

Respuesta de 10 cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano*

Response of 10 maize cultivars to population density in three localities of the mexiquense center

Jorge Quiroz Mercado¹, Delfina de Jesús Pérez López^{2§}, Andrés González Huerta², Martín Rubí Arriaga², Francisco Gutiérrez Rodríguez², José Ramón Pascual Franco Martínez² y José Francisco Ramírez Dávila²

¹Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Campus Universitario "El Cerrillo". El Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca, Estado de México (CPB-TEM). AP 435. Tel. 01 (722) 2965574. ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx. CPB-TEM. AP. Tel. 01(722) 2965518, ext. 148. (denomox@yahoo.com; agonzalezzh@uaemex.mx; mrubia@uaemex.mx; fgutierrezr@uaemex.mx; jframirez@uaemex.mx). [§]Autor para correspondencia: djperezl@uaemex.mx.

Resumen

La densidad de población es uno de los principales factores que contribuyen a incrementar el rendimiento de grano en maíz. El presente trabajo se estableció en 2013 en tres localidades del centro del Estado de México, México para evaluar el rendimiento de grano y sus componentes principales en diez cultivares de maíz en tres densidades de población. Los tres ensayos se establecieron en campo en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en un arreglo de parcelas divididas: en las parcelas grandes se distribuyeron las densidades de población y en las chicas los cultivares. Hubo diferencias significativas ($p=0.01$) entre cultivares en las 13 variables registradas, en densidad de población éstas lo fueron en longitud de mazorca, diámetro de mazorca, peso de olote, peso de grano por planta, y rendimiento de grano. Un incremento en la densidad de población disminuyó el número y el peso de grano por planta pero a 104 167 plantas ha⁻¹ el rendimiento fue de 10.03 t ha⁻¹. Con P204W se obtuvo la mayor producción de grano (10 t ha⁻¹), pero éste no difirió estadísticamente de IC 2010, AS-MJ9082, H-40 y AS-723. El análisis de componentes principales explicó 65.94%

Abstract

The population density is one of the main factors that contribute to increase grain yield in maize. The present work was established in 2013 in three localities of the center of the State of Mexico, Mexico to evaluate the yield of grain and its main components in ten maize cultivars in three population densities. The three trials were established in the field in an experimental design of complete random blocks with three replicates in a divided plot arrangement: in the large plots the population densities were distributed and in the girls the cultivars. There were significant differences ($p=0.01$) between cultivars in the 13 variables recorded, in population density, as were ear length, ear diameter, "olote" weight, grain weight per plant, and grain yield. An increase in population density decreased the number and weight of grain per plant but at 104 167 plants ha⁻¹ the yield was 10.03 t ha⁻¹. The highest grain yield (10 t ha⁻¹) was obtained with P204W, but this did not differ statistically from IC 2010, AS-MJ9082, H-40 and AS-723 The main components analysis explained 65.94% of the original total variation, in which a high correlation was observed between grain yield, grains per plant, prolificacy index and "olote" weight.

* Recibido: septiembre de 2017
Aceptado: noviembre de 2017

de la variación total original, en éste se observó una alta correlación entre rendimiento de grano, granos por planta, índice de prolificidad y peso de olote.

Palabras clave: *Zea mays* L. análisis multivariado, plantas ha⁻¹, variedades sobresalientes, Valles Altos de México.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante en México, su grano se produce en primavera-verano y otoño-invierno en temporal, punta de riego y riego (SIAP, 2007). Se siembran casi 7.5 millones de ha, que representan 33% de la superficie agrícola nacional; el estado de México contribuye con 7.1% de ésta y es una de las siete entidades principales que concentran 64.5% de la producción total. Se ha estimado que su potencial de producción es de 52 millones de t, de las cuales 28 millones serían factibles de lograr en el corto plazo con el uso de tecnología de producción, variedades y prácticas de cultivo adecuadas (Turrent, 2009).

La densidad de población (D) es el factor de manejo más importante para lograr mayores rendimientos en maíz (Tollenaar y Lee, 2011); un aumento en D incrementa el rendimiento de grano cuadráticamente (Hashemi *et al.*, 2005; Stanger y Lauer, 2006; Novacek *et al.*, 2013; Novacek *et al.*, 2014), pero más allá de la óptima éste disminuye debido a mayor esterilidad, menos granos por mazorca y menor peso de grano (Daynard y Muldoon, 1983; Tetio y Gardner, 1988; Hashemi y Herbert, 1992). El efecto de D sobre el rendimiento depende del potencial del material genético (Sarlangue *et al.*, 2007). Se ha reportado que los híbridos de maíz en D alta producen más grano (Bavec y Bavec, 2002; Sangoi *et al.*, 2002; Tollenaar y Lee, 2011). Por lo anterior, es deseable identificar materiales con características agronómicas sobresalientes en Valles Altos del Estado de México.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

Este trabajo se estableció en primavera-verano de 2013 en El Cerrillo Piedras Blancas (L1), Mina México (L2) y Rancho Tiacaque (L3), pertenecientes a los municipios de Toluca, Almoloya de Juárez y Jocotitlán, respectivamente (Cuadro 1).

Keywords: *Zea mays* L. multivariate analysis, outstanding varieties, plants ha⁻¹, High Valleys of Central Mexico.

Introduction

Maize cultivation is one of the most important crops in Mexico. The maize (*Zea mays* L.) is the most important crop in Mexico, its grain is produced in spring-summer and autumn-winter in temporary, irrigation tip and irrigation (SIAP, 2007). Almost 7.5 million ha are sown, representing 33% of the national agricultural area; the state of Mexico contributes with 7.1% of this and is one of the seven main entities that concentrate 64.5% of the total production. It has been estimated that its production potential is 52 million t, of which 28 million would be feasible to achieve in the short term with the use of suitable production technology, varieties and cultivation practices (Turrent, 2009).

The population density (D) is the most important management factor to achieve higher maize yields (Tollenaar and Lee, 2011); an increase in D increases grain yield quadratically (Hashemi *et al.*, 2005; Stanger and Lauer, 2006; Novacek *et al.*, 2013; Novacek *et al.*, 2014), but beyond the optimum it decreases due to higher sterility, fewer grains per ear and lower grain weight (Daynard and Muldoon, 1983; Tetio and Gardner, 1988; Hashemi and Herbert, 1992). The effect of D on yield depends on the potential of the genetic material (Sarlangue *et al.*, 2007). The high-D maize hybrids have been reported to produce more grain (Bavec and Bavec, 2002; Sangoi *et al.*, 2002; Tollenaar and Lee, 2011). Due to the above, it is desirable to identify materials with outstanding agronomic characteristics in the High Valleys of the State of Mexico.

Material and methods

Description of the study area

This work was established in spring-summer of 2013 in El Cerrillo Piedras Blancas (L1), Mina Mexico (L2) and Rancho Tiacaque (L3), belonging to the municipalities of Toluca, Almoloya of Juárez and Jocotitlan, respectively (Table 1).

Cuadro 1. Descripción de las tres localidades.**Table 1. Description of the three locations.**

Características	El Cerrillo (L1)	Mina México (L2)	Tiacaque (L3)
Latitud norte	19° 24' 40''	19° 20' 20''	19° 42' 16''
Longitud oeste	99° 41' 58''	19° 41' 03''	99° 42' 11''
Altitud (m)	2611	2630	2 569
Temperatura (°C)	13.02	12.61	13.34
Precipitación (mm)	763	642.9	912.4
Clima templado	Semihúmedo	Semiseco	Subhúmedo
pH	6.29	5.52	6.18
Materia orgánica (%)	1.88	1.79	2.74
Textura	Franco arcillosa	Franco arcillosa	Arcillosa

Fuente: Comisión Nacional del Agua (2013).

Material genético

Se evaluaron diez cultivares de maíz recomendables para siembra comercial en los Valles Altos del centro de México; ocho híbridos y dos criollos colectados en la región Toluca-Atacomulco, en el estado de México. Sólo se conoce el origen genético de cuatro de los ocho híbridos y de ambos criollos (Cuadro 2).

Densidad de siembra

Se consideraron 104 167 (D1), 78 125 (D2) y 62 500 (D3) plantas ha⁻¹, correspondientes a distanciamientos entre plantas de 12, 16 y 20 cm, respectivamente.

Diseño experimental y tamaño de la parcela

Se empleó una serie de experimentos en espacio en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por ensayo en un arreglo de parcelas divididas; en la parcela grande se asignaron las densidades de población (D) y en la chica los cultivares (C); ésta última constó de tres hileras de 6 m de longitud, separadas a 0.8 m (14.4 m²).

Descripción del trabajo

La preparación mecánica del suelo consistió en barbecho y dos pasos de rastra. La siembra manual se realizó el 16, 18 y 30 de abril de 2013 en El Cerrillo (L1), Mina México (L2) y Tiacaque (L3), respectivamente. En L1 y L2 se aplicaron dos riegos: 10 días antes de la siembra y el 13 de abril; en L3 se efectuó el 04 de mayo. En las tres localidades se utilizaron 140N-90P-50K. El fósforo y el potasio se

Genetic material

Ten maize cultivars recommended for commercial seeding were evaluated in the High Valleys of central Mexico; eight hybrids and two criollos collected in the Toluca-Atacomulco region, in the state of Mexico. Only the genetic origin of four of the eight hybrids and of both creoles is known (Table 2).

Cuadro 2. Material genético evaluado en este estudio.**Table 2. Genetic material evaluated in this study.**

Núm.	Cultivar	Origen/progenitores
1	H-40	(CML246*CML 242)*M39
2	AS-723	Híbrido triple
3	ASGROW MJ9082	Híbrido experimental
4	P804 W	Híbrido experimental
5	P204 W	Híbrido experimental
6	HID-15	(CML239*CML242)*(L10*L52)
7	HIT-9	(CML244*CML 349)*(IML8)
8	IC 2010	(CML457*CML459)*(IML6)
9	Amarillo Lomas	Criollo de Taborda
10	Tlacotepec	Criollo de Tlacotepec

Planting density

We considered 104 167 (D1), 78 125 (D2) and 62 500 (D3) plants ha⁻¹, corresponding to spacings between plants 12, 16 and 20 cm, respectively.

aplicaron al sembrar y el nitrógeno se fraccionó: 50% en la siembra y 50% con la segunda escarda. Se utilizaron urea (46%), superfosfato de calcio triple (46%) y cloruro de potasio (60%).

La maleza se controló con Gesaprin C90 (Atrazina: 6-Cloro-N₂-etil-N₄-isopropil-1,3,5-triazina-2,4-diamina, 1.6 kg ha⁻¹) y Hierbamina (2,4-D: Sal dimetilamina del ácido 2,4-diclorofenoxiacético; 1.5 L ha⁻¹), en L1 se aplicó el 22 de mayo y el 12 de junio, en L2 se asperjó el 12 de junio y en L3 se hizo el 2 de junio. La cosecha se realizó en el mes enero de 2014 (L1) y el 29 (L2) y 22(L3) de diciembre de 2013.

Variables registradas

En seis plantas elegidas con competencia completa en el surco central de la parcela útil se registró alturas de mazorca y planta (AM y AP, medidas en cm desde el suelo hasta la inserción de la mazorca principal o a la lígula de la hoja bandera), longitud de mazorca (LM, medida en cm de la base a su punta), diámetro de mazorca (DM, medida en cm, en su parte media), número de hileras (NH), pesos de olote y de grano por planta (PO y PGP, en g), granos por planta (NGP), peso volumétrico del grano (PVG, g L⁻¹), índice de prolificidad (IP, cociente entre mazorcas y plantas registradas en la parcela) y rendimiento de grano (RG, t ha⁻¹). Ambas floraciones (DFM y DFF) se determinaron con todas las plantas de la parcela útil. Los procedimientos y las unidades de medición empleadas en el registro de datos están descritos en CIMMYT (1995); González *et al.* (2008).

Análisis estadístico

Se realizaron los análisis de varianza, la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p=0.05$) y los análisis de correlación lineal simple, estos últimos como un prerrequisito para el uso de la técnica multivariada. Las salidas se obtuvieron con el sistema para análisis estadístico (SAS, versión para Windows 6.01).

Los procedimientos algebraicos fueron descritos por Martínez (1988). Con los 10 cultivares y con las 13 variables se hizo un análisis de componentes principales. Antes de obtener el biplot con SAS los datos fueron estandarizados y sometidos a la descomposición de valores singulares en la forma como lo sugirió Sánchez (1995). La gráfica del

Experimental design and plot size

A series of space experiments were used in a randomized complete block experimental design with three replicates per trial in a split plot arrangement; in the large plot the population densities (D) were assigned and in the girl the cultivars (C); the latter consisted of three rows of 6 m in length, separated by 0.8 m (14.4 m²).

Work description

The mechanical preparation of the soil consisted of fallow and two steps of drag. Manual seeding was performed on April 16, 18 and 30, 2013 in El Cerrillo (L1), Mina México (L2) and Tiacaque (L3), respectively. In L1 and L2 two irrigations were applied: 10 days before sowing and 13 April; in L3 was made on May 4. The 140N-90P-50K was used in the three localities. Phosphorus and potassium were applied when sowing, and nitrogen was fractionated: 50% at planting and 50% at second weeding. Urea (46%), triple calcium superphosphate (46%) and potassium chloride (60%) were used.

The weed was monitored with Gesaprin C90 (Atrazine: 6-Chloro-N₂-ethyl-N₄-isopropyl-1,3,5-triazine-2,4-diamine, 1.6 kg ha⁻¹) and Hierbamine (2,4-D: Dimethylamine salt of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid; 1.5 L ha⁻¹), in L1 it was applied on may 22 and june 12, in L2 it was sprinkled on june 12 and in L3 it was made on june 2. Harvesting took place in january 2014 (L1) and 29 (L2) and 22 (L3) in December 2013.

Registered variables

At six plants selected with complete competition in the central furrow of the useful plot, heights of cob and plant were recorded (AM and AP, measured in cm from the soil to the insertion of the main ear or the ligule of the flag leaf), length (LM, measured in cm, in the middle), number of rows (NH), weights of "olote" and grain per plant (PO and PGP in g), grains per plant (NGP), grain volumetric weight (PVG, g L⁻¹), prolificacy index (IP, corn-plant ratio recorded on the plot), and grain yield (RG, t ha⁻¹). Both blooms (DFM and DFF) were determined with all plants of the useful plot. The procedures and measurement units used in data recording are described in CIMMYT (1995); González *et al.* (2008).

biplot se elaboró en Microsoft Excel ver. 1997-2003, con las puntuaciones de los dos primeros componentes principales (González *et al.*, 2010).

Resultados y discusión

Análisis de varianza

Las tres localidades causaron variabilidad fenotípica significativa ($p=0.01$) en ambas floraciones (DFM y DFF), en ambas alturas (AP y AM), en la mayoría de las dimensiones de la mazorca (LM, NHM, PGP, NGP) y en rendimiento de grano (RG). En otros estudios se ha documentado que el Valle Toluca-Atlacomulco, en el Estado de México, es muy heterogéneo en suelos, temperaturas, precipitación e incidencia de heladas y granizo (Reynoso *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015; Franco *et al.*, 2015).

Estas y otras componentes ambientales dificultan la identificación de cultivares y materiales experimentales sobresalientes, y causan confusión en los programas de generación, aplicación, validación y transferencia de tecnología en campos de productores. En este sentido es deseable explorar a través de años y localidades para la elección de sitios donde sea posible obtener mayores rendimientos de grano por unidad de superficie, ya que la mayoría de los ensayos se han efectuado en pocas localidades de un solo año y no ha sido posible identificar materiales que presenten mínima interacción genotipo*ambiente y que muestren estabilidad fenotípica (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; González *et al.*, 2010).

La densidad de población (D) es uno de los factores tecnológicos que más ha contribuido al incremento de la productividad en maíz; para cada sistema de producción hay una que maximiza el rendimiento de grano (Sangoi *et al.*, 2002; Tollenaar y Lee, 2011). En diversas investigaciones se ha estudiado la interrelación que existe entre ésta con PGP (Rossini *et al.*, 2012; Van Roekel y Coulter, 2012; Manfield y Mumm, 2013; Antonieta *et al.*, 2014), LM o PVG (Cervantes *et al.*, 2015).

Actualmente en el centro del estado de México la D comercial para criollos e híbridos destinados a la producción de grano varía de 50 000 a 75 000 plantas ha⁻¹. En el contexto anterior, la D causó variabilidad fenotípica significativa en LM, diámetro de mazorca (DM), peso de olote (PO),

Statistical analysis

The analysis of variance, the comparison of means with the Tukey's test ($p=0.05$) and simple linear correlation analyzes were performed, the latter being a prerequisite for the use of the multivariate technique. The outputs were obtained with the system for statistical analysis (SAS, version for Windows 6.01).

The algebraic procedures were described by Martínez (1988). With the 10 cultivars and with the 13 variables, a principal components analysis was made. Before obtaining the biplot with SAS, the data were standardized and subjected to the decomposition of singular values in the manner suggested by Sánchez (1995). The biplot graph was compiled in Microsoft Excel ver. 1997-2003, with the scores of the first two major components (González *et al.*, 2010).

Results and discussion

Variance analysis

The three localities caused significant phenotypic variability ($p=0.01$) in both blooms (DFM and DFF), in both heights (AP and AM), in most dimensions of the cob (LM, NHM, PGP, NGP) and in grain yield (RG). In other studies, it has been documented that the Toluca-Atlacomulco Valley, in the state of México, is very heterogeneous in soils, temperatures, precipitation and incidence of frost and hail (Reynoso *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015; Franco *et al.*, 2015).

These and other environmental components make it difficult to identify outstanding cultivars and experimental materials and cause confusion in the generation, application, validation and transfer of technology programs in producer fields. In this sense it is desirable to explore through years and localities for the selection of sites where it is possible to obtain higher grain yields per unit area, since most of the tests have been carried out in a few localities of a single year and have not it has been possible to identify materials that present minimal genotype*environment interaction and that show phenotypic stability (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; González *et al.*, 2010).

The population density (D) is one of the technological factors that has contributed most to the increase of maize productivity; for each production system there is one that

peso volumétrico del grano, PGP, NGP y RG (Cuadro 3). La búsqueda de D óptimas económicas es deseable para optimizar insumos y para disminuir los costos de producción en el cultivo de maíz pero en esta región mexiquense son escasos este tipo de trabajos (Rodríguez *et al.*, 2015; Reynoso *et al.*, 2014). En otras regiones se ha observado que el mayor rendimiento de grano se obtiene sembrando entre 30 000 y 90 000 plantas ha⁻¹ (Sangoi *et al.*, 2002; Tollenaar y Lee, 2002).

Entre cultivares de maíz se detectaron diferencias altamente significativas ($p=0.01$) en las 13 variables evaluadas. Este hecho subraya la existencia de amplia diversidad en el material genético considerado (Cuadro 3). En esta región de Valles Altos del Centro de México la diversidad y divergencia genética que existe en los maíces nativos e introducidos de otras regiones geográficas está relacionado principalmente con cinco razas: Amarillo Arrocillo, Cacahuacintle, Cónico, Chalqueño y Palomero Toluqueño, aunque de éstas sólo Cónico y Chalqueño predominan extensivamente.

La mayoría de los híbridos de las empresas privadas o de algunos centros de investigación nacional usan germoplasma del CIMMYT, particularmente de los grupos heteróticos A y B que incluyen otro tipo de razas, las cuales han contribuido al incremento de la variabilidad genética en maíz (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014).

Con relación a las interacciones entre los tres factores en estudio la más importante fue localidades*cultivares (Cuadro 3), ya que ésta originó variabilidad fenotípica importante en 12 de las 13 variables analizadas. Este tipo de variabilidad está muy vinculada a la interacción genotipo*ambiente y a los estudios de estabilidad fenotípica. Rodríguez *et al.* (2005); González *et al.* (2010); Reynoso *et al.* (2014); Franco *et al.* (2015); Rodríguez *et al.* (2015), entre otros, comentaron que ésta interacción causa confusión en la estimación de parámetros genéticos, reduce la respuesta a la selección y dificulta la identificación de material biológico sobresaliente.

Cuando hay interacción localidades*cultivares significativa es deseable darle mayor importancia a los maíces con mejor adaptación a un ambiente específico con el propósito de incrementar la productividad (González *et al.*, 2010; Rodríguez *et al.*, 2015). Tollenaar y Lee (2011) comentaron que el incremento en la productividad de maíz en Estados Unidos de América fue de 1.5 a 9.5 t ha⁻¹ desde 1930 hasta 2008.

maximizes grain yield (Sangoi *et al.*, 2002; Tollenaar and Lee, 2011). In a number of researches, the interrelation between PGP (Rossini *et al.*, 2012; Van Roekel and Coulter, 2012; Manfield and Mumm, 2013; Antonieta *et al.*, 2014), LM or PVG (Cervantes *et al.*, 2015).

Currently in the center of the state of Mexico the commercial D for criollos and hybrids destined to the production of grain varies from 50 000 to 75 000 plants ha⁻¹. In the previous context, D caused significant phenotypic variability in LM, cob diameter (DM), "olote" weight (PO), grain volumetric weight, PGP, NGP and RG (Table 3). The search for economically optimal D is desirable in order to optimize inputs and to reduce production costs in maize cultivation, but this type of work is scarce in this region (Reynoso *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015). In other regions, it has been observed that the highest grain yield is obtained by sowing between 30 000 and 90 000 plants ha⁻¹ (Sangoi *et al.*, 2002; Tollenaar and Lee, 2002).

The maize cultivars showed highly significant differences ($p=0.01$) in the 13 evaluated variables. This fact underlines the existence of wide diversity in the genetic material considered here (Table 3). In this region of High Valleys of Central Mexico, the diversity and genetic divergence that exists in the native and introduced maize of other geographic regions is related mainly to five races: Amarillo Arrocillo, Cacahuacintle, Cónico, Chalqueño and Toluqueño Palomero, although of these only Conical and Chalqueño predominate extensively.

Most hybrids from private companies or from some national research centers use CIMMYT germplasm, particularly from heterotopic groups A and B that include other types of breeds, which have contributed to increased genetic variability in maize (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014).

Regarding the interactions between the three factors in the study, the most important were localities*cultivars (Table 3), since this caused significant phenotypic variability in 12 of the 13 variables analyzed. This type of variability is closely linked to genotype*environment interaction and to phenotypic stability studies. Rodríguez *et al.* (2005); González *et al.* (2010); Reynoso *et al.* (2014); Franco *et al.* (2015); Rodríguez *et al.* (2015), among others, commented that this interaction causes confusion in the estimation of genetic parameters, reduces the response to selection and makes it difficult to identify outstanding biological material.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F.
Table 3. Average squares and statistical significance of the values of F.

FV	GL	DFM	DFF	AP	AM	IP	LM
L	2	8738.1**	8472.69**	0.68**	0.26**	0.85*	19.78**
R(L)	6	106.21**	140.86**	0.19**	0.09**	0.19 ns	2.07*
D	2	8.23 ns	17.4 ns	0.03 ns	0.06 ns	0.08 ns	8.71**
L*D	4	29.9*	41.53**	0.07**	0.06**	0.23 ns	0.22 ns
D*R(L)	12	21.61	14.57	0.03	0.02	0.19	0.66
C	9	468.3**	536.62**	0.71**	1.07**	1.1**	12.87**
D*C	18	13.55 ns	12.28 ns	0.02 ns	0.01 ns	0.12 ns	1.02 ns
L*C	18	89.04**	79.56**	0.09**	0.07**	0.34**	1.42*
L*D*C	36	14.24 ns	13.24 ns	0.01 ns	0.01 ns	0.08 ns	0.65 ns
Error	162	11.63	11.85	0.01	0.01	0.12	0.81
Media		99.82	102.23	2.27	1.27	0.99	13.96
CV (%)		3.42	3.37	5.31	7.4	35.11	6.43

LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NHM= número de hileras de la mazorca; PO= peso de olote; PVG= peso volumétrico del grano; PGP= peso de grano por planta; NGP= número de granos por planta; RG= rendimiento de grano; ns= no significativo; * y **= significativo al 0.05 y 0.01, respectivamente; L= localidad; R= repeticiones dentro de L; D= densidad de población, C= cultivares; FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; CV= coeficiente de variación; DFM= floración masculina; DFF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; IP= índice de prolificidad.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F (continuación).
Table 3. Average squares and statistical significance of the values of F (continuación).

FV	GL	DM	NHM	PO	PVG	PGP	NGP	RG
L	2	0.03 ns	9.07**	11.78 ns	1228.86 ns	2408.29**	87953.14**	17.87 ns
R(L)	6	0.04 ns	0.87 ns	11.19 ns	202.75 ns	319.27 ns	2998.46 ns	10.24*
D	2	0.27**	1.52 ns	93.81**	2661.04*	4556.1**	10253.16*	184.38**
L*D	4	0.09**	0.4 ns	7.98 ns	331.91 ns	807.19**	2846.84 ns	3.25 ns
D*R(L)	12	0.02	0.6	6.63	597.1	166.03	1586.38	7.22
C	9	0.90**	19.99**	242.13**	11819.13**	3977.92**	31060.3**	50.45**
D*C	18	0.03 ns	0.69 ns	5.02 ns	376.74 ns	557.82*	4683.64*	4.6 ns
L* C	18	0.05**	1.15*	4.4 ns	1566.83**	563.68**	6905.78**	10.07**
L*D*C	36	0.03 ns	0.76 ns	3.45 ns	556.13*	390.14**	3484.63 ns	3.85 ns
Error	162	0.02	0.61	5.41	327.53	157.78	2581.74	4.42
Media		4.45	14.2	17.65	776.38	127.78	403.04	8.44
CV (%)		3.44	5.49	13.18	2.33	9.83	12.61	24.92

LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NHM= número de hileras de la mazorca; PO= peso de olote; PVG= peso volumétrico del grano; PGP= peso de grano por planta; NGP= número de granos por planta; RG= rendimiento de grano; ns= no significativo; * y **= significativo al 0.05 y 0.01, respectivamente; L= localidad; R= repeticiones dentro de L; D= densidad de población, C= cultivares; FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; CV= coeficiente de variación; DFM= floración masculina; DFF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; IP= índice de prolificidad.

Estos se atribuyen principalmente a las mejoras que se han logrado con el fitomejoramiento y en las prácticas agronómicas, la liberación de híbridos con mayor tolerancia al estrés, al incremento de la densidad de población, mayor

When there is interaction between localities*cultivars, it is desirable to give greater importance to maize with better adaptation to a specific environment for the purpose of increasing productivity (González *et al.*, 2010; Rodríguez

uso de fertilizantes inorgánicos, mejoras prácticas para el control de malezas y fechas de siembra más tempranas, entre otros, han sido los principales factores que han causado una mayor ganancia genética.

Los hechos anteriores sugieren la réplica de este tipo de estudios en tiempo y en espacio, debido a que la heterogeneidad ambiental que afecta los ensayos de rendimiento es uno de los factores no tecnológicos que también originan variabilidad fenotípica importante en los maíces de los Valles Altos del Centro de México.

Efecto de las localidades

La producción de grano en las tres localidades fue estadísticamente similar: los promedios para Cerrillo (L1), Tiacaque (L2) y Mina México (L3) fueron de 8.91, 8.38 y 8.02 t ha⁻¹ (media de 8.43 t ha⁻¹). No obstante lo anterior, en L1 se registraron los mayores valores para ambas floraciones e índice de prolificidad, en L2 se registraron las mayores alturas de planta y mazorca, longitud de mazorca, número de hileras de la mazorca y peso de olote; en L3 se favoreció más la expresión fenotípica del diámetro de la mazorca, del peso volumétrico del grano, del peso de grano por planta y del número de granos por planta (Cuadro 4).

Sin embargo, lo anterior no compensó la diferenciación en rendimiento de grano por ha porque los problemas de humedad fueron compensados con riegos de auxilio. En el año 2013 se registro 535, 827 y 455 mm de lluvia en L1, L2 y L3, respectivamente; 50, 39 y 34% ocurrió en pre-floración y el resto en post-floración.

Cuadro 4. Comparación entre localidades.

Table 4. Comparison between locations.

Localidades	DFM	DFF	AP (cm)	AM (cm)	IP	LM	DM	NHM	PO	PVG	PGP	NGP	RG
El Cerrillo (L1)	109 a	111 a	2.18 c	1.26 b	1.09 a	13.42 b	4.44 a	14 b	17.25 a	775.25 a	122.43 b	367b	8.91 a
Mina México (L2)	102 b	104 b	2.36 a	1.33 a	0.98 ab	14.25 a	4.45 a	15 a	17.95 a	773.38 a	128.14 a	420 a	8.02 a
Tiacaque (L3)	89 c	92 c	2.27 b	1.23 b	0.9 b	14.22 a	4.47 a	14 b	17.76 a	780.51 a	132.76 a	423 a	8.38 a
DMSH	2	2	0.07	0.06	0.17	0.32	0.06	0	1.02	9.72	5.12	16	1.07

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p=0.05$). DFM= floración masculina; DFF= floración femenina; AP= altura de planta AM= altura a la mazorca; IP= índice de prolificidad; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NHM= número de hileras por mazorca; PO= peso de olote; PVG= peso volumétrico del grano; PGP= peso de grano por planta; NGP= número de granos por planta; RG= rendimiento de grano.

et al., 2015). Tollenaar and Lee (2011) commented that the increase in maize productivity in the United States, from 1.5 to 9.5 t ha⁻¹ from 1930 to 2008.

This is attributed mainly to the improvements that have been achieved with plant breeding and in agronomic practices, release of hybrids with greater tolerance to stress, increased population density, increased use of inorganic fertilizers, practical improvements in weed control and earlier planting dates, among others, have been the main factors which have caused greater genetic gain.

The above facts suggest the replication of this type of studies in time and in space, because the environmental heterogeneity that affects the performance tests is one of the non-technological factors that also originate important phenotypic variability in the maize of the High Valleys of the Central Mexico.

Effect of localities

The grain production in the three localities was statistically similar: the averages for Cerrillo (L1), Tiacaque (L2) and Mina Mexico (L3) were 8.91, 8.38 and 8.02 t ha⁻¹ (mean of 8.43 t ha⁻¹). However, in L1, the highest values for both blooms and prolificacy index were recorded; in L2, the highest plant and ear height, ear length, number of rows of cob and weight of “olote” were recorded; in L3, the phenotypic expression of ear diameter, grain weight, grain weight per plant and number of grains per plant were more favored (Table 4).

Las temperaturas para L1, L2 y L3 (13.9, 13.3 y 13.8 °C) y sus máximas durante el ciclo del cultivo fueron similares (28.2, 27.7 y 27.6 °C) (Figura 1). Aun cuando los valores difieren significativamente de los mostrados en el Cuadro 1, las deficiencias en lluvia que hubo en dos de las tres localidades fueron compensadas con dos riegos de auxilio, por lo que no hubo problemas de humedad durante las etapas críticas del crecimiento y desarrollo de los maíces que contribuyeran a una diferenciación importante entre sitios de prueba.

En el Cuadro 1 también se muestra que las tres localidades difieren en su localización geográfica, en altitud, tipo de clima, pH, textura y contenido de materia orgánica, como fue confirmado por otros autores (Torres *et al.*, 2011; Franco *et al.*, 2015) pero su efecto sobre la producción de grano en los tres sitios no fue significativo.

En otros estudios conducidos en el Valle Toluca-Atlaconulco, en el Estado de México, se obtuvieron producciones de grano promedio para localidades de 6.36, 5.96 y 8.23 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015).

However, this did not compensate for the differentiation in grain yield per hectare, perhaps because the moisture problems were compensated with risk of distress. In the year 2013 were registered 535, 827 and 455 mm of rain in L1, L2 and L3, respectively; 50, 39 and 34% occurred in pre-flowering and the rest in post-flowering.

The average temperatures for L1, L2 and L3 (13.9, 13.3 and 13.8 °C) and their maximums during the crop cycle were similar (28.2, 27.7 and 27.6 °C) (Figure 1). Although these values differ significantly from those shown in Table 1, rainfall deficits in two of the three localities were compensated with two rescue irrigations, so there were no moisture problems during the critical stages of growth and development of maize that contributed to a significant differentiation between test sites.

In the Table 1 also shows that the three localities differ in their geographic location, altitude, climate type, pH, texture and organic matter content, as confirmed by other authors (Torres *et al.*, 2011; Franco *et al.*, 2015) but its effect on grain yield at all three sites was not significant.

In other studies conducted in the Toluca-Atlaconulco Valley, in the State of Mexico, average grain yields were obtained for localities of 6.36, 5.96 and 8.23 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015).

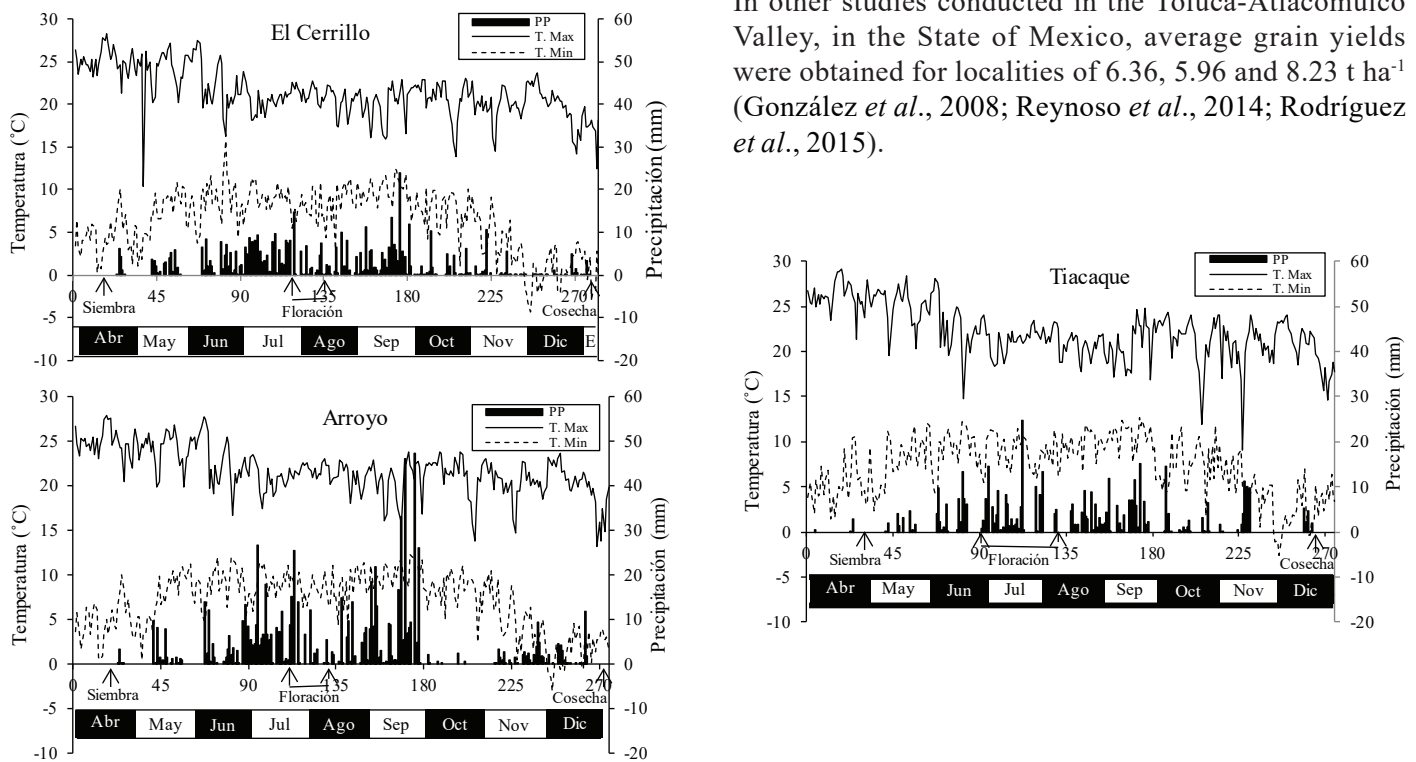


Figura 1. Precipitación y temperaturas máximas y mínimas diarias durante el ciclo de crecimiento del cultivo en El Cerrillo, Mina México y Tiacaque. Las flechas representan las fechas de siembra, floración y cosecha.

Figure 1. Precipitation and daily maximum and minimum temperatures during the crop growth cycle in El Cerrillo, Mina Mexico and Tiacaque. Arrows represent dates sowing, flowering and harvesting.

Densidades de población (D)

El incremento de la D no originó variabilidad fenotípica significativa en las floraciones masculina y femenina, en las alturas de planta y mazorca, en índice de prolificidad y en número de hileras de mazorca, pero en el resto de las variables si hubo. Los rendimientos de grano a 62 500 (D1), 78 125 (D2), 104 161 (D3) plantas ha⁻¹ fueron de 7.25, 8.03 y 10.03 t ha⁻¹, las dos primeras (diferencia de 15 625) difirieron significativamente de la tercera. Oyervides *et al.* (1990); Cervantes *et al.* (2015) observaron que la densidad de plantas modifica la expresión fenotípica de la floración y la altura de planta en líneas de maíz.

Lashkari *et al.* (2011); Cervantes *et al.* (2015) encontraron que la longitud y el diámetro de mazorca disminuyen a medida que la densidad de población aumenta; también se reportaron diferencias en hileras de la mazorca (Hashemi *et al.*, 2005).

Cervantes *et al.* (2015) no encontraron diferencias significativas a 90 000, 100 000 y 110 000 plantas ha⁻¹. El número y el peso de grano por planta disminuyeron (Rossini *et al.*, 2012; Sangoi *et al.*, 2002; Hasemi y Herbert, 1992) y el rendimiento de grano fue mayor cuando aumentó la densidad de plantas (Van Roekel y Coulter, 2011; Antonietta *et al.*, 2014; Cervantes *et al.* 2015). Lo anterior, explica que a través del tiempo, el mejoramiento genético en maíz ha logrado incrementar el rendimiento de grano por superficie a densidades altas sin cambios, en el NGP (Duvick, 1997). Los híbridos liberados recientemente son dependientes de la densidad de población y responden en forma parabólica cuando se aumenta más allá de la óptima (Echarte *et al.*, 2000; Sangoi *et al.*, 2002; Sarlangue *et al.*, 2007; Tollenaar y Lee, 2011). El RG se incrementa un máximo probablemente en aumentos posteriores en el número de plantas pueden reducir marcadamente el rendimiento (Andrade *et al.*, 1996).

Los mayores promedios en longitud, diámetro, hileras y peso de olote por mazorca, así como en pesos de grano por planta (PGP) y número de granos por planta se observaron en D1 y ésta difirió significativamente de D3, excepto en PGP. Sin embargo, esta superioridad no se reflejó en mayor producción de grano (Cuadro 5). La diferencia entre D1 y D3 (2.78 t ha⁻¹) se explica por el mayor número de plantas (41 661).

Este valor compensó la disminución que hubo en los componentes primarios del rendimiento causada por mayor competencia de luz, agua, espacio y nutrientes que se manifestó a 104 161 plantas ha⁻¹. El uso de altas densidades

Density of population (D)

The increase in D did not lead to significant phenotypic variability in male and female blooms, in plant and ear heights, prolificacy index and number of rows of the ear, but in the rest of the variables, if there was one. The yields of grain at 62 500 (D1), 78 125 (D2), 104 161 (D3) plants ha⁻¹ were 7.25, 8.03 and 10.03 t ha⁻¹, the first two (difference of 15 625) differed significantly from third. Oyervides *et al.* (1990); Cervantes *et al.* (2015) observed that plant density modifies the phenotypic expression of flowering and plant height in maize lines.

Lashkari *et al.* (2011); Cervantes *et al.* (2015) found that ear length and ear diameter decrease as population density increases; differences were also reported in rows of the ear (Hashemi *et al.*, 2005).

Cervantes *et al.* (2015) found no statistical differences at 90 000, 100 000 and 110 000 ha⁻¹ plants. The number and weight of grain per plant decreased (Hasemi and Herbert, 1992; Sangoi *et al.*, 2002; Rossini *et al.*, 2012) and grain yield increased when population density increased (Van Roekel and Coulter, 2011; Antonietta *et al.*, 2014; Cervantes *et al.* 2015). This is explained by the fact that over time, genetic improvement in maize has been able to increase the yield of grain per surface at high densities without changes or even reductions in NGP (Duvick, 1997). Recently released hybrids are highly dependent on population density and respond in a parabolic form when it increases beyond the optimum (Echarte *et al.*, 2000; Sangoi *et al.*, 2002; Sarlangue *et al.*, 2007; Tollenaar y Lee, 2011). The RG increases to a maximum at which likely increases in plant numbers can markedly reduce yield (Andrade *et al.*, 1996).

The highest averages in length, diameter, rows and weight of “olote” per cob, as well as in grain weights per plant (PGP) and volumetric and number of grains per plant were observed in D1 and this differs significantly from D3, except in PGP. However, this superiority was not reflected in higher grain yield (Table 5). The difference between D1 and D3 (2.78 t ha⁻¹) is mainly explained by the greater number of plants (41 661).

This value compensated for the decrease in the primary components of yield caused by increased competition for light, water, space and nutrients, which was manifested to 104 161 plants ha⁻¹. The use of high plant densities causes

de plantas causa disminución en el rendimiento de grano y en el tamaño de la mazorca, debido que estimula la dominancia apical, induce esterilidad femenina y disminuye el número de granos por mazorca y de mazorcas ha⁻¹ (Sangoi *et al.*, 2002).

a decrease in grain yield per plant and in the dimensions of the cob because it stimulates apical dominance, induces female sterility and decreases the number of grains per cob and cobs ha⁻¹ (Sangoi *et al.*, 2002).

Cuadro 5. Comparación entre densidades de población.
Table 5. Comparison between population densities.

Plantas ha ⁻¹	DFM	DFF	AP	AM	IP	LM	DM	NHM	PO	PVG	PGP	NGP	RG
104 161	100 a	103 a	2.28 a	1.29 a	0.98 a	13.65 b	4.4 b	14 a	16.59 b	770.43 b	120.12 c	391 b	10.03 a
78 125	100 a	102 a	2.29 a	1.28 a	0.96 a	13.96 ab	4.46 a	14 a	17.73 a	777.62 ab	129.03 b	411 a	8.03 b
62 500	100 a	102 a	2.25 a	1.24 a	1.02 a	14.28 a	4.51 a	14 a	18.63 a	781.09 a	134.18 ^a	408 a	7.25 b
DMSH	2	2	0.07	0.06	0.17	0.32	0.06	0.31	1.02	9.72	5.12	16	1.07

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p=0.05$). DFM= floración masculina; DFF= floración femenina; AP= altura de planta AM= altura a la mazorca; IP= índice de prolificidad; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NHM= número de hileras por mazorca; PO= peso de olote; PVG= peso volumétrico del grano; PGP= peso de grano por planta; NGP= número de granos por planta; RG= rendimiento de grano.

Rodríguez *et al.* (2015) evaluaron los efectos que causaron cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, en el Estado de México y observaron que hubo un incremento de 1.06 t ha⁻¹ cuando se varió de 52 083 a 104 167 plantas ha⁻¹. La respuesta al incremento en la densidad de población depende del tipo de cultivar, de los sitios de evaluación y de su interacción, entre otros (Sangoi, 2002; Tollenaar y Lee, 2011).

Rodríguez *et al.* (2015) evaluated the effects that caused five population densities in eight maize cultivars planted in three locations in the Toluca Valley in the State of Mexico and observed that there was an increase of 1.06 t ha⁻¹ when it was changed from 52 083 to 104 167 plants ha⁻¹. The response to the increase in population density depends on the type of cultivar, the evaluation sites and their interaction, among others (Sangoi, 2002; Tollenaar and Lee, 2011).

Rodríguez *et al.* (2015) eligieron como sitios de evaluación El Cerillo, San Andrés y San Mateo y el único material común fue H-40. En otros estudios se concluyó que la densidad de población óptima varió de 10.3 a 13.7 plantas m⁻² (Sangoi *et al.*, 2002), valores superiores a los evaluados en el presente estudio.

Rodríguez *et al.* (2015) chose El Cerillo, San Andrés and San Mateo as evaluation sites and the only common material was H-40. In other studies it was concluded that the optimal population density varied from 10.3 to 13.7 plants m⁻² (Sangoi *et al.*, 2002), values higher than those evaluated in the present study.

Cultivares de maíz

Cultivars maize

IC 2010 fue el más tardío (106 y 108 días) y HIT-9 el más precoz (91 y 93 días). El intervalo promedio de sincronía floral para híbridos y criollos fue de cuatro días. En otros estudios se ha concluido que el mejoramiento genético ha contribuido a una mejora en la sincronía floral de los nuevos materiales de maíz, lo cual tiene fuertes implicaciones en mayor tolerancia a altas densidades de población (Andrade *et al.*, 1996); un corto intervalo en éste en altas densidades podría ser un indicador confiable que los híbridos presentarán tolerancia a varios tipos de estrés (Anaus *et al.*, 2011).

IC 2010 was the latest (106 and 108 days) and HIT-9 the earliest (91 and 93 days). The average floral synchrony interval for hybrids and criollos was four days. In other studies, it has been concluded that genetic improvement has contributed to an improvement in the floral synchrony of new maize materials, which has strong implications for greater tolerance to high population densities (Andrade *et al.*, 1996); a short interval in this one in high densities could be a reliable indicator that the hybrids will present tolerance to several types of stress (Anaus *et al.*, 2011).

Tollenaar (1992) registraron un incremento en la prolificidad de los híbridos por el mejoramiento genético, a partir de un aumento en la tasa de acumulación de materia seca por planta

Tollenaar (1992) reported an increase in the prolificacy of hybrids due to genetic improvement, based on an increase in the rate of accumulation of dry matter per plant in flowering

en etapa de floración y mayor tasa de crecimiento por planta. Para PO y PVG los híbridos tuvieron mayores valores en comparación con los criollos, HID-15 tuvo mayor peso de olote (22.32 g) y P204 W más peso volumétrico del grano (802.39 g).

Tlacotepec y HID-15 sobresalieron en peso de grano por planta (147.5 y 140.66 g). El NGP fue mayor en HIT 9 (449) y HID-15 (446) y ambos difirieron de los otros cultivares. La respuesta de los híbridos evaluados en este estudio con relación al rendimiento de grano, va acorde con la tendencia de que los híbridos superan en rendimiento de grano a los criollos, como Amarillo Lomas y Tlacotepec (Vafias *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008).

Los 10 cultivares se agruparon en dos niveles de productividad: P204W fue el más sobresaliente (10 t ha⁻¹), H-40, AS-723, AS-MJ9082, P804W, HID-15 y IC-2010 tuvieron rendimientos de grano similares (entre 8.4 y 9.66 t ha⁻¹). Amarillo Lomas, Tlacotepec y HIT-9 tuvieron producciones de grano inferiores estadísticamente a las del grupo anterior (Cuadro 6, Figura 2). Los resultados anteriores están relacionados con el origen genético y geográfico del material biológico. H-40, HID-15, HIT-9 y IC-2010 están formados por líneas del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y otras de la raza Cónico pertenecientes a instituciones de investigación de México, como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX).

stage and a higher rate of growth per plant. For PO and PVG hybrids had higher values compared to criollos, HID-15 had greater “olote” weight (22.32 g) and P204 W plus grain volumetric weight (802.39 g).

Tlacotepec and HID-15 stood out by weight of grain per plant (147.5 and 140.66 g). The NGP was higher in HIT 9 (449) and HID-15 (446) and both differed from the other cultivars. The response of the hybrids evaluated in this study in relation to grain yield, is in accordance with the tendency that the hybrids surpass in grain yield to the criollos, like Amarillo Lomas and Tlacotepec (Vafias *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008).

The 10 cultivars were grouped into two levels of productivity: P204W was the most outstanding (10 t ha⁻¹) but this and H-40, AS-723, AS-MJ9082, P804W, HID-15 and IC-2010 had yields of grain ratio (between 8.4 and 9.66 t ha⁻¹). Amarillo Lomas, Tlacotepec and HIT-9 had lower grain yields statistically than those of the previous group (Table 6, Figure 2). The above results are also related to the genetic and geographic origin of the biological material. H-40, HID-15, HIT-9 and IC-2010 are made up of lines from the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) and others from the Conic race belonging to Mexican research institutions, such as the National Institute (INIFAP) and the Institute of Research and Training in Agriculture, Aquaculture and Forestry of the State of Mexico (ICAMEX).

Cuadro 6. Promedios aritméticos para 10 cultivares de maíz.
Table 6. Arithmetic means for 10 corn cultivars.

Cultivares	DFM	DFF	AP	AM	IP	LM	DM	NHM	PO	PVG	PGP	NGP	RG
H-40	103abc	105bc	2.17d	1.2cd	0.95ab	13.78b	4.66a	15 a	18.44c	775.38cd	134.62bcd	417abc	9.19ab
AS-723	96e	98f	2.01e	1.04e	1.01a	12.92c	4.49b	15bc	17.29cd	795.17ab	117.13fg	417abc	8.69abc
AS-MJ9082	104ab	106ab	2.28bc	1.22c	1.22a	14.65a	4.14e	14bcd	16.36de	769.96de	107.4g	399c	9.25ab
P804 W	99de	100ef	2.15d	1.13d	1.06a	13.59bc	4.31cd	12f	19.24bc	797.04ab	120.71ef	351d	8.63abc
P204 W	99d	102de	2.17cd	1.15cd	1.06a	13.69bc	4.48b	14de	21.03ab	805.51a	129.57cde	403bc	10a
HID-15	101bcd	103cde	2.33b	1.32b	1.16a	14.63a	4.64a	15ab	22.38 a	764.76de	140.66ab	446ab	8.4abc
HIT-9	91f	93g	2.25bcd	1.18cd	1.02a	13.35bc	4.39bcd	15ab	15.07e	775.7cd	124.03def	449a	7.97bc
IC-2010	106a	108a	2.3b	1.23c	1.13a	14.8a	4.29d	14cd	19.3bc	787.17bc	120.12ef	391cd	9.66ab
Amarillo Lomas	100d	104bcd	2.53a	1.63a	0.66bc	14.79a	4.42bc	15bc	14.57ef	757.46e	135.92bc	410abc	7.32c
Tlacotepec	100cd	103cde	2.53a	1.62a	0.61c	13.43bc	4.72a	13e	12.84f	735.65f	147.5a	348d	5.26d
DMSH	3	3	0.11	0.08	0.95	0.78	0.13	1	2.03	15.8	10.97	44	1.84

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p=0.05$). DFM= floración masculina; DFF= floración femenina; AP= altura de planta AM= altura a la mazorca; IP= índice de prolificidad; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca; NHM= número de hileras por mazorca; PO= peso de olote; PVG= peso volumétrico del grano; PGP= peso de grano por planta; NGP= número de granos por planta; RG= rendimiento de grano.

En otros estudios conducidos en la región central de México se ha observado mejora en el incremento del rendimiento de grano y en otras características de planta y mazorca de los nuevos híbridos, lo cual ha contribuido a mejorar su adaptabilidad, particularmente cuando se cruzan líneas del CIMMYT con líneas de Cónico o Chalqueño (González *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2011; Reynoso *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015).

Aun cuando se desconoce el origen genético y geográfico de AS-MJ9082, AS-723, P804W y P204W se infiere que éstos podrían estar formados por líneas del CIMMYT, debido a que se agruparon con el otro subconjunto de híbridos que tienen en común al menos a uno de sus progenitores (Figura 2).

Amarillo Lomas y Tlacotepec, colectados en la región Toluca-Atlaconulco, en el estado de México, fueron evaluados como materiales forrajeros por Franco *et al.* (2015), ambos fueron clasificados como Cónico o Cónico-Chalqueño, respectivamente. Los rendimientos de grano en algunos criollos de ambas razas, sembrados en el centro mexiquense, varían de 6.55 a 7.5 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2008) o de 7.77 9.25 t ha⁻¹ (Rodríguez *et al.*, 2015).

Wellhausen *et al.* (1951) destacaron que en la región Toluca-Atlaconulco existen cultivares que pertenecen a Cacahuacintle, Cónico, Chalqueño y Palomero Toluqueño, pero que la segunda y la tercera son las que predominan en más de 85% de su superficie sembrada.

La superioridad de los híbridos que pertenecen al grupo 1 se atribuye principalmente a la correlación positiva y significativa que éstos presentaron con ambas floraciones, con hileras y longitud de mazorca, con pesos volumétrico del grano y del olote, con número de granos por planta, índice de prolificidad y rendimiento de grano. Por el contrario, ambos criollos sólo presentaron superioridad en ambas alturas y en peso de grano por planta y diámetro de mazorca (Figura 2).

La alta correlación que hubo entre rendimiento de grano y número de granos por planta (NGP), índice de prolificidad (IP), número de hileras (NH) y peso de olote (PO) ha sido reportada en otros trabajos (Sangoi *et al.*, 2002; Maddonni *et al.*, 2006; Van Roekel y Coulter, 2011; Antonieta *et al.*, 2014).

En otros estudios realizados en el centro del estado de México se observó que H-40 produjo 7.78 y 8.59 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2015), promedios

Other studies conducted in the central region of Mexico have shown improvement in grain yield increase and other plant and ear characteristics of the new hybrids, which has contributed to improve their adaptability, particularly when crossing lines of CIMMYT with lines from Conic or Chalqueño (González *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2011; Reynoso *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015).

Although the genetic and geographical origin of AS-MJ9082, AS-723, P804W and P204W is unknown, they may be formed by CIMMYT lines, because they were grouped with the other subset of hybrids that have at least one common to one of their parents (Figure 2).

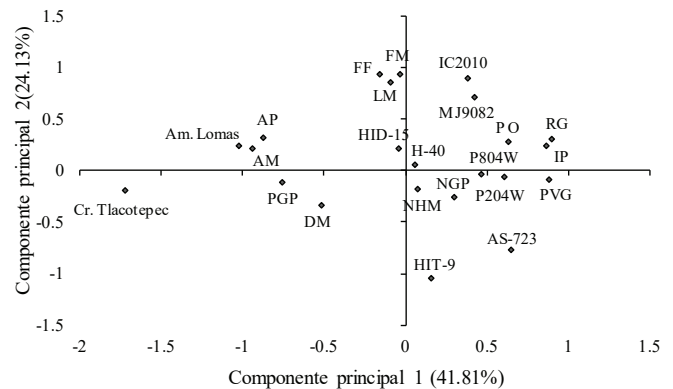


Figura 2. Interrelaciones entre 10 cultivares de maíz y 13 variables agronómicas.

Figure 2. Interrelations between 10 maize cultivars and 13 agronomic variables.

Amarillo Lomas and Tlacotepec, collected in the Toluca-Atlaconulco region, México, were evaluated as forage materials by Franco *et al.* (2015), both were classified as Cónico or Cónico-Chalqueño, respectively. The yields of grain in some criollos of both races, planted in the Mexican center, vary from 6.55 to 7.5 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2008) or 7.77 9.25 t ha⁻¹ (Rodríguez *et al.*, 2015).

Wellhausen *et al.* (1951) pointed out that in the Toluca-Atlaconulco region there are cultivars that belong to Cacahuacintle, Conic, Chalqueño and Palomero Toluqueño, but the second and third are those that predominate in more than 85% of their planted area.

The superiority of the hybrids belonging to group 1 is mainly attributed to the positive and significant correlation that these presented with both blooms, rows and length

inferiores al registrado en el presente estudio (9.19 t ha⁻¹). Velázquez *et al.* (2005) registraron rendimientos entre 3.6 y 11.1 t ha⁻¹ en varias localidades del centro de México, con una media de 7.17 t ha⁻¹; ellos también comentaron que H-40 es recomendable para siembra comercial en riego y buen temporal en los estados de Hidalgo, Puebla, Querétaro, Tlaxcala y Estado de México (entre 2 200 y 2 500 msnm).

Conclusiones

En las tres localidades se registraron producciones de grano estadísticamente iguales. La diferencia entre la mayor y la menor de las tres densidades de población, con la misma fórmula de fertilización, fue de 2.78 t ha⁻¹ en 104 161 plantas ha⁻¹ se registró 10.03 t ha⁻¹. Con P204W se obtuvo 10 t ha⁻¹, pero éste no difirió estadísticamente de IC 2010, AS-MJ9082, H-40 y AS-723. El análisis de componentes principales explicó 65.94% de la variación total original; la mayor producción de grano por unidad de superficie en el material genético anterior se explica por la alta correlación que hubo entre RG, IP, PO y NGP. Este trabajo puede ser considerado como base para caracterizar otros híbridos en altas densidades de población.

Literatura citada

- Anaus, J. L.; Sanchez, C. and Edmeades, G. O. 2011. Phenotyping maize for adaptation to drought. *In*: Monnexveux, P. and Ribaut, J. M. (Ed.). Drought phenotyping in crops: from theory to practice. Consultative Group on International Agricultural Research (CIGAR) Generation Challenge Programme-CIMMYT. Mexico. 263-283 p.
- Andrade, F. H.; Cirilo, A. G.; Uhart, S. and Otegui, M. E. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalpress, Buenos Aires, Argentina. 292 p.
- Antonietta, M.; Fanello, D. D.; Acciaresi, H. A. and Guiamet, J. J. 2014. Senescence and yield responses to plant density in stay green and earlier-senescing maize hybrids from Argentina. *Field Crops Res.* 155:111-119.
- Bavec, F. and Bavec, M. 2002. Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yield of early maturing maize cultivars. (FAO 100-400). *Eur. J. Agron.* 16(1):151-159.
- Cervantes, O. F.; Cadenas, T. J. L.; Raya, P. J. C.; Andrio, E. E.; Rangel, L. J. A.; Guevara, A. L. P.; Rodríguez, H. R. S. y Mendoza, E. M. 2015. Respuesta del Silk Baling a humedad edáfica y densidad de población en líneas de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(1):231-241.
- of cob, with volumetric weights of the grain and “olote”, with number of grains per plant, index prolificacy and grain yield. In contrast, both criollos presented only superiority in both heights and weight of grain per plant and ear diameter (Figure 2).
- The high correlation between grain yield and number of grains per plant (NGP), prolificacy index (IP), number of rows (NH) and cob weight (PO) has been reported in other studies (Sangoi *et al.*, 2002; Maddonni *et al.*, 2006; Van Roekel and Coulter, 2011; Antonietta *et al.*, 2014).
- In other studies carried out in the center of the state of Mexico, H-40 produced 7.78 and 8.59 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2015), averages lower than those recorded in the present study (9.19 t ha⁻¹). Velázquez *et al.* (2005) reported yields between 3.6 and 11.1 t ha⁻¹ in several localities in central Mexico, with a mean of 7.17 t ha⁻¹; they also commented that H-40 is recommended for commercial sowing in irrigation and good weather in the states of Hidalgo, Puebla, Queretaro, Tlaxcala and State of Mexico (between 2 200 and 2 500 meters above sea level).

Conclusions

In the three localities, statistically equal grain yields were recorded. The difference between the highest and the lowest of the three population densities, with the same fertilization formula, was 2.78 t ha⁻¹ in 104 161 plants ha⁻¹ was recorded 10.03 t ha⁻¹. With P204W 10 t ha⁻¹ was obtained, but this did not differ statistically from IC 2010, AS-MJ9082, H-40 and AS-723. The principal component analysis explained 65.94% of the original total variation; the higher grain yield per unit area in the genetic material above is explained by the high correlation between RG, IP, PO and NGP. This work can be considered as a basis for characterizing other hybrids in high population densities.

End of the English version



CIMMYT.1995. Manejo de los ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT. 5^{ta} reimpresión, México, D. F. 20 p.

- CONAGUA. 2013. Comisión Nacional del Agua. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Área Técnica Departamento de Aguas Superficiales. Ingeniería de Ríos.
- Daynard, T. B. and Muldoon, J. F. 1983. Plant-to-plant variability of maize plants grown at different densities. *Canadian Journal of Plant Science* 63(1):45-59.
- Duvick, D. N. 1997. What is yield?. In developing drought and low N-tolerant maize, (eds.) G. O. Edmeades, B. Banziger, H. R. Mickelson and C. B. Pema-Valdivia. México: CIMMYT. 3-15 p.
- Echarte, L.; Luque, S.; Andrade, F. H.; Sadras, V. O.; Cirilo, A. G.; Otegui, M. E. and Vega, C. R. C. 2000. Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crops Res.* 68: 1-8.
- Franco, M. J. R. P.; González, H. A.; Pérez, L. D. J. y González, R. M. 2015. Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 6(8):1915-1926.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E. y Pérez, L. D. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):33-42.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J. y Rodríguez, P. J. E. 2008. Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el Valle de Toluca- Atlacomulco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(01):67-76.
- González, A.; Pérez, D. J.; Sahagún, J.; Franco, O.; Morales, E.; Rubí, M.; Gutiérrez, F. y Balbuena, A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca- Atlacomulco, México. *Rev. Agron. Costarric.* 34(2):129-143.
- Hashemi, A. M.; Herbert, S. J. and Putnam, D. H. 2005. Yield response of corn to crowding stress. *Agron. J.* 97(3):839-846.
- Hashemi, A. and Herbert, S. J. 1992. Intensifying plant density response of corn with artificial shade. *Agron. J.* 84: 547-551.
- Lashkari, M.; Madani, H.; Ardakani, M. R.; Golzardi, F. and Zargari, K. 2011. Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Am. Eur. J. Agron. Environ. Sci.* 10(3):450-457.
- Maddoni, G. A.; Cirilo, A. G. and Otegui, M. E. 2006. Row width and maize grain yield. *Agron. J.* 98(6):1532-1543.
- Martínez, G. A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Trillas, México. 756 p.
- Novacek, M. J.; Mason, S. C.; Galusha, T. D. and Yaseen, M. 2013. Twin rows minimally impact irrigated maize yield, morphology, and lodging. *Agron. J.* 105(1):268-276.
- Novacek, M. J.; Mason, S. C.; Galusha, T. D. and Yaseen, M. 2014. Bt transgenes minimally influence maize grain yields and lodging across plant populations. *Maydica.* 59(1-4):90-95.
- Oyervides, G. A.; Ortiz, C. J.; González, H. V. A y Carballo, C. A. 1990. El número de mazorcas por planta y la formación de arquetipos de maíz. *Agrociencia.* 1(4):103-117.
- Rodríguez, F. I.; González, H. A.; Pérez L. D. J. y Rubí, A. M. 2015. Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 6(8):1943-1955.
- Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J.; Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2005. La interacción genotipo*ambiente en la caracterización de áreas de temporaleras en la producción de trigo. *Agrociencia.* 39(1):51-64.
- Rossini, M. A.; Maddoni, G. A. and Otegui, M. E. 2012. Inter-plant variability in maize crops grown under contrasting N stand density combinations: Links between development, growth and kernel set. *Field Crop Res.* 133:90-100
- Reynoso, Q. C. A.; González, H. A.; Pérez, L. D. J.; Franco, M. O.; Torres, F. J. L.; Velázquez, C. G. A.; Breton, L. C.; Balbuena, M. A. y Mercado, V. O. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 5(5):871-882.
- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Rev. Fitotec. Mex.* 18(2):188-203.
- Sangoi, L.; Gracietti, M. A.; Rampazzo, C. and Bianchetti, P. 2002. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density population. *Field Crops Research.* 79(1):39-51.
- Sarlangue, T.; Andrade, F. H.; Calviño, P. A. and Purcell, L. C. 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? *Agron. J.* 99(4):984-991.
- SIAP. 2007. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D. F. 208 p.
- Stanger, T. F. and Lauer, J. G. 2006. Optimum plant population of Bt and non-Bt corn in Wisconsin. *Agron. J.* 98:914-921.
- Tetio, K. F. and Gardner, F. P. 1988. Responses of maize to plant population density. II. Reproductive development, yield, and yield adjustments. *Agron. J.* 80(6) 930-940.
- Tollenaar, M. 1992. Is low plant density a stress in maize? *Maydica.* 37(4):305-311.
- Tollenaar, M. and Lee, E. A. 2011. Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews.* 34(4):37-82.
- Torres, F. J. L.; Morales, R. E. J.; González, H. A.; Laguna, C. A. y Córdova, O. H. 2011. Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en Valles Altos del centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 2(6):829-844.
- Turrent, F. A. 2009. Potencial productivo de maíz. *Rev. Cienc.* 92-93:126-129.
- Vafias, B.; Ispalandis, C. G.; Goulas, C. and Deligeorgidis, P. N. 2006. An approach on yielding performance in maize under varying plant densities. *Asian J. Plant Sci.* 5(4):690-694.
- Van Roekel, R. J. and Coulter, J. A. 2011. Agronomic responses of corn to planting date and plant density. *Agron. J.* 103(5):A 1414-1422.
- Van Roekel, R. J. and Coulter, J. A. 2012. Agronomic responses of corn hybrids to row width and plant density. *Agron. J.* 104(3): 612-620.
- Velázquez, C. G. A.; Tut, C. C.; Lothrop, J.; Virgen, V. J. y Salinas, M. Y. 2005. H-40. Híbrido de maíz de grano blanco para los Valles Altos de México. SAGARPA-INIFAP-CIRC. Chapingo, Estado de México. Folleto Técnico Núm. 21 p.
- Wellhausen, E. J.; Roberts, L. M.; Hernández, X. E. and Mangelsdorf, P. C. 1951. Razas de maíces en México; su origen, características y distribución. Folleto Técnico No. 5. Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAR). México, D. F. 237 p.