

MAÍZ AZUL DE LOS VALLES ALTOS DE MÉXICO. I . RENDIMIENTO DE GRANO Y CARACTERES AGRONÓMICOS

BLUE MAIZE FROM THE MEXICAN HIGH LANDS. I. GRAIN YIELD AND AGRONOMIC TRAITS

José Luis Arellano Vázquez^{1*}, Casiano Tut Couoh², Andrés María Ramírez³, Yolanda Salinas Moreno¹ y Oswaldo R. Taboada Gaytán⁴

¹ Programa de Maíz, Campo Experimental Valle de México. Apartado Postal No.10, C. P. 56230. Chapingo, Edo. de México. Tel: 01(595) 954-2877. Correo Electrónico: arevajolu@yahoo.com.mx ² Programa de Maíz, Campo Experimental Tecamachalco. Carr. Tecamachalco-Tochtepec, Km 3. Tecamachalco, Pue. Tel: 01 (242) 422-0212. ³ Programa de Maíz, Campo Experimental Tlaxcala, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carr. Tlaxcala Chiautempan, Km 2.5, Col. Industrial, C. P. 90600, Santana Chiautempan, Tlax. ⁴ Plan los Llanos, Ciudad Serdán, Puebla, Colegio de Postgraduados.

* Autor responsable

RESUMEN

México posee amplia diversidad genética en maíz (*Zea mays L.*) azul, que se aprovecha para el consumo humano como tortillas, tlacoyos, pinole y elotes, y además tiene potencial para la extracción industrial de pigmentos y para la elaboración de frituras. El objetivo del presente estudio fue determinar las principales características agronómicas de variedades criollas de maíz azul en varias localidades de los valles altos del centro de México. Se evaluaron 100 variedades, 88 de color azul y 12 de rojo, representativas de las razas Elotes Cónicos, Chalqueño, Cónico Norteño, Gordo y Bolita. El diseño experimental fue látice 10×10 . Las pruebas se establecieron en tres localidades del estado de Puebla (El Seco, Ahuatepec y Tlachichuca), una en el estado de Tlaxcala (Apizaco), y una en el estado de México (Coatlinchán), todas situadas entre 2240 y 2600 msnm. Las evaluaciones se condujeron bajo temporal o secano, excepto la de Coatlinchán donde aplicaron tres riegos. Los análisis de varianza detectaron diferencias altamente significativas entre localidades, variedades y en la interacción localidad x variedad para los caracteres registrados. Entre localidades el rendimiento de grano varió de 3.5 a 6.7 t ha^{-1} , y entre variedades de 2.7 a 6.6 t ha^{-1} . Las variedades de mejor respuesta en la localidad de mejores condiciones ambientales en El Seco, Pue. lograron rendimientos de 8.7 a 10.5 t ha^{-1} , y en su mayoría fueron representativas de la raza Chalqueño. En contraste, las variedades de las razas Cónico Norteño, Gordo y Bolita, mostraron precocidad y bajo rendimiento con 2.7 a 3.8 t ha^{-1} . Las mejores variedades de maíz azul a través de localidades fueron Méx-258 de la raza Chalqueño, criollo negro de El Seco, Puebla, y criollo azul de San Nicolás Buenos Aires, Puebla, ambas de la raza Elotes Cónicos.

Palabras clave: *Zea mays*, razas de maíz azul, rendimiento de grano, intervalo de floración, mazorcas por planta.

SUMMARY

México has a large diversity of blue maize (*Zea mays L.*), which is used for human food as ‘tortillas’, ‘tlacoyos’, ‘pinole’, ‘atole’ and ‘elotes’, and it has potential for industrial extraction of pigments and snack elaboration. In this study several agronomic traits of blue maize varieties were determined in some locations of the Mexican central high lands. A set of 100 landraces, 88 blue and 12 red repre-

sentative of ‘Elotes Cónicos’, ‘Chalqueño’, ‘Cónico Norteño’, ‘Gordo’ and ‘Bolita’ races, were included. The experimental design was a lattice 10×10 . The trials were established in three locations of the State of Puebla (El Seco, Ahuatepec and Tlachichuca), one in the State of Tlaxcala (Apizaco), and one in the State of México (Coatlinchán), all of them located between 2240 and 2600 m of altitude. All experiments were conducted under rainfed conditions, except at Coatlinchán which was irrigated three times. Analysis of variance showed differences ($P \leq 0.01$) among locations, varieties and the locations x varieties interaction. Grain yield ranged from 3.5 to 6.7 t ha^{-1} among locations and from 2.7 to 6.6 t ha^{-1} among varieties. El Seco produced the highest grain yields, and at this location the best landraces which belong to the ‘Chalqueño’ race, yielded from 8.7 to 10.5 t ha^{-1} . In contrast, varieties from ‘Cónico Norteño’, ‘Gordo’ and ‘Bolita’ races showed earliness and low grain yield (2.7 to 3.8 t ha^{-1}). The best blue landraces throughout locations were Mex-258 from the ‘Chalqueño’ race, ‘Criollo Negro’ from El Seco, Puebla, and ‘Criollo Azul’ from San Nicolás Buenos Aires, Puebla, both the best landraces the ‘Elotes Cónicos’ race.

Index words: *Zea mays*, blue maize races, grain yield, anthesis-silking interval, ears per plant.

INTRODUCCIÓN

Valor histórico y cultural de los maíces de color en México

Los maíces (*Zea mays L.*) de color han estado presentes en la mitología, rituales religiosos y en la alimentación de las culturas indígenas de México. Se sabe que entre los aztecas, los maíces de color amarillo, azul y rojo se relacionaban con el culto a “Chicomecoatl”, diosa de los mantenimientos (Sahagún, 1975). En el pensamiento cosmológico de los mayas, los maíces de color blanco, amarillo, rojo y negro se relacionan con los rumbos cósmicos: el maíz blanco se asocia con el norte, el amarillo con el sur, el rojo con el este y el negro con el oeste (Popol Vuh,

1975). Los indígenas Huicholes consideran a los maíces de color amarillo, rojo y negro como guardianes de la milpa (Hernández, 1985).

Importancia comercial del maíz azul en los valles altos

En la región centro oriente de Puebla, la comercialización favorable de maíz azul indujo a un crecimiento en la superficie sembrada, que llegó a ser de 2500 ha en el año 2000, lo que equivale a 3.3 % del área sembrada con maíz en la región, donde se estimó que es factible obtener de manera comercial un rendimiento de 5.0 t ha⁻¹ con variedades criollas de maíz azul con una relación beneficio / costo de 2.24, mientras que con maíz blanco la relación es de 1.57 (Sagarpa, Puebla, 2001). En el valle de Ayapango en el estado de México, los agricultores de la región siembran maíz azul y le dedican la tercera parte de su área cultivada con maíz, lo cual se considera una proporción alta que es justificada por la demanda de alimentos elaborados con maíz azul que se establece por la afluencia de turistas de la Ciudad de México a la región.

Pigmentos en el maíz azul

En el grano de maíz azul, la capa de aleurona contiene los pigmentos de antocianina azul que le dan el color (Betrán *et al.*, 2001). Las antocianinas son compuestos cromóforos solubles en agua y poseen propiedades químicas relacionadas con la reducción del colesterol y triglicéridos del torrente sanguíneo, por lo que reducen las afecciones cardíacas. De las antocianinas del maíz también se pueden derivar pigmentos naturales que se pueden aprovechar como colorantes de vinos, mermeladas y jugos de fruta (Maltros *et al.*, 1999). Las antocianinas presentes en el maíz azul se derivan de la cianidina, en tanto que las del grano rojo provienen de la pelargonidina (Straus y Harborne y Gabazzi, citados por Salinas *et al.*, 1999).

Genética del color azul en maíz

Varios genes controlan la expresión del color en la capa de aleurona: sin antocianina-1 (a-1), sin antocianina-2 (a-2), bronce-1 (bz-1), bronce-2 (bz-2), sin color-1 (c-1), sin color-2 (c-2), grano defectuoso-1 (dek-1), aleurona roja (pr), sin color (r), y vivíparo-1 (vp-1). El color púrpura intenso requiere la presencia de un alelo dominante en cada gene: A-1, A-2, Bz-1, Bz-2, C-1, C-2, Dek-1, Pr, R, y Vp-1. La pigmentación azul se intensifica si el factor *in* es homocigote recesivo. La coloración café pálido se desarrolla si bz-1 o bz-2 son homocigotes. El gene c-1 tiene diferentes alelos: CI-1 (inhibidor), C-1 (determina color) y c-1 (sin color), alelos que muestran efectos de dosificación; así, los genotipos C1/C1/c1 son púrpura, mientras que

C1/c1/c1 son pálidos, a menos que *in* esté presente. Los genotipos con C1-I no tienen color; sin embargo, el alelo C1-S para coloración intensa da color azul aún en la presencia de C1-I. El gene recesivo c 2 desarrolla color azul en presencia del factor *in*. El color azul puede reducirse por la presencia de factores de dilución tales como C2-Idf. La expresión para los alelos del locus R (R y r) muestran dependencia de la dosificación, pues mientras que los genotipos R/R/r son púrpura, los genotipos R/r/r son púrpura moteados (Coe *et al.*, citados por Betrán *et al.*, 2001).

Pocos estudios se han hecho para caracterizar el comportamiento agronómico y el rendimiento de grano de variedades de maíz azul, representativas de diferentes razas, por lo que los objetivos del presente estudio son: 1) Cuantificar los días a floración femenina, intervalo entre la floración masculina y femenina, altura de planta, mazorcas por planta, rendimiento de grano y acame, en variedades criollas de maíz azul de los valles altos de México, y 2) Seleccionar grupos de variedades con expresión favorable en rendimiento de grano, días a floración femenina y tolerancia al acame, principalmente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético. Se evaluaron 100 variedades criollas de maíz con adaptabilidad a altitudes mayores a los 2000 m, de las cuales 50 fueron colectadas de manera directa con los productores en la regiones del Municipio de Chalchicomula, Puebla, por el personal investigador del Plan Los Llanos de Serdán, Pue. del Colegio de Postgrados, 44 fueron adquiridas en el Banco de Germoplasma del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), y seis del Banco de Germoplasma de maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). De esas 100 variedades, 88 fueron de color azul, algunas de ellas con tonalidades de morado o púrpura, y 12 de color rojo. En cuanto a la raza y origen, 76 fueron representativas de la raza Elotes Cónicos originarias de los estados de Puebla, Tlaxcala, México, Querétaro y Guanajuato; 14 de la raza Chalqueño originarias del estado de México; cuatro de la raza Cónico Norteño provenientes de Zacatecas; cuatro de la raza Gordo de Chihuahua; y dos de la raza Bolita de Oaxaca.

Localidades de siembra. Los experimentos se establecieron en las siguientes localidades, que presentan las características geográficas y climáticas indicadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características geográficas y climáticas de las localidades donde se establecieron los experimentos de maíz azul en los valles altos de la mesa central de México.

Localidad	Estado	Altitud ⁽¹⁾ (msnm)	Temp. ⁽¹⁾ media (°C)	Lluvia ⁽¹⁾ anual (mm)	Clima ⁽¹⁾	Textura de suelo
El Seco	Puebla	2400	18.0	860	C(w"2)(w)big	Limo-arcillo-arenosa
Ahuatepec	Puebla	2600	13.6	740	C(w"2)(w)b(i)g	Limo-arcillo-arenosa
Tlachichuca	Puebla	2550	13.6	740	C(w"1)(w)big	Franco arenosa
Coatlinchán	México	2240	15.1	650	C(w 0)(w)b(I)g	Franco arenosa
Apizaco	Tlaxcala	2400	13.9	750	C(w"2) (w)big	Limo-arcillo-arenosa

(1) Fuente: García, E. (1973)

Fechas de siembra y manejo agronómico de los experimentos. En las localidades de El Seco, Ahuatepec y Tlachichuca, Pue., las siembras se realizaron los días 26, 19 y 27 de abril del año 2000, mientras que en las localidades de Coatlinchán y Apizaco fueron los días 2 y 25 de mayo del 2001. A los experimentos establecidos en El Seco, Ahuatepec y Tlachichuca se les aplicó la fórmula de fertilización de 140N-50P-00K, en tanto que en los de Coatlinchán y Apizaco se usó la fórmula 140N-50P-30K. En todos los experimentos la densidad de siembra fue de 50 mil plantas por hectárea, con una aplicación de herbicida preemergente Gesaprim C90 (i. a., Atrazina 455) a razón de 1.5 kg ha⁻¹. Todos los experimentos se condujeron en condiciones de temporal o secano, excepto en Coatlinchán, donde se aplicaron tres riegos, uno después de la siembra, otro a los 60 días y otro durante la floración femenina.

Diseño experimental y datos registrados. Se utilizó el diseño experimental látice triple 10 x 10, con tamaño de parcela de dos surcos de 5.0 x 0.8 m. Los datos registrados fueron: días a floración femenina (FLORF), considerados como el número de días transcurridos de la siembra a la emergencia de los estigmas; intervalo en días entre floración masculina y floración femenina (INTERV); altura de planta (ALTPL), desde la superficie del suelo hasta la base de la espiga, expresada en cm; número de mazorcas por planta (MAZPL), resultante de dividir el número de mazorcas cosechadas por parcela entre el número de plantas por parcela; calificación visual de acame (ACAME), 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⁻¹; calificación de mazorca (CALMZ), mediante la calificación visual en escala de 1 a 5, donde 1 es igual a mazorcas sanas de excelente presentación y 5 es igual a mazorcas defectuosas con alto nivel de pudrición del grano.

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 Duncan al 0.05 de probabilidad del error. Adicionalmente, se realizó un análisis de correlación lineal entre las variables registradas (SAS/STAT User's Guide, 1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas entre localidades, variedades y en la interacción variedades por localidades, para todas las variables medidas (Cuadro 2), lo cual evidencia variación ambiental entre localidades, variabilidad genética en la respuesta de las variedades de maíz criollo, y la influencia de la variación ambiental sobre la expresión de la diversidad genética varietal.

Comportamiento entre localidades

En cuanto al rendimiento de grano por localidad, la mejor expresión se obtuvo en El Seco, Pue. y Apizaco, Tlax. con 6.7 y 5.6 t ha⁻¹, respectivamente, con una diferencia significativa entre ellas de 1.1 t ha⁻¹. El alto rendimiento obtenido en estas localidades podría atribuirse a una mayor cantidad y mejor distribución de la precipitación pluvial durante los años de evaluación y a las características de textura y fertilidad del suelo, ya que en Ahuatepec y Tlachichuca, Pue. hubo sequía durante la floración y el llenado inicial de grano, y en Coatlinchán, Méjico, no obstante que el cultivo fue de riego, la textura franco arenosa del suelo no permitió una retención adecuada de la humedad disponible.

El rendimiento presentó una correlación negativa y significativa con el intervalo en días entre la floración masculina y la floración femenina ($r = -0.89^*$), de modo que a menor intervalo habría mayor rendimiento, resultado similar al detectado por Bolaños y Edmeades (1996). En las localidades de Ahuatepec y Tlachichuca, Pue. la presencia de sequía antes de la floración y durante el llenado del grano provocaron que esos ambientes resultaran los más desfavorables, con los rendimiento más bajos, de

Cuadro 2. Cuadros medios y significancia estadística para los caracteres en el análisis de varianza conjunto de la evaluación de variedades de maíz azul en valles altos de la mesa central de México, 2000-2001.

F V	g 1	Cuadros medios de los caracteres					
		FLORF	INTERV	ALTPL	ACAME	MAZPL	REND
Localidades	4	93801**	1021**	245676**	131.13**	1.93**	461464578**
Reps. (locs)	10	134**	13**	1463**	0.76**	0.13**	13259758**
Variedades	99	731**	11**	8642**	0.46**	0.03**	11667720**
Vars x Locs	396	42**	7**	645**	0.33**	0.02**	3078391**
Error	887	21	5	367	0.16	0.01	1711686
Total	1396						
C V (%)		4.4	37.4	9.9	20.9	12.9	26.9

** Significancia al 0.01 de probabilidad del error bajo el estadístico de F; F V = fuente de variación; g 1 = grados de libertad; CV = Coeficiente de variación; FLORF = Días a floración femenina; INTERV = Intervalo en días entre la floración femenina y masculina; ALTPL = Altura de planta, en cm; ACAME = Calificación de acame de planta; MAZPL = Número de mazorcas por planta; REND = Rendimiento de grano, en t ha⁻¹.

3.5 y 3.9 t ha⁻¹, así como el mayor periodo a floración femenina, con 123 y 116 días; el mayor intervalo de asincronía floral con 6.5 y 7.4 días; la menor altura de planta con 163 y 161 cm; y los más altos acames (2.78 y 1.84) (Cuadro 3). La reducción en el rendimiento registrado en estas dos localidades a causa de las condiciones de sequía severa, podría atribuirse a que los cigotos recién formados abortan pocos días después de la polinización (Westgate y Boyers, 1986), como resultado de una escasez en el suministro de carbohidratos a la mazorca en desarrollo, acompañada de inhibición del metabolismo de carbohidratos en condiciones de bajo potencial de agua en el ovario (Shussler y Westgate, 1991). También debieron ocurrir deficiencias nutrimentales inducidas por la sequía, que restringieron la absorción y suministro de nitrógeno a la planta, con las concurrentes reducciones en el número de granos potenciales, el aumento del intervalo de floración y la reducción del número de espiguillas diferenciadas (Jacobs y Pearson, 1991).

Cuadro 3 Medias de rendimiento de grano y caracteres de planta en variedades de maíz azul evaluadas en cinco localidades de la mesa central de México, 2000-2001.

Localidad	REND (t ha ⁻¹)	FLORF (días)	INTERV (días)	ALTPL (cm)	ACAME	MAZPL
El Seco, Pue.	6.7 a	106 c	2.9 d	227 a	2.58 b	1.00 a
Ahuatépec, Pue.	3.5 e	123 a	6.5 b	163 d	2.78 a	0.91 c
Tlachichuca, Pue.	3.9 d	116 b	7.4 a	161 d	1.84 c	0.98 b
Coatlinchán, Méx.	4.6 c	77 e	4.2 c	210 b	1.11 d	0.87 d
Apizaco, Tlax.	5.6 b	97 d	3.9 c	205 c	1.11 d	0.96 b
Media	4.8	104	5.0	192	1.90	0.96

Medias en una columna con la misma literal son estadísticamente similares (Duncan, 0.05).

REND = Rendimiento de grano; FLORF = Días a floración femenina; INTERV = Intervalo entre días a floración femenina y floración masculina; ALTPL = Altura de planta; ACAME = Calificación de acame de plantas; MAZPL = Número de mazorcas por planta.

Aunque las localidades de Tlachichuca y Apizaco contrastan ambientalmente, la primera con condiciones desfavorables y en la segunda favorables, no difirieron significativamente en el número de mazorcas por planta, lo cual

implica que el ambiente desfavorable de Tlachichuca no restringió la diferenciación de inflorescencias femeninas sino el desarrollo de las mazorcas y granos formados, posiblemente debido al amplio intervalo entre la floración masculina y femenina, que finalmente se reflejaron en un menor rendimiento de grano por hectárea. Claassen y Shaw (1970) observaron que al restringir el agua hasta el punto de marchitez de la planta en época de floración femenina, el rendimiento de grano se redujo en 53 % y cuando el marchitamiento ocurrió tres semanas después de la floración la reducción 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.

En Coatlinchán, México se observaron deficiencias en la adaptabilidad de las variedades, probablemente porque la mayoría de ellas son originarias de sitios con altitudes superiores a los 2400 m, lo que determinó que éstas se expresaran como variedades muy tempranas, con una media de 77 días a la floración femenina, 4.6 t ha⁻¹ de rendimiento, y la más baja expresión del número de mazorcas por planta, con 0.87 (Cuadro 3).

Se puede señalar así que las variedades de maíz azul evaluadas en este estudio son sensibles a condiciones ambientales desfavorables determinadas por efectos de sequía, y tal vez por condiciones de temperatura que se manifiestan en altitudes menores que aquéllas que se expresan en donde son originarias dichas variedades, por lo que sería conveniente detectar variedades con adaptabilidad y alto potencial de rendimiento en condiciones ambientales adversas, como base para iniciar su mejoramiento genético.

Comportamiento de variedades

Las mejores variedades rindieron entre 5.6 y 6.6 t ha⁻¹

con 103 a 119 días a floración femenina, que las clasifica como variedades de tipo intermedio a tardío; además variaron de 5.6 a 8.2 días entre la floración femenina y la masculina (Cuadro 4). Según Bolaños y Edmeades (1996), existe correlación negativa entre rendimiento y el intervalo entre floraciones, por lo que el mejoramiento genético en estas variedades debería enfocarse a reducir dicho intervalo. El acame observado se debió principalmente a deficiencias en el sistema radical; su magnitud varió entre 1.66 y 1.94, que equivalen a valores de 21 a 25 % de plantas acamadas, que son niveles altos. En estas variedades la proporción de mazorcas por planta varió de 0.89 a 1.0, proporción que no se considera desfavorable, tratándose de variedades criollas sin mejoramiento genético (Cuadro 4). Las variedades de mejor comportamiento fueron en su mayoría representativas de la raza Elotes Cónicos, originarias de las áreas de temporal en los valles de Puebla.

Las variedades que estadísticamente expresaron el menor rendimiento (2.7 a 3.8 t ha⁻¹), el menor periodo a floración femenina, (de 90 a 105 días) y la menor altura de planta (136 a 159 cm), se presentan en el Cuadro 5. La mayoría de estas variedades son representativas de las razas Cónico Norteño, Gordo y Bolita, originarias de regiones diferentes de la mesa central. Su falta de adaptabilidad tal vez se deba a su baja altura de planta y su mayor precocidad, que redundó en menor potencial de rendimiento.

Cuadro 4. Medias para rendimiento de grano, días a floración femenina y otros caracteres de planta de las mejores variedades criollas de maíz azul de cinco localidades de los valles altos de la mesa central de México, 2000-2001.

Variedad	REND (t ha ⁻¹)	FLORF (días)	INTERV (días)	ALTPL (cm)	ACAME	MAZPL
92	6.6 a	106 b	6.0 b	207 b	1.85 d	1.00 a
66	6.5 a	114 b	6.7 b	227 b	1.71 h	0.91 a
03	6.4 a	114 b	5.7 b	220 b	1.66 k	1.00 a
100	6.3 a	109 b	6.0 b	210 b	1.78 g	0.96 a
59	6.2 a	109 b	5.6 b	219 b	1.69 k	1.00 a
84	6.2 a	110 b	6.5 b	210 b	1.94 c	0.92 a
78	6.2 a	106 b	6.7 a	204 b	1.96 c	0.94 a
48	6.0 a	113 b	8.2 a	233 a	1.85 d	0.95 a
94	6.0 a	104 b	6.3 b	195 b	1.89 d	1.00 a
17	6.0 a	116 a	6.6 b	235 a	1.71 h	0.96 a
49	5.9 a	118 a	6.7 b	225 b	1.71 h	0.94 a
20	5.8 a	115 a	7.3 a	243 a	1.85 d	0.98 a
12	5.8 a	111 b	7.7 a	213 b	1.75 g	0.98 a
63	5.8 a	106 b	6.3 b	205 b	1.78 g	0.94 a
95	5.7 a	103 b	7.6 a	208 b	1.89 d	0.98 a
19	5.7 a	119 a	7.1 a	246 a	1.67 k	0.96 a
14	5.7 a	114 b	6.5 b	235 a	1.78 g	0.89 b
99	5.6 a	103 b	6.5 b	200 b	1.75 g	0.98 a
88	5.6 a	113 b	7.2 a	220 b	1.75 g	0.94 a
90	5.6 a	113 b	6.5 b	220 b	1.75 g	0.94 a
Media	4.8	104	5.0	192	1.90	0.96
DMS (0.05)	1.3	3.9	1.6	12.6	0.30	0.09

REND = Rendimiento de grano; FLORF = Días a floración femenina; INTERV = Intervalo entre días a floración femenina y floración masculina; ALTPL = Altura de planta; ACAME = Calificación de acame de plantas; MAZPL = Número de mazorcas por planta.

Interacción localidades por variedades

El comportamiento entre variedades difirió entre localidades, ya que la interacción variedades por localidades resultó altamente significativa para todas las variables estudiadas (Cuadro 2). Así, en la localidad El Seco, Puebla que tuvo las mejores condiciones ambientales, se identificaron las variedades con rendimientos de grano superiores a 10 t ha⁻¹ (Cuadro 6); de ellas, las entradas 100, 49 y 3 corresponden a la raza Chalqueño. En cambio, en las localidades Ahuatepec y Tlachichuca, que presentaron condiciones desfavorables por sequía durante la floración y la etapa inicial del llenado de grano, las mejores variedades apenas alcanzaron un rendimiento máximo de 6.6 t ha⁻¹, que en su mayoría fueron colectadas en esa misma región y se les puede atribuir adaptabilidad específica. En Coatlínchán, México y Apizaco, Tlax. que se ubican fuera del área de origen de la mayoría de las variedades colectadas, los rendimientos superaron las 7.0 t ha⁻¹, y en donde la variedad 3 de la raza Chalqueño mostró el mayor rendimiento al igual que en El Seco, Pue., mientras que la variedad 92 que rindió de 5.6 a 5.8 t ha⁻¹ en localidades desfavorables, logró un rendimiento de 7.7 t ha⁻¹ en las condiciones ambientales más favorables de Apizaco, Tlax. (Cuadro 6). En términos de adaptabilidad, se detectaron variedades con buena respuesta en ambientes buenos, regulares y deficientes, tanto en rendimiento de grano como en otros caracteres agronómicos.

Cuadro 5. Medias para rendimiento de grano y caracteres de planta de variedades criollas de maíz azul de escasa adaptabilidad en cinco localidades de la mesa central de México, 2000-2001.

Variedad	REND (t ha ⁻¹)	FLORF (días)	INTERV (días)	ALTPL (cm)	ACAME	MAZP L
2 Méx-244	3.8 z	93 m	4.5 o	150 o	2.39 a	1.00 a
34 Méx-	3.7 z	99 j	6.4 b	150 o	2.38 a	1.00 a
083						
41 Qro-024	3.6 z	98 j	5.2 h	150 o	1.85 d	0.94 d
6 Pue-304	3.2 z	90 p	4.2 o	138 o	2.10 a	0.91 1
45 Chih-378	3.2 z	101 u	5.6 c	152 n	2.17 a	0.99 a
38 Oax-117	3.0 z	104 s	5.0 h	141 o	1.67 i	0.91 1
40 Zac-196	3.0 z	95 j	6.4 b	136 o	1.78 g	0.87 n
8 Gto-22	3.0 z	105 s	5.5 c	159 n	1.71g	0.93 d
39 Zac-172	2.9 z	93 m	4.8 j	140 o	2.17 a	0.91 1
46 Chih441	2.8 z	98 j	5.5 c	151 o	2.21 a	0.94 d
7 Qro-13	2.7 z	90 p	4.3 o	138 o	2.00 a	0.93 d
5 Pue-302	2.7 z	90 p	5.2 h	137 o	2.28 a	0.89 m
Media	4.8	104	5.0	192	1.90	0.96

Medias en una columna con la misma literal son estadísticamente similares (Duncan, 0.05)

REND = Rendimiento de grano; FLORF = Días a floración femenina; INTERV = Intervalo entre días a floración femenina y floración masculina; ALTPL = Altura de planta; ACAME = Calificación de acame de plantas; MAZPL = Número de mazorcas por planta.

Cuadro 6. Rendimiento de grano de las variedades más sobresalientes de maíz criollo azul por localidad en los valles altos de la mesa central, 2000-2001.

Localidades									
El Seco, Pue.		Ahuatepec, Pue.		Tlachichuca, Pue.		Coatlinchán, Méx.		Apizaco, Tlax.	
Var	REND	Var	REND	Var	REND	Var	REND	Var	REND
03	10.2	48	6.6	59	6.6	03	7.4	03	9.3
49	10.4	66	6.3	48	6.5	16	7.2	92	7.7
100	10.5	88	6.1	84	6.2	59	7.2	96	7.4
20	9.1	92	5.8	58	6.0	99	7.1	89	7.4
19	8.9	90	5.6	63	5.9	92	7.1	24	7.3
14	8.8	17	5.3	68	5.8	78	6.8	01	7.3
54	8.8	74	5.3	66	5.7	4	6.7	100	7.2
16	8.7	93	5.3	56	5.7	36	6.7	61	7.2
01	8.7	60	5.2	78	5.6	95	6.7	68	7.1
66	8.7	14	5.1	92	5.6	37	6.6	94	7.1
Media	6.7		3.5		3.9		4.6		5.6
DMS (0.05)	2.2		1.4		1.6		1.3		2.4

REND = Rendimiento de grano, t ha⁻¹.

CONCLUSIONES

El rendimiento de grano entre localidades varió de 3.5 a 6.7 t ha⁻¹ y mostró una correlación negativa con el intervalo entre la floración masculina y la femenina de $r = -0.89^*$.

Al comparar las localidades de Ahuatepec y Tlachichuca, Puebla, cuyas condiciones ambientales fueron desfavorables, con respecto a los resultados de El Seco, Pue. que fue la mejor localidad, se encontró que el rendimiento de grano se redujo en 42 a 48 %, con mayor periodo a floración femenina por 10 a 17 días, con mayor intervalo de floración por 3.6 a 4.5 días, con menor altura de planta de 64 a 66 cm, y con una menor relación de mazorcas por planta de 2 a 9 %.

Las variedades de mayor rendimiento de grano en el mejor ambiente de El Seco, Puebla produjeron de 8.7 a 10.5 t ha⁻¹, en su mayoría representativas de la raza Chalqueño, mientras que en Ahuatepec, Puebla de condiciones ambientales desfavorables, las mejores variedades expresaron rendimientos de 5.1 a 6.6 t ha⁻¹, y en su mayoría fueron de la raza Elotes Cónicos.

Las variedades de menor adaptabilidad fueron los criollos de las razas Cónico Norteño, Gordo y Bolita, cuyos rendimientos de grano fueron de 2.7 a 3.8 t ha⁻¹, menos tardías con floración femenina de 90 a 105 días, con intervalo pequeño entre floración masculina y femenina de 4.3 a 6.4 días, y con menor altura de planta, de 136 a 152 cm.

Las mejores variedades criollas de maíz azul a través de localidades fueron las entradas 3, 66 y 92 que corresponden a Méx-258 de la raza Chalqueño, el Criollo Negro de El Seco, Puebla y el Criollo Azul de San Nicolás Buenos Aires, Puebla, ambas de la raza Elotes Cónicos, cuyos

rendimientos de grano fueron de 6.4, 6.5 y 6.6 t ha⁻¹, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- Betrán F J, A J Bockholt, L Rooney (2001) Blue corn. In: Specialty Corns. A R Hallauer (ed). Iowa State University. Ames Iowa, USA. pp: 293-337.
- Bolaños J, G O Edmeades (1996) The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. Field Crops Res. 48: 65-80.
- Claassen M M, R H Shaw (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. 246 p.
- Grant R F, B S Jackson, J R Kiniry, G F Arkin (1989) Water deficit timing effects on yield components in maize. Agron. J. 81: 61-65.
- Hernández X E (1985) Maize and man in the great Southwest. Econ. Bot. 39 (4): 416-430.
- Jacobs B C, C J Pearson (1991) Potential yield of maize determined by rates of growth and development of ears. Field Crops Res. 27: 281-289.
- Maltros R H, J L Ibáñez G, P Bustillo E y R I Díaz de la G (1999) Industrialización del Maíz como fuente de pigmentos para la Industria Alimentaria y Farmacéutica y de Cosméticos. In: Memoria Segundo Taller Nacional de Especialidades de Maíz. J Espinoza, J del Bosque C (eds). Saltillo Coahuila, México 9 y 10 de septiembre. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. pp: 35-57.
- Popol Vuh (1975) Antiguas Historias de los Indios Quiches de Guatemala. Advertencia, versión y vocabulario de Alberto Sarabia E. Editorial Porrúa S.A. Sepan cuántos No. 36, México. 104 p.
- Sahagún Fr. B de (1975) Historia General de las Cosas de la Nueva España. Editorial Porrúa México, D. F. 135 p.
- Salinas M Y, M Soto S, F Martínez B, V A González H, R Ortega P (1999) Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. Rev. Fitotec. Mex. 22: 161-174.
- SAS/STAT User's Guide (1994) Version 6 Fourth edition Volume 1. 889 p.
- Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA) Delegación Puebla (2001) Producción de Maíces Criollos de Color en la Región Centro Oriente del Estado de Puebla. Puebla, Pue. 18 p.

- Schussler J R, M E Westgate (1991)** Maize kernel set at low water potential: II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. *Crop Sci.* 31: 1196-1203.
- Westgate M E, J S Boyers (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.* G O Edmeades, M. Bäzinger, H R Mickelson, C B Peña-Valdivia (eds) CIMMYT, El Batán, México. March 25-29, 1996 México, D. F. pp: 136-141.