz blanco. La demanda estimada se podría satisfacer si los rendimientos promedio actuales por hectárea pasan de 2.5 a 3.75 t ha<sup>-1</sup> en la actual superficie sembrada. Lograr un aumento de 1.25 t ha<sup>-1</sup>, aparentemente no es un problema agronómico ya que se puede elevar la producción con mejores variedades de polinización libre o con híbridos, considerando que el rendimiento por hectárea se puede elevar entre 50 y 60% debido a la contribución genética del híbrido (Duvick, 2005; Lee y Tollenaar, 2007).

En la región de Serdán, Tlachichuca y San Salvador el Seco del estado de Puebla, bajo condiciones de temporal, se observaron rendimientos promedio de cinco localidades de 5.6 a 6.6 t ha<sup>-1</sup> con variedades criollas de la región; sin embargo, en la localidad de mejor precipitación pluvial el rendimiento de las variedades raza Chalqueño logró de 8.7 a 10.5 t ha<sup>-1</sup>. Las limitaciones del rendimiento de éstas variedades fueron el acame de planta que varió de 21 a 25% y la proporción de mazorcas por planta que varió de 0.8 a 1 (Arellano *et al.*, 2003).

En las localidades del valle de México; Coatlinchán y Montecillo, se detectó que las mejores variedades criollas de la raza Chalqueño fueron Pahuacán-13 y Cocotitlán-22 con rendimientos de 5.1 y 5.4 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente; sin embargo, se observó que entre variedades la proporción de mazorcas por planta varió de 0.5 a 0.7, esto es, que por cada 10 plantas sólo se logran de 5 a 7 mazorcas, que los niveles de acame fueron de 5 a 14% y que el intervalo entre floración masculina y femenina varió de 5 a 8 días (Antonio *et al.*, 2004). Una evaluación de variedades azules que comprendió las localidades de Amecameca, Ayapango, Temamatla, Coatlinchán y Montecillo del Estado de México, detectó rendimientos entre variedades

synthetic varieties VSA-902 and VSA-904 as varieties that interacted with localities of limited rainfed and had limited yields of 9.5 and 9.4 t ha<sup>-1</sup>, respectively.

**Key words:** *Zea mays* L., days to silking, cobs per plant, yield.

## Introduction

It is estimated that blue corn production in the Central Highlands of Mexico is 200 000 tons per year; however the actual demand could be more than 300 000, as the purchase price of blue corn remains all year 70% above white corn. The estimated demand could be met if current average yields per hectare go from 2.5 to 3.75 t ha<sup>-1</sup> in the current acreage. Achieving an increase of 1.25 t ha<sup>-1</sup>, apparently is not an agricultural problem, since can increase the production with improved open-pollinated varieties or with hybrids, considering that the yield per hectare can be increased between 50 and 60% due to the genetic contribution of the hybrid (Duvick, 2005; Lee and Tollenaar, 2007).

In the region of Serdán, Tlachichuca and San Salvador el Seco from the state of Puebla, under rainfed conditions, were observed the average yields of five locations ranging from 5.6 to 6.6 t ha<sup>-1</sup> with landrace varieties of the region; however, in the town with the best rainfall, the yield of Chalqueño varieties achieved from 8.7 to 10.5 t ha<sup>-1</sup>. Yield limitations of these varieties were lodging that varied from 21 to 25% and the proportion of cobs per plant varied from 0.8 to 1 (Arellano *et al.*, 2003).

In the localities from Valley of Mexico, Coatlinchán and Montecillo, were found that the best landraces of Chalqueño race were Pahuacán-13 and Cocotitlán-22 with yields of 5.1 and 5.4 t ha<sup>-1</sup>, respectively; however, was observed that between varieties the ratio of cobs per plant ranged from 0.5 to 0.7, this is, that for every 10 plants only 5 to 7 cobs are achieved, lodging levels were 5 to 14% and the interval between male and female silking ranged from 5 to 8 days (Antonio *et al.*, 2004). An evaluation blue corn variety that included the localities of Amecameca, Ayapango, Temamatla, Coatlinchán and Montecillo from the state of Mexico, detected yields between varieties of Chalqueño races of 4.7 to 6.5 with high level of lodging 9 to 8% and a low proportion of cobs per plant of 0.6 to 0.8. Of these varieties, Cocotitlán-22 was the best with average yield of 6.4 t ha<sup>-1</sup>, 0.8 cobs per plant and 13% of plant lodging (Arellano and Gutiérrez, 2011).

de la raza Chalqueño de 4.7 a 6.5 con alto nivel de acame de 9 a 8% y baja proporción de mazorcas por planta de 0.6 a 0.8. De esas variedades, Cocotitlán-22 fue la mejor con rendimiento promedio de 6.4 t ha<sup>-1</sup>, 0.8 mazorcas por planta y 13% de acame de planta. (Arellano y Gutiérrez, 2011).

De los resultados anteriores se puede señalar que existe buen potencial de rendimiento en las variedades criollas regionales; sin embargo, su nivel de acame de planta es un carácter adverso al rendimiento, principalmente cuando ocurre durante la floración y llenado de mazorca. La alternativa a las variedades de polinización libre podrían ser los híbridos, ya que han mostrado rendimientos de 5.5 a 6 t ha<sup>-1</sup>, en ambiente con efectos de sequía en Zotoluca, Hidalgo y de 12 a 14 bajo ambiente favorable de precipitación pluvial y amplio periodo libre de heladas en Espíritu Santo, Tlaxcala.

Los objetivos del presente estudio son: 1) conocer el potencial agronómico a través del rendimiento y los caracteres de planta floración femenina, mazorcas por planta, acame y altura de planta de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul evaluados en varios ambientes; y 2) definir la estabilidad del rendimiento de híbridos y variedades sintéticas y seleccionar genotipos estables y los que interaccionen con ambientes favorables y desfavorables.

## Materiales y métodos

Material genético. Se evaluaron 14 híbridos trilineales y 10 variedades sintéticas de maíz azul con adaptabilidad a altitudes de 2 300 a 2 700 m generados por el Programa de Mejoramiento Genético de Maíz Pigmentado del Campo Experimental Valle de México, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La variedad testigo fue un maíz criollo azul de Tlaxcala. Los híbridos y variedades sintéticas se constituyeron a partir de líneas S<sub>5</sub>, cuya aptitud combinatoria general y específica fue detectada (Arellano, 2010).

Las fuentes de germoplasma que intervinieron en las líneas progenitoras de híbridos y variedades sintéticas fueron: maíz azul de la raza Bolita, elegido por su porte bajo de planta, resistencia al acame, color azul y dureza del grano, maíz azul de la raza Chalqueño que expresa buen rendimiento en valles altos, intensa coloración de antocianinas en grano y grano grande, a los cuales también se determinó su aptitud combinatoria general y específica como poblaciones

From the above results it can be pointed out that there is a good yield potential in regional landraces; however, its lodging level is an adverse character to yield, especially when it occurs during silking and cob filling. The alternative to open-pollinated varieties could be hybrids, as they have shown yields of 5.5 to 6 t ha<sup>-1</sup>, in environment with drought effect in Zotoluca, Hidalgo and of 12 to 14 under favorable environment of rainfall and broad frost-free period in the Espíritu Santo, Tlaxcala.

The objectives of this study are: 1) to understand the agronomic potential through yield and plant traits female flowering, cobs per plant, lodging and plant height of hybrids and synthetic varieties of blue corn evaluated in various environments; and 2) define yield stability of hybrids and synthetic varieties and select stable genotypes and that interact with favorable and unfavorable environments.

## Materials and methods

Genetic material. 14 trilinear hybrids and 10 synthetic varieties of blue corn were evaluated with adaptability to altitudes of 2 300 - 2 700 m generated by the Genetic Improvement Program of the Experimental Pigmented Maize from the experimental field Valley of Mexico, from the National Institute for Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP). The check variety was a blue landrace from Tlaxcala. The hybrids and synthetic varieties were formed from the lines S<sub>5</sub>, whose general and specific combining ability was detected (Arellano, 2010).

Germplasm sources involved in parental lines of hybrids and synthetic varieties were: Blue Corn from Bolita race, chosen for its low plant height, lodging resistance, blue and grain hardness, blue corn Chalqueño race that expresses good yield in high valleys, intense color of anthocyanins in grain and large grain, to which also was determined its general and specific combining ability as populations (Arellano, 2006) and commercial white corn hybrid form High Valleys of INIFAP as a source of resistance to lodging, short and semi crystalline grain texture.

Synthetic variety is defined as the first generation or an advanced generation of a multiple hybrid that is preserved by mass selection (Jugenheimer, 1981). Synthetic varieties are open pollinated populations formed by the crossing of a

(Arellano, 2006) y maíz blanco de híbridos comerciales de Valles Altos del INIFAP, como fuente de resistencia al acame, porte bajo y textura semicristalina de grano.

Se define como variedad sintética a la primera generación o a las generaciones avanzadas de un híbrido múltiple que se conserva por selección masal (Jugenheimer, 1981). Las variedades sintéticas son poblaciones de polinización libre formadas por el entrecruzamiento de un grupo de líneas (Bernardo, 2002). En gran medida las generaciones avanzadas de los híbridos de maíz que se utilizan en las regiones de temporal de los valles altos son equivalentes a variedades sintéticas, y se utilizan debido al éxito en rendimiento que tuvo el productor con la semilla original del híbrido, y al costo de la semilla que represente un elevado gasto que debe hacer cada año. Las variedades sintéticas son considerablemente más variables que los híbridos de cruce simple o doble, ésta característica debe permitir mayor flexibilidad para hacer frente a condiciones de crecimiento variables, por lo que el desempeño de los sintéticos puede ser más confiable que el de los híbridos en áreas de precipitación pluvial y suelos con mayor variabilidad (Jugenheimer, 1981).

Localidades y fecha de siembra. Los experimentos se establecieron en las localidades de San Luis Huamantla, Benito Juárez, San Pedro Tlacualpan y Calpulalpan del estado de Tlaxcala cuyas características geográficas y climáticas se describen en el Cuadro 1. La siembras se realizaron entre el 20 de abril y el 25 de mayo de 2010, el cultivo se desarrollo bajo condiciones de temporal o seco, excepto en las localidades de San Luis Huamantla y Calpulalpan donde se aplicó un riego de emergencia y un riego durante la etapa de llenado de mazorca.

**Cuadro 1. Características geográficas y climáticas de las localidades donde se establecieron los experimentos de maíz azul en los Valles Altos del estado de Tlaxcala, México 2010.**

**Table 1. Geographical and climatic characteristics of the localities where established the blue corn experiments in the high valleys of the state of Tlaxcala, Mexico 2010.**

Localidad	Altitud <sup>(1)</sup> (msnm)	Temp. <sup>(1)</sup> Media (°C)	Lluvia <sup>(1)</sup> anual (mm)	Clima <sup>(1)</sup>	Tipo de suelo
Benito Juárez	2 450	14.0	660	C(w 0)(w)b(I')g	Franco-arenoso
Huamantla	2 500	14.5	716	C(w''2)(w)b(i)g	Franco-arenoso
Tlacualpan	2 500	13.6	740	C(w''1)(w)b i g	Franco arenoso
Calpulalpan	2 600	13.1	650	C(w 0)(w)b(I')g	Limo-arcillo-arenoso

<sup>(1)</sup>Fuente: García, E. (1973).

Manejo agronómico de los experimentos. Se aplicó la fórmula de fertilización 140N-60P-30K para las localidades de Huamantla y Calpulalpan (Arellano *et al.*, 2010), mientras que para Benito Juárez y Tlacualpan 150N-60P-30K, la

group of lines (Bernardo, 2002). Greatly advanced generations of corn hybrids used in rainfed regions of high valleys are equivalent to synthetic varieties, and are used due to the success in yield which had the producer with the original seed of the hybrid, and to the cost of seed that represents a high cost that has to do each year. Synthetic varieties are considerably more variable than single or double cross hybrids, this trait should allow greater flexibility to deal with varying growth conditions, so that the performance of synthetics can be more reliable than the hybrids in areas of rainfall and soils with greater variability (Jugenheimer, 1981).

Locations and planting date. The experiments were established in the localities of San Luis Huamantla, Benito Juárez, San Pedro Tlacualpan and Calpulalpan from the state of Tlaxcala whose geographical and climatic characteristics are described in Table 1. The plantings were made between April 20 and May 25, 2010, the crop was develop under rainfed conditions, except in the localities of San Luis Huamantla and Calpulalpan where irrigation was applied at emergency and another irrigation during the cob filling stage.

Agronomic management of the experiments. It was applied the fertilization formula 140N-60P-30K for the localities of Huamantla and Calpulalpan (Arellano *et al.*, 2010), while for Benito Juarez and Tlacualpan 150N-60P-30K, planting density was 65000 plants per hectare, a pre-emergent herbicide application was applied with Gesaprim C90 (Atrazine 455 g i.a. l<sup>-1</sup>) at 2.0 l ha<sup>-1</sup>.

Experimental design and data recorded. The experimental design used was a randomized complete block with three replications; the plot size was two rows of 5 x 0.8 m. The data

recorded were: days to female flowering (FF) considered as the number of days from planting to emergence of stigmas; plant height (AP), measured from the ground surface to the base of the spike, expressed in cm; height of cob (AM)

densidad de siembra fue de 65 mil plantas por hectárea, se hizo una aplicación de herbicida preemergente con Gesaprim C90 (Atrazina 455 g i. a. l<sup>-1</sup>) a razón de 2.0 l ha<sup>-1</sup>.

Diseño experimental y datos registrados. Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, el tamaño de parcela fue de dos surcos de 5 x 0.8 m. Los datos registrados fueron: días a floración femenina (FF) considerados como el número de días transcurridos de la siembra a la emergencia de los estigmas; altura de planta (AP), medida desde la superficie del suelo hasta la base de la espiga, expresada en cm; altura de mazorca (AM) desde la superficie del suelo hasta la base de inserción de la mazorca principal, expresada en cm; número de mazorcas por planta (MPP) resultante de dividir el número de mazorcas cosechadas por parcela entre el número de plantas por parcela al momento de la cosecha.

Calificación visual de acame (ACA). Con escala de calificación de 1 a 5, donde 1 es igual a plantas sin acame y 5 es acame total, rendimiento de grano por hectárea (REND), calculado como el producto del peso de mazorca por parcela a la cosecha, por el contenido de materia seca del grano y estandarizado a 14% de humedad del grano, por la proporción del peso de grano respecto al peso total de mazorca, por el factor de conversión de la superficie experimental cosechada para expresarlo en t ha<sup>-1</sup>; densidad de población a la cosecha (DP) número de plantas por parcela a la cosecha multiplicado por el factor de conversión de la superficie de la parcela respecto a una hectárea, expresado en miles de plantas por hectárea.

Análisis estadístico de datos. Con los datos registrados se hicieron análisis de varianza de los experimentos en conjunto, la comparación de medias se hizo con base en la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad del error. Adicionalmente se realizó un análisis de la interacción genotipo x ambiente del rendimiento en base al procedimiento propuesto por Vargas y Crossa (2010). Los análisis estadísticos se hicieron utilizando el paquete SAS para Windows versión 8.0.

## Resultados y discusión

Se detectaron diferencias estadísticas ( $p \leq 0.001$ ) entre localidades para todas las variables, entre híbridos y sintéticos ( $p \leq 0.01$ ) para días a floración femenina, acame de planta, mazorcas por planta y rendimiento y en la interacción híbridos-sintéticos x localidades sólo para rendimiento (Cuadro 2), lo cual evidencia que la variación ambiental

from the soil surface to the base of the main cob position, expressed in cm, number of cobs per plant (MPP) resulting by dividing the number of cobs harvested per plot by the number of plants per plot at the time of harvest.

Visual rating of lodging (ACA). With rating scale of 1 to 5, where 1 is equal to plants without lodging and 5 is total lodge, grain yield per hectare (YIELD), calculated as the product of cob weight per plot at harvest, for the content of dry matter from the grain and standardized to 14% moisture content of the grain, for the proportion of grain weight regarding total weight of cob, by the conversion factor of the experimental surface harvested to express it in t ha<sup>-1</sup>; population density at harvest (DP) number of plants per plot at harvest multiplied by the conversion factor of the surface of the plot regarding to one hectare, expressed in thousands of plants per hectare.

Statistical analysis of data. With the recorded data was made an analysis of variance in conjunction of the experiments, the comparison of means was made based on the Tukey test at 0.05 probability of error. Additionally an analysis of genotype x environment interaction was made from the yield based on the procedure proposed by Vargas and Crossa (2010). Statistical analyzes were performed using SAS for Windows version 8.0.

## Results and discussion

Statistical differences were detected ( $p \leq 0.001$ ) among localities for all variables, between hybrids and synthetics ( $p \leq 0.01$ ) for days to silking, lodging, cobs per plant and yield and in the interaction- hybrid-synthetic x localities only for yield (Table 2), which shows that environmental variation among localities was very important for the expression of yield and traits, while the difference between genotypes indicates the existence of genetic variability for the measured traits and the significance of the genotype x environment interaction is mainly due to the effect of environmental changes on the yield of genotypes.

### Behavior among localities

In Calpulalpan and Huamantla were observed the highest yields of 10.6 and 9 t ha<sup>-1</sup>, respectively, this could be attributed to a higher amount and better distribution of rainfall and to auxiliary irrigations applied during the vegetative and grain

entre localidades fue muy importante para la expresión del rendimiento y los caracteres, mientras que la diferencia entre genotipos indica la existencia de variabilidad genética para los caracteres medidos y la significancia de la interacción genotipo x ambiente se debe principalmente al efecto de los cambios ambientales sobre el rendimiento de los genotipos.

filling period and characteristics of texture and soil fertility, while in Benito Juárez and Tlaxcalpan, the yields achieved were 8.2 and 7.8 t ha<sup>-1</sup>, respectively, this result could be attributed to a period of drought during flowering and initial stage of grain filling (Table 3). Under these environmental conditions, nutritional deficiencies should occur induced by

**Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística para los caracteres en el análisis de varianza de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul en Valles Altos de Tlaxcala, México.**

**Table 2. Mean square and statistical significance for the traits in the analysis of variance of hybrids and synthetic varieties of blue corn in the high valleys of Tlaxcala, Mexico.**

F de V	g l	Cuadrados medios de los caracteres					
		FF	AP	ACA	MPP	REND	DP
Localidades	3	355.4**	9813.5**	22172.9**	0.2**	112631095 **	805.9**
Reps. (loc)	8	41.6	264.4	327.0	0.3	675424.1	69.7
Variedades	24	15.2**	359.4	790.4**	0.1**	8240574.2 **	36.8
Locs. * Vars.	72	10.1	232.7	325.0	0.2	3469440.2 **	77.0 **
Error	192	8.1	273.1	225.3	0.01	295491.0	48.2
Total	299						
C de V		2.8	7.0	27.0	12.1	8.9	10.6

\*\* Significancia al 0.01 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; F de V= fuente de variación; g l= grados de libertad; FF= días a floración femenina; AP= altura de planta en cm; ACA= calificación de acame de planta; MPP= número de mazorcas por planta; REND= rendimiento de grano en t ha<sup>-1</sup>; DP= densidad de población a la cosecha en plantas ha<sup>-1</sup>.

**Comportamiento entre localidades**

En Calpulalpan y Huamantla se observaron los rendimientos más altos de 10.6 y 9 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, esto podría atribuirse a una mayor cantidad y mejor distribución de la precipitación pluvial y a los riegos de auxilio aplicados durante el periodo vegetativo y de llenado del grano y a las características de textura y fertilidad del suelo, mientras que en Benito Juárez y Tlaxcalpan, los rendimientos logrados fueron de 8.2 y 7.8 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, éste resultado podría atribuirse a un periodo de sequía durante la floración y la etapa inicial de llenado de grano (Cuadro 3). Bajo esas condiciones ambientales, debieron ocurrir deficiencias nutrimentales inducidas por la sequía, que restringieron la absorción y el suministro de nitrógeno a la planta, con las concurrentes reducciones en el número de espiguillas diferenciadas y el número de granos potenciales (Jacobs y Pearson, 1991).

El periodo a floración femenina entre localidades varió de 98 a 103 y la altura de planta de 218 a 245 cm. En Calpulalpan se observó menor periodo a floración femenina y mayor altura de planta estas respuestas son congruentes con un ambiente de mayor disponibilidad de humedad. En acame de planta las calificaciones variaron de 1.3 a 1.5, esto es, entre 8 y 12% de acame. En mazorcas por planta, la

drought, which restricted the absorption and nitrogen supply to the plant, with concurrent reductions in the number of differentiated spikelets and the number of potential grains (Jacobs and Pearson, 1991).

The period of female flowering between localities ranged from 98 to 103 and plant height of 218-245 cm. In Calpulalpan was observed a lower female flowering period and higher height of plants; these responses are consistent with an environment of increased moisture availability. In plant lodging the rating ranged from 1.3 to 1.5, that is, between 8 and 12% of lodging. In cobs per plant, the expression was positive across localities, as observed scores ranged from 1.1 to 1.2, reflecting a good cob production potential of hybrid and synthetic varieties of blue corn. Although the localities of Calpulalpan and Tlaxcalpan contrast due to the availability of moisture, the first with favorable and the second unfavorable conditions, these did not differ significantly in the number of cobs per plant (Table 3), which implies that the unfavorable environment of Tlaxcalpan did not restrict the differentiation of cob, but the development of cobs and grains formed, possibly due to the wide gap between the male and female flowering, which ultimately reflected in lower grain yield per hectare.

expresión fue favorable a través de las localidades, ya que las calificaciones observadas variaron de 1.1 a 1.2, lo cual refleja un buen potencial de producción de mazorca de los híbridos y variedades sintéticas de maíz azul. Aunque las localidades de Calpulalpan y Tlacualpan contrastan debido a la disponibilidad de humedad, la primera con condiciones favorables y la segunda desfavorables, éstas no difirieron significativamente en el número de mazorcas por planta (Cuadro 3), lo cual implica que el ambiente desfavorable de Tlacualpan no restringió la diferenciación de mazorca, sino el desarrollo de las mazorcas y granos formados, posiblemente debido al amplio intervalo entre la floración masculina y femenina, que finalmente se reflejan en un menor rendimiento de grano por hectárea.

Claassen y Shaw (1970) observaron que cuando el marchitamiento ocurre tres semanas después de la floración, la reducción en el rendimiento fue de 30%. Según Grant *et al.* (1989) a los siete días después de la floración femenina ocurre la mayor sensibilidad al déficit de agua, por lo que el número de granos por planta se puede reducir a 45%, mientras que entre los 12 y 16 días después de la floración la sequía reduce el peso del grano a 51%, respecto al testigo.

Claassen and Shaw (1970) observed that when the wilting occurs three weeks after flowering, the reduction in yield was 30%. According to Grant *et al.* (1989) at seven days after female flowering occurs greater sensitivity to water deficit, so that the number of kernels per plant can be reduced to 45%, whereas between 12 and 16 days after flowering, drought reduces grain weight 51%, compared to the check.

### Behavior of hybrid and synthetic varieties

The best hybrids and synthetic varieties yielded between 9.4 and 10.2 t ha<sup>-1</sup> and established a yield differential regarding to the local check landrace of 44 to 56%. In female flowering with 97 to 100 days, were characterized as intermediate to late varieties. The lodging was mainly due to deficiencies in the root system, its magnitude varied between 1.2 and 2.1, which is equivalent to values of 5 to 15% of lodged plants, which are low to moderate levels. In hybrid and synthetic varieties the proportion of cobs per plant ranged from 1 to 1.3 that is considered very favorable. Within the group of hybrids that showed the highest yield of 9.4 to 10.2 ( $p \leq 0.05$ ), were placed the synthetic varieties VSA-902 and VSA-904

**Cuadro 3. Medias de rendimiento de grano y caracteres de planta de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul evaluados en localidades de Tlaxcala, México.**

**Table 3. Means of grain yield and plant traits of hybrid and synthetic varieties of blue corn evaluated in localities of Tlaxcala, Mexico.**

Localidad	FF (días)	AP (cm)	ACA (1 - 5)	MPP	REND (t ha <sup>-1</sup> )	DP (pls. ha <sup>-1</sup> )
Benito Juárez	100.3 b	218 c	1.3 b	1.1 b	8.2 c	62067 b
Huamantla	103.0 a	235 b	1.5 a	1.1 b	9.0 b	64733 a
Tlacualpan	98.4 c	239 a	1.5 a	1.2 a	7.8 d	63267 a
Calpulalpan	98.0 c	245 a	1.3 b	1.2 a	10.6 a	63833 a
Tukey 0.05	1.2	6.9	0.2	0.05	0.23	1904

Medias en una columna con la misma literal son estadísticamente similares (Tukey, 0.05). FF= días a floración femenina; AP= altura de planta en cm; ACA= calificación de acame de planta; MPP= número de mazorcas por planta; REND= rendimiento de grano en t ha<sup>-1</sup>; DP= densidad de población a la cosecha, plantas ha<sup>-1</sup>.

### Comportamiento de híbridos y variedades sintéticas

Los mejores híbridos y variedades sintéticas rindieron entre 9.4 y 10.2 t ha<sup>-1</sup> y establecieron un diferencial de rendimiento respecto a la variedad testigo criollo local de 44 a 56%. En floración femenina con 97 a 100 días, se caracterizaron como variedades de tipo intermedio a tardío. El acame observado se debió principalmente a deficiencias en el sistema radical, su magnitud varió entre 1.2 y 2.1, que equivalen a valores de 5 a 15% de plantas acamadas, que son niveles de bajos a moderados. En híbridos y variedades sintéticas la proporción de mazorcas por planta varió de 1 a 1.3 que se considera muy

with yields of 9.7 and 9.5 t ha<sup>-1</sup>, respectively (Table 3), this indicates that are varieties of good yield potential, probably due to favorable general combining ability between their parents, since they were integrated with three single crosses which involved five lines.

This result agrees with that obtained by Cordova and Marquez (1976) who observed the highest yields of synthetic corn formed with five lines and with those obtained in rye by Wricke and Weber (1978) and could also be ascribed to the lower rate of inbreeding depression manifested in synthetic varieties developed from a small number of single crosses

favorable. Dentro del grupo de híbridos que mostraron el mayor rendimiento de 9.4 a 10.2 ( $p \leq 0.05$ ), se ubicaron las variedades sintéticas VSA-902 y VSA-904 con rendimientos de 9.7 y 9.5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Cuadro 3), esto indica que son variedades de buen potencial de rendimiento, probablemente debido a la aptitud combinatoria general favorable que existe entre sus progenitores, ya que fueron integradas con tres cruza simples donde participan cinco líneas.

Éste resultado concuerda con lo obtenido por Córdova y Márquez (1976) quienes observaron los más altos rendimientos de sintéticos de maíz formados con cinco líneas y con lo obtenido en centeno por Wrickey y Weber (1978) y podría atribuirse también al menor índice de depresión endogámica que se manifiesta en variedades sintéticas desarrolladas a partir de un número reducido de cruza simples (Sahagún, 2011). Situación contraria fue observada en el caso de los sintéticos VSA-906, VSA-901, VSA-905, VSA-909 y VSA-907 que presentaron los rendimientos más bajos, estadísticamente, de 8.2 a 7.2 t ha<sup>-1</sup>, dichos genotipos fueron integraron con seis cruza simples donde participaron nueve líneas.

Es importante señalar que con excepción de la VSA-907, todas las variedades sintéticas superaron estadísticamente al rendimiento de la variedad testigo de maíz criollo con cantidades de 1.2 a 3.2 t ha<sup>-1</sup>. Respecto a la densidad de población de plantas registradas a la cosecha, se observaron de 62 291 a 67 395 plantas por hectárea (Cuadro 4), que representan densidades propias para siembra de híbridos en áreas de buena productividad, esto indica que los híbridos y variedades sintéticas del estudio se sometieron a la presión de alta densidad de siembra y respondieron favorablemente a la competencia establecida entre plantas.

(Sahagun, 2011). Contrary situation was observed in the case of synthetic VSA-906, VSA-901, VSA-905, VSA-909 and VSA -907 that had the lowest yields, statistically, from 8.2 to 7.2 t ha<sup>-1</sup>, these genotypes were integrated with six single crosses which involved nine lines.

It is important to note that with the exception of the VSA-907, all synthetic varieties statistically exceeded the yield of the check variety with amounts of 1.2 to 3.2 t ha<sup>-1</sup>. Regarding to population density of plant recorded at harvest, were observed 62 291 to 67 395 plants per hectare (Table 4), representing densities for planting of hybrid in areas of high productivity; this indicates that hybrids and synthetic varieties from the study underwent the pressure of high planting density and responded favorably to the established competition between plants.

#### Localities interaction by varieties

The behavior of varieties differed between locations, since variety x location interaction was highly significant for yield (Table 2). Thus, in the localities Calpulalpan and Huamantla that had favorable environmental conditions due to the application of irrigation after planting and during cob filling, were identified the hybrids HA-905, HA-912, HA-913 and HA- 914. With yields of 9.7 to 12.2 tha<sup>-1</sup>.

While in Benito Juarez and Tlacualpan that were rainfed locations, the best hybrid was HA-911 with yield of 9.8 to 11.2 t ha<sup>-1</sup> this result could be interpreted in terms of stability of this hybrid yield. Arellano *et al.* (2011) found yield stability of hybrid H-70 through favorable, intermediate and unfavorable environments. It is noteworthy that

#### Cuadro 4. Medias para rendimiento de grano, días a floración femenina y otros caracteres de planta de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul evaluados en localidades de Tlaxcala, México.

Table 4. Means for grain yield, days to silking and other plant traits of hybrids and synthetic varieties of blue corn evaluated in localities of Tlaxcala, Mexico.

Variedad	REND (t ha <sup>-1</sup> )	FF (días)	AP (cm)	ACA (1 -5)	MPP	DP (pls ha <sup>-1</sup> )
11 HA-911	10.2 a	99 a	237 a	1.2 c	1.1 b	67185 a
1 HA-901	10.1 a	97 b	236 a	1.6 a	1.3 a	67395 a
14 HA-914	9.9 a	98 a	238 a	1.6 b	1.2 a	65729 a
16 VSA-902	9.7 a	100 a	235 a	1.4 c	1.3 a	66014 a
7 HA-907	9.6 a	99 a	231 a	1.5 b	1.0 c	67500 a
12 HA-912	9.6 a	100 a	227 a	1.5 a	1.0 c	65000 a
8 HA-908	9.5 a	98 a	238 a	1.6 a	1.2 a	62708 a
18 VSA-904	9.5 a	100 a	226 a	1.6 b	1.2 a	65000 a
13 HA-913	9.5 a	99 a	240 a	1.6 a	1.2 a	62500 a
2 HA-902	9.4 a	99 a	243 a	1.6 b	1.0 c	66354 a
10 HA-910	9.4 a	100 a	242 a	1.4 a	1.1 b	66562 a

Medias en una columna con la misma literal son estadísticamente similares (Tukey, 0.05). REND= rendimiento de grano; FF= días a floración femenina; AP= altura de planta; ACA= calificación de acame de plantas; MPP= número de mazorcas por planta; DP= densidad de población a la cosecha, plantas ha<sup>-1</sup>.



**Cuadro 4. Medias para rendimiento de grano, días a floración femenina y otros caracteres de planta de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul evaluados en localidades de Tlaxcala, México (Continuación).**

**Table 4. Means for grain yield, days to silking and other plant traits of hybrids and synthetic varieties of blue corn evaluated in localities of Tlaxcala, Mexico (Continuation).**

Variedad	REND (t ha <sup>-1</sup> )	FF (días)	AP (cm)	ACA (1 -5)	MPP	DP (pls ha <sup>-1</sup> )
6 HA-906	9.3 b	99 a	231 a	1.7 a	1.1 b	66770 a
5 HA-905	9.2 c	100 a	233 a	1.5 a	1.0 c	64166 a
3 HA-903	8.8 d	98 a	230 a	1.6 a	1.0 c	63020 a
22 VSA-908	8.6 e	101 a	235 a	1.7 a	1.1 b	67500 a
17 VSA-903	8.6 e	101 a	240 a	1.6 b	1.2 a	67083 a
24 VS-910	8.4 f	101 a	230 a	1.5 b	1.2 a	63750 a
4 HA-904	8.2 g	98 a	243 a	1.4 a	1.0 c	63654 a
9 HA-909	8.2 g	100 a	226 a	1.6 a	1.0 c	65312 a
20 VSA-906	8.2 g	99 a	242 a	1.3 c	1.2 a	65312 a
15 VSA-901	8.0 g	100 a	227 a	1.4 c	1.2 a	64062 a
19 VSA-905	7.8 h	101 a	228 a	1.7 b	1.2 a	63020 a
23 VSA-909	7.7 i	101 a	231 a	1.6 b	1.2 a	65104 a
21 VSA-907	7.2 j	99 a	236 a	1.4 c	1.1 b	62291 a
25 Criollo	6.5 j	100 a	232 a	2.1 a	0.9 d	67601 a
Tukey 0.05	0.83	4.3	25.0	0.6	0.21	10530

Medias en una columna con la misma literal son estadísticamente similares (Tukey, 0.05). REND= rendimiento de grano; FF= días a floración femenina; AP= altura de planta; ACA= calificación de acame de plantas; MPP= número de mazorcas por planta; DP= densidad de población a la cosecha, plantas ha<sup>-1</sup>.

### Interacción localidades por variedades

El comportamiento de variedades difirió entre localidades, ya que la interacción variedades por localidades resultó altamente significativa para rendimiento (Cuadro 2). Así, en las localidades Calpulalpan y Huamantla que tuvieron condiciones ambientales favorables debido a la aplicación de riego después de la siembra y en la etapa de llenado de mazorca, se identificaron los híbridos HA-905, HA-912, HA-913 y HA-914. Con rendimientos de 9.7 a 12.2 t ha<sup>-1</sup>.

Mientras que en Benito Juárez y Tlaxcala que fueron localidades de temporal o secano, el mejor híbrido fue HA-911 con rendimiento de 9.8 a 11.2 t ha<sup>-1</sup> éste resultado podría interpretarse en términos de estabilidad del rendimiento de ese híbrido. Arellano *et al.* (2011) detectaron estabilidad del rendimiento del híbrido H-70 a través de ambientes favorables, intermedios y desfavorables. Es importante mencionar que en Tlaxcala la variedad sintética VSA-902, con rendimiento de 10.9 t ha<sup>-1</sup>, resultó similar ( $p \leq 0.05$ ) al híbrido HA-911 (Cuadro 5), lo cual podría atribuirse a su mayor variabilidad genética que les permitió amortiguar mejor las condiciones ambientales, ya que en ellas intervienen entre 6 y 8 líneas en tres y cuatro cruces simples. Kutka y Smith (2007) concluyen que el número de líneas necesarias para formar sintéticos de alto rendimiento fue de cinco a ocho. Jugenheimer (1981) indica que las variedades sintéticas son considerablemente más variables que los

in Tlaxcala the synthetic variety VSA-902, with yield of 10.9 t ha<sup>-1</sup>, was similar ( $p \leq 0.05$ ) to the hybrid HA-911 (Table 5), which could be attributed to their greater genetic variability allowing to cushion better the environmental conditions as in them intervene between 6 and 8 lines in three and four single crosses. Kutka and Smith (2007) conclude that the number of lines required to form high yield synthetics was of five to eight. Jugenheimer (1981) indicates that synthetic varieties are considerably more variable than single or double cross hybrids, so that their performance can be more reliable than the hybrids in areas of rainfall and soils with greater variability.

It is particularly important the performance of synthetic varieties VSA-902 and VSA-904, since both showed high yield in both the deficient rainfall environment from Tlaxcala as in the best environment with supplemental irrigation of Calpulalpan (Table 5). They are synthetic varieties integrated with three single crosses which involved four lines.

### Yield stability of hybrid and synthetic varieties

The analysis of genotype x environment interaction through the Ammi biplot statistical procedure proposed by Vargas and Crossa (2000), detected significant differences ( $p < 0.001$ ) among environments, genotypes and genotype x environment interaction (Table 6), which is explained in function of the diversity of genotypes and environments.

híbridos de cruce simple o doble, por lo que su desempeño puede ser más confiable que el de los híbridos en áreas de precipitación pluvial y suelos con mayor variabilidad.

Resulta particularmente importante el desempeño de las variedades sintéticas VSA-902 y VSA-904, ya que ambas mostraron rendimiento alto tanto en el ambiente de temporal deficiente de Tlaxcalpan como en el mejor ambiente con riego de auxilio de Calpulalpan (Cuadro 5). Ellas son variedades sintéticas integradas con tres cruces simples donde intervienen cuatro líneas.

The results of the separation of square sums for the terms or components from the Ammi analysis indicated that the first two components accumulated 82% of sum of squares of the total variance for yield and were significant ( $p < 0.001$ , Table 7).

According to the results (Table 8) and the graph obtained (Figure 1), genotypes 9, 11 and 22 representing the hybrid HA-909, HA-911 and VSA-908, respectively, were the most stable, while the genotypes HA-910 and blue landrace

**Cuadro 5. Rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul sobresalientes por localidad en los Valles Altos de Tlaxcala, México.**

**Table 5. Yield ( $t\ ha^{-1}$ ) of outstanding hybrids and synthetic varieties of blue corn by locality in the high valleys of Tlaxcala, Mexico.**

Benito Juárez		Huamantla		Tlaxcalpan		Calpulalpan	
Var	REND	Var	REND	Var	REND	Var	REND
HA-913	10.0 a	HA-901	11.5 a	HA-911	11.0 a	HA-912	12.2 a
HA-902	9.8 a	HA-905	11.0 a	VSA-902	10.9 a	VSA-904	12.1 a
HA-911	9.8 a	HA-908	10.7 a	VSA-904	9.4 b	HA-905	11.9 a
HA-907	9.7 a	HA-914	10.5 a	VSA-910	9.3 b	HA-913	11.8 a
HA-910	9.5 a	HA-907	10.3 a	HA-914	9.2 b	HA-910	11.6 a
HA-906	9.3 b	HA-912	9.9 b	VSA-908	9.0 c	HA-914	11.4 a
HA-912	9.2 c	HA-902	9.8 b	HA-901	9.0 c	HA-911	11.2 a
HA-901	9.1 d	HA-913	9.7 b	HA-903	8.6 c	VSA-902	11.1 a
HA-908	8.9 e	HA-906	9.2 c	VSA-903	8.5 c	HA-902	10.8 a
Tukey 0.05	0.6		1.2		0.6		3.1

**Estabilidad del rendimiento de híbridos y variedades sintéticas**

El análisis de la interacción genotipo x ambiente por medio del procedimiento estadístico Ammi biplot propuesto por Vargas y Crossa (2000), detectó diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) entre ambientes, genotipos y en la interacción genotipo x ambiente (Cuadro 6), lo cual se explica en función de la diversidad de genotipos y ambientes.

interacted with the locality Benito Juárez, HA-908 and VSA-905 with Huamantla, HA-903, VSA-902 and VSA-904 with Tlaxcalpan and HA-912 and HA-913 with Calpulalpan.

Considering the analysis of genotype x environment interaction is feasible to determine with greater precision that the hybrid HA-911 was stable, while synthetic varieties VSA-902 and VSA-904 interacted with the relatively most

**Cuadro 6. Resultados del análisis de varianza de la interacción genotipo x ambiente para rendimiento de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul en ambientes de Valles Altos de Tlaxcala, México.**

**Table 6. Results of analysis of variance of genotype x environment interaction for yield of hybrid and synthetic varieties of blue corn in environments of high valleys of Tlaxcala, Mexico,**

F de V	g l	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Prob. F
Repeticiones	2	3.7	1.8	2.8	0.0800
Ambientes	3	343.8	114.6	173.3	0.0001
Genotipos	24	178.0	7.4	11.2	0.0001
Amb. x genotipo	72	250.7	3.4	5.2	0.0001
Error	198	130.9	0.66		

C de V 9%.

Los resultados de la separación de sumas de cuadrados para los términos o componentes del análisis Ammi, indicaron que los dos primeros componentes acumularon 82% de la suma de cuadrados de la variación total para rendimiento y resultaron significativos ( $p < 0.001$ , Cuadro 7).

limited environment of Tlacualpan while the Hybrid HA-912 and HA-913, is expressed best in the favorable environment of Calpulalpan. Arellano *et al* (2010) found that high yield hybrids interact better with a very good productivity environment.

**Cuadro 7. Resultados de las sumas de cuadrados y nivel de probabilidad de F correspondientes a los términos del análisis Ammi, para rendimiento de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul.**

**Table 7. Results of sums of squares and F probability corresponding to the terms of Ammi analysis for yield of hybrid and synthetic varieties of blue corn.**

Suma de cuadrados Ammi	(%)	(%) acumulado	g l Ammi	C Medios Ammi	F Ammi	Probabilidad de F
147.7	58.9	58.9	26	5.6	8.5	0.0001
57.8	23.1	82.0	24	2.4	3.6	0.0001
45.0	17.9	100.0	22	2.0	3.0	0.0001
0.0	0.0	100.0	20	0.0	0.0	

De acuerdo con los resultados (Cuadro 8) y la gráfica obtenida (Figura 1), los genotipos 9, 11 y 22 que representan a los híbridos HA-909, HA-911 y VSA-908, respectivamente, resultaron los más estables, mientras que los genotipos HA-910 y Criollo azul interaccionaron con la localidad Benito Juárez, HA-908 y VSA-905 con Huamantla, HA-903, VSA-902 y VSA-904 con Tlacualpan y HA-912 y HA-913 con Calpulalpan.

Considerando los análisis de la interacción genotipo x ambiente es factible determinar con mayor precisión que el híbrido HA-911 fue estable, en tanto que las variedades sintéticas VSA-902 y VSA-904 interaccionaron con el ambiente relativamente más limitado de Tlacualpan, mientras que los híbridos HA-912 y HA-913, se expresaron mejor en el ambiente favorable de Calpulalpan. Arellano *et al.* (2010) observaron que los híbridos de rendimiento alto interaccionan mejor con un ambiente de muy buena productividad.

## Conclusiones

Tanto los híbridos como las variedades sintéticas sobresalientes en rendimiento y caracteres de planta, mostraron buen potencial agronómico en las localidades de estudio, por lo cual representan una alternativa para elevar la producción de maíz azul en los valles altos.

Las variedades sintéticas sobresalientes presentaron un rendimiento competitivo respecto al de los mejores híbridos y se manifestaron en interacción con la localidad de temporal.

**Cuadro 8. Resultados de calificaciones o valores para genotipos y ambientes que los identifican en la gráfica biplot.**

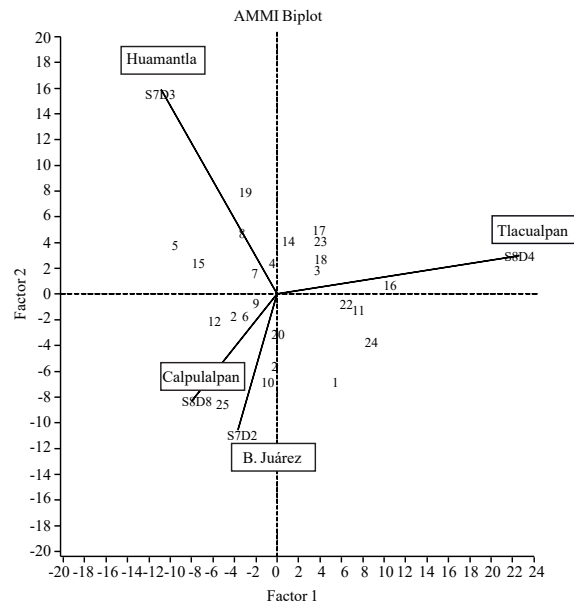
**Table 8. Results of ratings or values for genotypes and environments that are identify in the biplot graph.**

Fuente	Descripción	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Factor 1 Ammi	Factor 2 Ammi
1	HA-901	9.3	0.52	-0.66
10	HA-910	9.4	-0.05	-0.65
11	HA-911	10.4	0.73	-0.05
12	HA-912	9.6	-0.58	-0.20
13	HA-913	9.5	-0.80	-0.46
14	HA-914	10.0	0.09	0.42
15	VSA-901	8.0	-0.72	0.26
16	VSA-902	9.5	1.04	0.10
17	VSA-903	8.6	0.39	0.51
18	VSA-904	9.4	0.39	0.27
19	VSA-905	8.0	-0.30	0.80
2	HA-902	9.4	-0.41	-0.13
20	VSA-906	8.2	0.00	-0.28
21	VSA-907	7.2	-0.01	-0.55
22	VSA-908	8.6	0.66	-0.04
23	VSA-909	7.8	0.40	0.43
24	VSA-910	8.4	0.87	-0.33
25	Criollo	8.3	-0.50	-0.83
3	HA-903	8.9	0.36	0.21
4	HA-904	8.4	-0.05	0.27
5	HA-905	9.4	-0.97	0.41
6	HA-906	9.4	-0.31	-0.14
7	HA-907	9.6	-0.20	0.18
8	HA-908	9.5	-0.32	0.50
9	HA-909	8.2	-0.21	-0.04
Ambiente 1	B. Juárez	8.3	-0.37	-1.05
Ambiente 2	Huamantla	8.9	-1.08	1.58
Ambiente 3	Tlacualpan	7.9	2.25	0.29
Ambiente 4	Calpulalpan	10.7	-0.79	-0.82

Los híbridos y las variedades sintéticas presentaron rendimiento de 10 a 56% más alto que el de la variedad testigo criollo regional.

## Literatura citada

- 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 Investigaciones Regional Centro (CIRCE). Campo experimental Valle de México (CEVAMEX). Texcoco, Estado de México. Folleto técnico Núm. 13. 34 p.
- Arellano, V. J. L.; Virgen, V. J.; Ávila, P. M. A. y Roja, 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). Texcoco, Estado de México. Folleto técnico Núm. 43. 30 p.
- Arellano, V. J. L. 2010. Efectos de aptitud combinatoria, recíprocos y maternos para rendimiento de líneas elite de maíz azul de los Valles Altos. *In*: memoria de resúmenes XXIII Congreso Nacional y III internacional de Fitogenética, del 21 al 26 de septiembre de 2010. Nuevo Vallarta Nayarit, Tepic, México. 26 p.
- Arellano, V. J. L. y Virgen, V. J. 2009. Variedades de maíz azul raza Chalqueño en el altiplano central de México. *In*: memoria de la 55 Reunión Anual de la Sociedad del PCCMCA del 7 al 11 de septiembre, San Francisco Campeche, México. 55 p.
- Arellano, V. J. L.; Rojas, G. I.; Virgen, V. J. y Gutiérrez, H. G. F. 2008. Híbridos de maíz azul para el Altiplano Central de México. *In*: memoria de resúmenes XXII Congreso Nacional y II internacional de Fitogenética, del 21 al 26 de septiembre de 2008. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. 16 p.
- Arellano, V. J. L. 2006. Aptitud combinatoria para rendimiento de variedades de maíz azul. *In*: memoria de resúmenes XXI Congreso Nacional y I internacional de Fitogenética, del 3 al 8 de septiembre de 2006. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 52 p.
- Antonio, M. M.; Arellano, V. J. L.; García de los Santos, G.; Miranda, C. S.; Mejía C. 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.; Tut, C. C.; María, R. A.; Salinas, M. Y. y Taboada, G. O. 2003. Maíz azul de los Valles Altos de México. I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(2):101-107.
- Bernardo, R. 2002. Breeding for quantitative traits in plants. Stemma Press, Woodbury, MN.
- Claassen, M. M. and Shaw, R. H. 1970. Water deficit effects on corn II. Grain components. *Agron. J.* 62:652-655.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 246 p.



**Figura 1. Expresión de la interacción genotipo x ambiente del rendimiento de híbridos y variedades sintéticas de maíz azul en localidades de Tlaxcala.**

**Figure 1. Expression of genotype x environment interaction from yield of hybrids and synthetic varieties of blue corn in localities of Tlaxcala.**

## Conclusions

Both hybrids and synthetic varieties outstanding in yield and plant traits showed good agronomic potential in the study sites, which represents an alternative to elevate the production in blue corn from the high valleys.

The outstanding synthetic varieties showed a competitive yield compared to the best hybrids and demonstrated in interaction with the locality under rainfed.

Hybrids and synthetic varieties showed yields of 10 to 56% higher than the check variety of the regional landrace.

*End of the English version*



- Grant, R. F.; Jackson, B. S.; Kiniry, J. R. and Arkin, G. F. 1989. Water deficit timing effects on yield components in maize. *Agron. J.* 81: 61-65.
- Jacobs, B. C. y Pearson, C. J. 1991. Potential yield of maize determined by rates of growth and development of ears. *Field Crops Res.* 27: 281-289.
- Jugenheimer, R. W. 1981. Maíz. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semilla. 1981. Traducción al español: Piña, G. R. Editorial Limusa, S. A. México, D. F., 481 p.

- Kutka, F. K. y Smith, M. E. 2007. How many parents give the highest yield in predicted synthetic and composite populations of maize. *Crop. Sci.* 47:1905-1913.
- 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.* 19:749-756.
- Sahagún, C. J. 2011. Inbreeding and yield of synthetic varieties derived from single cross hybrids. Advance access publication. *Maydica* 56-1749.
- Schussler, J. R. and Westgate, M. E. 1991. Maize kernel set at low water potential: II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. *Crop Sci.* 31:1196-1203.
- Westgate, M. E. and Boyers, J. S. 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Sci.* 26:951-956.
- Westgate, M. E. 1997. Physiology of flowering in maize: identifying avenues to improve kernel set during drought. *In: Proc. developing drought and low n tolerant maize.* Edmeades, G. O.; Bänzinger, M.; Mickelson, H. R. y Peña-Valdivia, C. B. (Eds.) CIMMYT. El Batán, México. México, D. F. 136-141 pp.
- Duvick, D. N. 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea Mays* L.) *Adv. Agron.* 86:83-145.
- Lee, E. A. and Tollenaar, M. 2007. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Sci.* 47:202-215.