

**EFFECTO DE LA DENSIDAD DE PLANTAS EN EL RENDIMIENTO DE GRANO EN
MAÍZ^a****EFFECT OF PLANT DENSITY ON GRAIN YIELD IN MAIZE**

Quiroz-Mercado, J.^{1*}; Antuna-Grijalva, O.¹; Pérez-López, D.J.²; Coyac-Rodríguez, J.L.¹; Espinoza-Banda, A.¹; González-Huerta, A.².

¹*Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Periférico Raúl López Sánchez S/N. Colonia Valle Verde. Torreón, Coahuila. C.P. 27054. (fito.ul@uaaan.edu.mx). Teléfono: (844) 411 0200. Ext. 7675.*

**Autor para correspondencia: jorge.quirozm@uaaan.edu.mx.*

²*Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus El Cerrillo. Carretera Toluca-Ixtlahuaca km. 14.5, Toluca, Estado de México. C.P. 50295. (ofrancom@uaemex.mx). Teléfonos: (722) 2965531, 1806098. Ext. 101, 102.*

Fecha de envío: 28, febrero, 2021

Fecha de publicación: 30, Julio, 2021

Resumen:

El presente trabajo se estableció en el ciclo primavera-verano de 2013 en dos localidades; El Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca y en el campo experimental de Tiacaque, municipio de Jocotitlán. El objetivo fue evaluar la respuesta del rendimiento y sus componentes numéricos en diez cultivares de maíz bajo tres densidades de planta en los Valles Altos del Estado de México. En cada localidad el experimento se estableció en un diseño experimental de bloques completos, al azar con tres repeticiones en arreglo de parcelas divididas donde la parcela grande fueron las variedades y las parcelas chicas las densidades de planta. La parcela experimental constó de tres hileras de 6 m de longitud, separadas a 0.8 m, para un área efectiva de 24 m². Las 9 variables registradas se realizaron de acuerdo a los procedimientos y las unidades de medición que están descritos por CIMMYT (1995) y González et al. (2008). Los resultados mostraron significancia estadística ($p \leq 0.01$) entre cultivares en las 9 características evaluadas. Para el factor densidad de plantas, la longitud de mazorca, peso de grano por panta, número de granos por planta y rendimiento de grano se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), la densidad de 104,167 p ha⁻¹ fue la que mostró mayores rendimiento en los cultivares. El cultivar ICAMEX 2010 obtuvo el mayor rendimiento de grano con 10.23 t ha⁻¹.

Palabras clave: Localidad, cultivares, Valles Altos.

^a Proyecto: Diversidad fenotípica, estabilidad del rendimiento e identificación de maíces sobresalientes para el Valle de Toluca-Atlacomulco, México. UAEMéx, Clave: 3311/2012.

Abstract:

The present work was established in the spring-summer cycle of 2013 in two locations; El Cerrillo Piedras Blancas, municipality of Toluca and in the experimental field of Tiacaque, municipality of Jocotitlán. The objective was to evaluate the yield response and its numerical components in ten maize cultivars under three plant densities in the High Valleys of the State of Mexico. In each locality the experiment was established in an experimental design of complete random blocks with three repetitions in arrangement of divided plots where the large plot were the varieties and the small plots the plant densities. The experimental plot consisted of three rows of 6 m in length, separated at 0.80 m, for an effective area of 24 m². The 9 variables recorded were performed according to the procedures and measurement units that are described by CIMMYT (1995) and González et al. (2008). The results showed statistical significance ($p \leq 0.01$) between cultivars in the 9 characteristics evaluated. For the plant density factor the ear length, grain weight per plant, grain weight per plant and grain yield highly significant differences were detected ($p \leq 0.01$), the density of 104.167 p ha⁻¹ was the one that showed the highest yield in cultivars. The cultivar ICAMEX 2010 obtained the highest grain yield with 10.23 t ha⁻¹.

Keywords: Locality, cultivars, High Valleys.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres cereales más importantes en el mundo (Russell, 1991). La demanda de este cereal está aumentando a un ritmo más rápido al mismo tiempo que la población mundial se incrementa más allá de 7 mil millones de personas (Tilman et al., 2011). Por lo anterior, el aumento del rendimiento potencial es un objetivo importante para el futuro mediato (Jaggard *et al.*, 2010). En maíz el incremento del rendimiento de grano se ha atribuido al mejoramiento genético y al avance de las prácticas de producción (Duvick, 2005a, 2005b; Lee y Tollenaar, 2007). La densidad de plantas representa el factor de manejo agronómico en el maíz que ha cambiado considerablemente durante las últimas seis décadas, por lo que el aumento del rendimiento se ha atribuido, en parte, a la mayor capacidad de los nuevos híbridos de tolerar la mayor densidad de población (Fasoula y Tollenaar, 2005 y Tollenaar y Lee, 2011), pero las ganancias de rendimiento asociados con mayores densidades puede depender de la predisposición genética de los híbridos de maíz para tolerar una mayor competencia y responder con un rendimiento adicional (Tokatlidis y Koutroubas, 2004; Tokatlidis et al., 2005; Sarlangue et al., 2007; Haegele et al., 2014). La respuesta de los cultivares mejorados a mayores densidades de planta se ha documentado ampliamente (Andrade et al., 1999; Maddonni et al., 2001; Tokatlidis et al., 2011).

Algunos híbridos producen más cuando la densidad de plantas se incrementa, mientras que otros muestran pérdidas en el rendimiento de grano (Duvick y Cassman, 1999; Grassini et al., 2011; Hashemi et al., 2005). El rendimiento de grano en maíz está determinado principalmente por el número final de granos por unidad de superficie que alcanza en la madurez fisiológica y se define mayormente en un período de 30 días durante la floración (Andrade et al., 1999). Por ello, el rendimiento está asociado al número de granos por m² y bajo prácticas de manejo como la densidad de plantas (Antonieta et al., 2014; Van Roekel y Coulter, 2012; Maddonni et al., 2006). Lashkari et al. (2011) reportaron que granos por hilera, granos por planta y diámetro de mazorca disminuyeron a medida que aumentó la densidad de plantas. A esto se suma su escasa capacidad para compensar un bajo número de granos con mayor peso individual de los mismos (Andrade, et al., 1996). Esto puede dar lugar a que la respuesta del rendimiento en los sitios donde el estrés (por ejemplo la sequía) sea difícil de predecir la densidad óptima (Duvick, 2005a; Tokatlidis et al., 2011). Por lo tanto, los niveles de producciones potenciales o alcanzables pueden diferir entre las localidades, como resultado de las diferencias ambientales (Van Ittersum y Rabbinge, 1997).

En los Valles Altos del Estado de México el maíz es un cultivo que se establece principalmente en condiciones de temporal durante el ciclo primavera-verano. Sin embargo, la falta de generación de tecnología en el manejo de este cultivo para su establecimiento es deficiente en gran parte de esta región. Por ello, identificar nuevas alternativas en el manejo de maíz, especialmente en el uso de densidades de planta es de suma importancia para incrementar los rendimientos de grano bajo ambientes de los Valles Altos del Estado de México. La hipótesis es que el rendimiento de grano se ve afectado por la densidad de plantas, y el número de granos es el componente de rendimiento más sensible al efecto de la densidad de plantas. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la respuesta del rendimiento y sus componentes en diez cultivares de maíz bajo tres densidades de planta en dos localidades del Estado de México.



MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El trabajo de investigación se estableció en dos localidades del Estado de México. La localidad 1 (L1) fue El Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca y la localidad 2 (L2) en campo experimental de Tiacaque municipio de Jocotitlán, durante el ciclo agrícola de Primavera-Verano de 2013, en el Cuadro 1 se describe la ubicación, altitud, precipitación y condiciones climáticas del área de estudio.

Cuadro 1. Características de altitud, coordenadas, clima, temperatura y precipitación del área de estudio.

Table 1. Altitude, coordinates, climate, temperature and precipitation characteristics of the study area.

Localidades	Altitud (msnm)	Coordenadas	Clima	T°C media	Precipitación (mm)
El Cerrillo	2620	19° 415' Lat. Norte 99° 679' Long. Oeste	Templado semiseco	13.5	747
Tiacaque	2735	19° 4226' Lat. Norte 99° 4712' Long. Oeste	Templado sub húmedo	13.2	1008

Fuente: Programa Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional 2012 (MasAgro).

Material genético

Se evaluó la respuesta de diez cultivares de maíz propios para la zona de Valles Altos del Estado de México (Cuadro 2).

Densidad de siembra

Se consideraron tres densidades de planta D1= 104 167 plantas ha⁻¹, D2= 78 125 plantas ha⁻¹ y D3= 62 500 plantas ha⁻¹.

Diseño y tamaño de la parcela experimental

En cada localidad el experimento se estableció en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en arreglo de parcelas divididas donde la parcela grande fueron las variedades y las parcelas chicas las densidades de planta. La parcela experimental constó de tres hileras de 6 m de longitud, separadas a 0.80 m, para un área efectiva de 24 m².

Cuadro 2. Cultivares de maíces evaluados en este estudio.

Table 2. Corn cultivars evaluated in this study.

Número	Cultivares	Origen o Pedigree
1	Híbridos H-40 (testigo)	(CML246 x CML 242) x M39
2	AS-723	HÍBRIDO DE CRUZA TRIPLE.
3	ASGROW MJ9082	HÍBRIDO EXPERIMENTAL
4	P804 W	HÍBRIDO EXPERIMENTAL
5	P204 W	HÍBRIDO EXPERIMENTAL
6	HID-15	(CML239 x CML242) x (L10 x L52)
7	HIT-9	(CML244 x CML 349) x IML8
8	ICAMEX 2010	(CML457 x CML459) x IML6
9	Amarillo Lomas	CRIOLLO DE TABORDA
10	Tlacotepec	CRIOLLO TLACOTEPEC

Informes proyecto de investigación del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria Acuícola y Forestal (ICAMEX).

Descripción del trabajo experimental

Las fechas de siembra se realizaron el 16 y 30 de abril de 2013 en las localidades El Cerrillo y Tiacaque, respectivamente. En ambas localidades se utilizó el tratamiento de fertilización 140N - 90P - 60K. El fósforo y potasio se aplicaron en su totalidad al momento de la siembra, mientras que la aplicación del nitrógeno se realizó en forma fraccionada, aplicando el 50% al momento de la siembra y el otro 50% en la segunda escarda. Las fuentes de los fertilizantes fueron: Urea (46%), superfosfato de calcio triple (46%) y cloruro de potasio (60%), respectivamente. El control de malezas se hizo en forma química aplicado Gesaprin C90 + Hierbamina, siguiendo las indicaciones recomendadas por el fabricante. Para la localidad El Cerrillo se regó el suelo diez días antes de la siembra (en punta de riego), posteriormente se aplicó un riego de auxilio el 13 de abril en la localidad El Cerrillo y 4 de mayo en la la localidad Tiacaque. La cosecha se realizó el 4 de enero de 2014 en El Cerrillo y el 22 de diciembre de 2013 en Tiacaque.

Variables de estudio

Para el registro de las variables se etiquetó seis plantas con competencia completa del surco central de la parcela útil, para medir altura de planta (AP), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras de mazorca (NHM), peso de grano por planta (PGP), número de granos por planta (NGP), y rendimiento de grano por hectárea (RG). Las características registradas por parcela fueron: días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF) se determinó cuando el 50% de las plantas tenían estigmas de 2-3 cm de largo. Los procedimientos y las unidades de medición empleadas en el registro de datos están descritos por CIMMYT (1995) y González et al. (2008).

Análisis estadístico

Para cada variable registrada se realizaron los análisis de varianza individual y combinado considerando una serie de experimentos en espacio en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en arreglo de parcelas divididas mediante el programa estadístico SAS versión 9.0. Cuando los valores de F de los análisis de varianza resultaron significativos, se procedió a realizar la comparación de medias mediante la prueba de Tukey al 0.05 de significancia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

En el Cuadro 3 se muestra el análisis de varianza combinado para las 9 variables agronómicas. Se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre cultivares en las 9 características evaluadas. Para localidades solo las variables DFM, DFF, AP, LM, NGP y NGP mostraron diferencias significativas al 0.01 de probabilidad de error. Para el factor densidad de plantas la LM, PGP, NGP y RG se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). El efecto de la densidad de plantas sobre el rendimiento de grano ha sido confirmado por Fasoula y Tollenaar, 2005; Van Roekel y Coulter, 2012; y Antonietta et al., 2014). En las interacciones LxD solo DFF y AP mostraron diferencias significativas al menos al 0.05 ($p \leq 0.05$). En la interacción LxC hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en todas las variables de estudio. Las interacciones DxC y LxDxC no mostraron diferencias significativas en las 9 variables de estudio.

Cuadro 3. Cuadrados de la media y sus significancia estadística para días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), altura de planta (AP), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras de mazorca (NHM), peso de granos por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG) en el ciclo primavera 2013.

Table 3. Mean squares and their statistical significance for days to male flowering (DFM), days to female flowering (DFF), plant height (AP), ear length (LM), ear diameter (DM), number of ear rows (NHM), grain weight per plant (PGP), number of grains per plant (NGP) and grain yield (RG) in the spring 2013 cycle.

F.V.	G	DFM	DFF	AP	LM	DM	NHM	PGP	NGP	RG
L	1	16936.20**	16397.36**	0.35**	28.56**	0.04ns	1.10ns	4798.80**	138722.27**	12.47ns
R(L)	4	134.31**	164.19**	0.28**	2.55**	0.02ns	0.22ns	451.16*	3119.62ns	13.01*
D	2	22.77ns	37.49ns	0.08ns	4.21**	0.05ns	1.69ns	1336.73**	4202.64ns	139.38**
L x D	2	40.85ns	59.49*	0.10**	0.05ns	0.07*	0.28ns	448.65ns	4733.67ns	2.88ns
D x R(L)	8	22.03ns	17.71ns	0.03*	0.39ns	0.02ns	0.61ns	96.20ns	1043.23ns	5.90ns
C	9	415.24**	437.51**	0.63**	9.22**	0.65**	15.99**	2983.28**	20410.88**	25.02**
D x C	18	18.09ns	16.72ns	0.02ns	0.61ns	0.01ns	0.76ns	248.95ns	1821.91ns	4.83ns
L x C	9	133.53**	115.40**	0.12**	2.34**	0.05**	1.01*	648.63**	6892.90**	4.92ns
LxDxC	18	18.79ns	15.26ns	0.01ns	0.58ns	0.02ns	0.58ns	191.72ns	2394.49ns	3.82ns
Error	108	15.10	14.26	0.01	0.55	0.02	0.50	4798.80	1732.21	3.94
C.V.%		3.9	3.7	5.3	5.3	3.0	5.0	9.7	10.5	22.9

ns= no significativo. *; ** = significativo al 0.05 y 0.01, respectivamente. L= Localidad; R= Repetición; D= Densidad de plantas; C= Cultivares.



Comparación de medias entre cultivares

La comparación entre cultivares se muestra en el Cuadro 4. El cultivar HIT-9 fue el más precoz para alcanzar floración masculina (88 días) y floración femenina (90 días) sus promedios fueron estadísticamente diferentes al cultivar ICAMEX 2010 que fue el más tardío con 105 y 107 días, respectivamente, seguido de los cultivares AS-MJ9082 y H-40 (104 y 106; 102 y 104 días, respectivamente). El promedio del intervalo de sincronía entre DFM y DFF para los híbridos fue de 2 días, mientras que para los criollos fue de 4 días. Estos resultados van acorde con Duvick, (2005a), donde en una comparación de los híbridos a través del período de 1930 a 1970, el intervalo de sincronía entre DFM y DFF disminuyó en los híbridos más avanzados. Estos resultados coinciden con estudios recientes por Brekke et al. (2011b) quienes concluyeron que un intervalo corto entre DFM y DFF es un factor favorable en la tolerancia a mayores densidades de planta. Los cultivares que alcanzaron mayor AP fueron los criollos Tlacotepec (2.54 y 1.62 m, respectivamente) y Amarillo Lomas (2.54 y 1.60 m, respetivamente). El cultivar con menor AP fue AS-723 (1.94 y 0.99 m, respectivamente).

Entre cultivares se muestra que para LM, Amarillo Lomas, presentó el valor promedio mayor (14.73) seguido de ICAMEX 2010, HID -15 y AS-MJ9082 mientras que para DM, Tlacotepec y H-40 presentaron los mayores valores con 4.74 y 4.72 cm respectivamente, y difirieron estadísticamente de los demás cultivares (Cuadro 4).

En cuanto a NHM, H-40 tuvo el mayor valor (16), y P804 W y Tlacotepec tuvieron los valores menores (12 y 13, respectivamente). El Criollo de Tlacotepec (147.7 g), H-40 (140.7 g), HID-15 (139.72 g) y Amarillo Lomas (138.36 g) fueron los que presentaron PGP. El NGP fue mayor para los cultivares H-40 (431) y HID-15 (438), quienes difirieron con P804 W (343), ICAMEX 2010 (378) y Tlacotepec (339). El RG, el valor promedio mayor lo alcanzó ICAMEX 2010 con 10.23 t ha⁻¹, quien difirió estadísticamente y significativamente de P804 W con 7.97 t ha⁻¹ y Tlacotepec 5.97 t ha⁻¹ quienes alcanzaron los menores rendimientos (Cuadro 3).



La respuesta de los híbridos evaluados en este estudio con relación al rendimiento de grano, va acorde con la tendencia de los cultivares modernos (H-40, AS-723, AS-MJ9082, P804 W, P204 W, HID-15, HIT-9 e ICAMEX 2010) que presentan mayor rendimiento de grano que los cultivares antiguos como son A. Lomas y Tlacotepec (Russell, 1986; Vafias et al., 2006).

Cuadro 4. Comparación de medias de los 10 cultivares de maíz para días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), altura de planta (AP), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras de mazorca (NHM), peso de granos por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG) en el ciclo primavera 2013.

Table 4. Comparison of means of the 10 maize cultivars for days to male flowering (DFM), days to female flowering (DFF), plant height (PA), ear length (LM), ear diameter (DM), number of ear rows (NHM), grain weight per plant (PGP), number of grains per plant (NGP) and grain yield (GR) in the spring 2013 cycle.

Cultivares	DFM	DFF	AP (m)	LM ----- (cm) -----	DM -----	NHM	PGP (g)	NGP	RG (t ha ⁻¹)
H-40	102 ab	104 abc	2.10 d	13.79 bc	4.72 a	16 a	140.76 a	431 a	9.09ab
AS-723	96 d	98 e	1.94 e	12.67 d	4.48 bc	14 b	116.86 cd	401 ab	8.35ab
AS-MJ9082	104 a	106 ab	2.24bc	14.48 ab	4.16 e	14b c	109.20 d	393 ab	9.33ab
P804 W	98b cd	100 e	2.13 bcd	13.38 cd	4.29 de	12 d	119.25 cd	343 c	7.97bc
P204 W	99 bcd	101 cde	2.12 cd	13.57 c	4.43 cd	14 c	126.43 bc	397 ab	9.73ab
HID-15	101 abc	103 bcd	2.25 b	14.50 ab	4.63 ab	15 b	139.72 ab	438 a	9.09ab
HIT-9	88 e	90 f	2.17 bcd	13.08 cd	4.41 cd	15 b	119.95 cd	420 ab	8.53ab
ICAMEX 2010	105 a	107 a	2.24 bc	14.59 ab	4.29 de	14 bc	118.22 cd	378 bc	10.23a
A. lomas	98b cd	103 abcd	2.54 a	14.73 a	4.41 cd	14 bc	138.36 ab	410 ab	8.17ab
Tlacotepec	98 cd	101 cde	2.54 a	13.41 cd	4.74a	13 d	147.26 a	339 c	5.97c
DMSH(0.05)	4	4	0.13	0.80	0.15	1	13.42	45	2.14

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).



Comparación de medias entre densidad de plantas

En las tres densidades de planta no hubo diferencias estadísticas para DFM, DFF y AP. La densidad de 62 500 p ha⁻¹ mostró el valor promedio mayor para LM y PGP y difiriendo estadísticamente de las densidades de 78 125 p ha⁻¹ y 104 167 p ha⁻¹. El NGP, DM y NHM no fueron afectados significativamente por la densidad de plantas (Cuadro 5), estos resultados difieren con un estudio realizado por Sangoi et al. (2002) y Lashkari et al. (2011).

Cuadro 5. Comparación de media de las tres densidades de planta para días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), altura de planta (AP), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras de mazorca (NHM), peso de granos por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG) en el ciclo primavera 2013.

Table 5. Mean comparison of the three plant densities for days to male flowering (DFM), days to female flowering (DFF), plant height (AP), ear length (LM), ear diameter (DM), number of ear rows (NHM), grain weight per plant (PGP), number of grains per plant (NGP) and grain yield (RG) in the spring 2013 cycle.

Densidades	DFM	DFF	AP (m)	LM ----- (cm)	DM -----	NHM	PGP (g)	NGP	RG (t ha ⁻¹)
104 161 p ha ⁻¹	100 a	102 a	2.2 a	13.5 b	4.4 a	1.4 a	122.8 b	385 a	10.3 a
78 125 p ha ⁻¹	98 a	101 a	2.2 a	13.8 ab	4.4 a	1.4 a	127.6 ab	401 a	8.0 b
62 500 p ha ⁻¹	98 a	101 a	2.1 a	14.0 a	4.4 a	1.4 a	132.3 a	398 a	7.4 b
DMSH (0.05)	2	2	0.09	0.33	0.07	0.0	5.12	17	1.27

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).



La PGP a medida que incrementa la densidad de plantas también ha sido reportado por Hashemi et al. (2005). Lo anterior puede explicarse a que mayor competencia intraespecífica en densidades de planta induce una tensión gradual en la planta durante la temporada de crecimiento que puede alterar el crecimiento de la planta (Borras et al., 2003). Sin embargo, el RG fue mayor en la densidad de 104 167 p ha⁻¹ con 10.37 t ha⁻¹ en comparación 78 125 p ha⁻¹ y 62 500 p ha⁻¹ con 8.09 y 7.47 t ha⁻¹, respectivamente.

La causa de mayor PGP en densidades bajas, pero mayor rendimiento de grano en densidades altas se debe a que el mejoramiento en cultivares de maíz modernos ha propiciado una dependencia para tolerar densidades de planta más altas que incrementan el rendimiento de grano por unidad de superficie, pero con una menor producción de grano por planta, como lo han reportado varios trabajos (Andrade et al., 2002; Fasoula y Tollenar, 2005; Sarlangue et al., 2007).

Comparación de medias entre localidades

La localidad El Cerrillo mostró mayor número de DFM (109) y sus diferencias con relación a la localidad de Tiacaque fueron estadísticamente diferentes. En Tiacaque se registró mayor altura de planta (2.27 m), LM (14.22 cm), peso de granos por planta (132.76 g) y NGP (423), sus promedios fueron estadísticamente diferentes a la localidad El Cerrillo (Cuadro 5). Lo anterior se explica a que tales incrementos en esas variables fueron debido a que los niveles de producciones potenciales o reales fueron más altos en Tiacaque (Van Ittersum y Rabbinge, 1997) comparado con El Cerrillo como resultado de las diferencias climáticas del ambiente físico.

Las variables DM, NHM y el rendimiento por hectárea fueron iguales estadísticamente en ambas localidades. La ausencia de diferencias significativas entre ambientes para las variables altura de planta ha sido reportada por Mansfield y Mumm (2013), mientras que el RG si a diferido entre ambientes (Antonietta et al., 2014).



Cuadro 6. Comparación de medias entre localidades para días a floración masculina (DFM), días a floración femenina (DFF), altura de planta (AP), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras de mazorca (NHM), peso de granos por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG) en el ciclo primavera 2013.

Table 6. Comparison of means among locations for days to male flowering (DFM), days to female flowering (DFF), plant height (AP), ear length (LM), ear diameter (DM), number of ear rows (NHM), grain weight per plant (PGP), number of grains per plant (NGP) and grain yield (RG) in the spring 2013 cycle.

Localidad	DFM	DFF	AP (m)	LM ----- (cm)	DM -----	NHM	PGP (g)	NGP	RG (t ha ⁻¹)
El Cerrillo	109 a	111 a	2.18 b	13.42 b	4.44 a	14 a	122.43 b	367 b	8.91 a
Tiacaque	89 b	92 b	2.27 a	14.22 a	4.47 a	14 a	132.76 a	423 a	8.38 a
DMSH	2	1	0.09	0.22	0.05	0	3.37	11	0.84 (0.05)

Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren significativamente entre si (Tukey = 0.05).

CONCLUSIÓN

De acuerdo a nuestras hipótesis planteadas en este trabajo, se concluye que el rendimiento de grano fue afectado por la densidad de plantas, donde la densidad de 104,167 p ha⁻¹ fue la que mostró mayores rendimiento en los cultivares. El número de granos fue el componente del rendimiento más sensible a la densidad de plantas. Entre cultivares hubo diferencias en el número de granos, y donde el cultivar ICAMEX 2010 alcanzó los mayores rendimiento (10.23 t ha⁻¹). En cuanto a las localidades no hubo diferencias en los rendimientos alcanzados por los cultivares. Los resultados de este estudio permite considerar esta información para ser utilizada como base para centrarse en el germoplasma apropiado con potencial para mejorar la tolerancia a la densidad de plantas, rasgos pertinentes, y los niveles de densidad de plantas significativas en futuros estudios para caracterizar mejor tolerancia a la densidad de plantas.

LITERATURA CITADA

- Andrade, F. H., A. G. Cirilo, S. Uhart and M. E. Otegui. (1996). Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalpress, Buenos Aires, Argentina. 192 p.
- Andrade, F. H., Echarte, L., Rizzalli, R., Della Maggiora, A., Casanovas, M. (2002). Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Science*, 42: 1173–1179.
- Andrade, F. H., Vega, C.R.C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., Valentinuz, O. (1999). Kernel number determination in maize. *Crop Science*, 39: 453–459.
- Antonietta M., Fanello D. D., Acciaresi H. A., Guamet J. J. (2014). Senescence and yield responses to plant density in stay green and earlier-senescing maize hybrids from Argentina. *Field Crops Research*, 155:111–119.
- Borras, L., G. A. Maddonni, and M. E. Otegui. (2003). Leaf senescence in maize hybrids: Plant population, row spacing and kernel set effects. *Field Crops Research*, 82:13–26.
- Brekke, B., J. Edwards, and A. Knapp. (2011). Selection and adaptation to high plant density in the Iowa stiff stalk synthetic maize (*Zea mays* L.) population: II. Plant morphology. *Crop Science* 51: 2344–2351.
- Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo, CIMMYT. (1995). Manejo de los Ensayos e Informe de los Datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. 5ª reimpresión. México, D. F. 21 p.
- Duvick, D. N. (2005a). The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advance Agronomy*, 86:83–145.
- Duvick, D.N. (2005b). Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). *Maydica* 50:193–202.
- Duvick, D. N., and K.G. Cassman. (1999). Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the northcentral United States. *Crop Science*. 39:1622–1630.
- Fasoula, V. A. and M. Tollenaar. (2005). The impact of plant population density on crop yield and response to selection in maize. *Maydica*, 50: 39–48.
- 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 Toluca-Atacomulco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(1):67-76.

- Grassini, P., Thorburn, J., Burr, C., Cassman, K.G. (2011). High-yield irrigated maize in the Western U. S. corn belt: I. On-farm yield, yield potential, and impact of agronomic practices. *Field Crop Research*, 120: 142–150.
- Haegerle J. W., Becker R. J., Henninger A. S., and Below F. E. (2014). Row Arrangement, Phosphorus Fertility, and Hybrid Contributions to Managing Increased Plant Density of Maize. *Agronomy Journal*, 106:1838–1846.
- Hashemi A. M., S. J. Herbert and D.H. Putnam. (2005). Yield response of corn to crowding stress. *Agronomy Journal*, 97: 839-846.
- Jaggard K.W., Qi A., Ober E.S. (2010). Possible changes to arable crop yields by 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365: 2835-2851.
- Lashkari, M., H. Madani, M.R.A.F. Golzardi, and K. Zargari. (2011). Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. *American-Eurasian Journal of Agronomic and Environmental Science*. 10: 450–457.
- Lee, E.A., and M. Tollenaar. (2007). Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Science*, 47: 202–215.
- Maddonni, G.A., M.E. Otegui and A.G. Cirilo. (2001). Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation. *Field Crop Research*, 71: 183-193.
- Maddonni, G. A., Otegui, M. E., Cirilo, A. G. (2006). Row width and maize grain yield. *Agronomy. Journal*, 98: 1532–1543.
- Mansfield B.D. and Mumm R. H. (2013). Survey of plant density Tolerance in U.S. maize germplasm. *Crop Science*. 54: 157-173.
- Russell, W.A. (1986). Contribution of breeding to maize improvement in the United States 1920s-1980s, Iowa State. *Journal Research*, 61: 5-34.
- Russell, W. A. (1991). Genetic improvement of maize yields. *Advance Agronomy*. 46. pp. 245-298.
- Sangoi, L., Gracietti, M.A., Rampazzo, C., Bianchetti, P. (2002). Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant population. *Field Crops Research*, 79: 39–51.
- Sarlangue, T., Andrade, F. H., Calvino, P. A., Purcell, L. C. (2007). Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? *Agronomy Journal*, 99: 984–991.

- Tilman, D., C. Balzer, J. Hill, and B.L. Befort. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of American*. 108; 50 20260-20264.
- Tokatlidis, I.S., Has, V., Melidis, V., Has, I., Mylonas, I., Evgenidis, G., Copandean, A., Ninou, E., Fasoula, V.A. (2011). Maize hybrids less dependent on high plant densities improve resource-use efficiency in rainfed and irrigated conditions. *Field Crops Research*, 120: 345–351.
- Tokatlidis, I.S., Koutroubas, S.D. (2004). A review study of the maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications on crop yield stability. *Field Crops Research*, 88: 103–114.
- Tokatlidis, I.S., Koutsika-Sotiriou, M., Tamoutsidis, E. (2005). Benefits from using maize density-independent hybrids. *Maydica* 50, 9–17.
- Tollenaar, M., and E.A. Lee. (2011). Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews*, 34:37–82.
- Vafias, B., C. G. Ispalandis, C. Goulas and P. N. Deligeorgidis. (2006). An approach on yielding performance in maize under varying plant densities. *Asian Journal Plant Science*, 5:690-694.
- Van Ittersum M.K., and Rabbinge R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52:197-208.
- Van Roekel, R. J. y Coulter J. A. (2012). Agronomic Responses of Corn Hybrids to Row Width and Plant Density. *Agronomy Journal*. 104:612–620.
- Widdicombe, W. D., and K. D. Thelen. (2002). Row width and plant density effects on corn grain production in the northern Corn Belt. *Agronomy Journal*, 94:1020–1023.

