



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

**COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE GRANO
BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA EN
MAIZ EN LOS VALLES ALTOS DEL ESTADO DE
MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

JORGE QUIROZ MERCADO

**CAMPUS UNIVERSITARIO EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS,
TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, ABRIL DE 2017**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

**COMPONENTES DEL RENDIMIENTO DE GRANO
BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA EN
MAIZ EN LOS VALLES ALTOS DEL ESTADO DE
MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA:
JORGE QUIROZ MERCADO**

**COMITÉ DE TUTORES:
DRA. DELFINA DE JESÚS PÉREZ LÓPEZ. TUTOR ACADÉMICO
DR. ANDRÉS GONZÁLEZ HUERTA. TUTOR ADJUNTO
DR. OMAR FRANCO MORA. TUTOR ADJUNTO**

**CAMPUS UNIVERSITARIO EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS,
TOLUCA, ESTADO DE MÉXICO, ABRIL DE 2017**

Esta investigación forma parte del proyecto “**Diversidad fenotípica, estabilidad del rendimiento e identificación de maíces sobresalientes para el Valle de Toluca Atlacomulco, México**”, registrado en la Secretaria de Investigación y Estudios Avanzados de la Universidad Autónoma del Estado de México a cargo del la Dra. Delfina de Jesús Pérez López, como responsable y el Dr. Andrés González Huerta, como responsable técnico. Clave 3311/2012.

La Tesis “**Componentes del rendimiento de grano bajo diferentes densidades de siembra en maíz en los Valles Altos del Estado de México**”, fue realizada por:

Jorge Quiroz Mercado

Y fue aprobada por el Comité que a continuación se menciona:

Tutor Académico:

Dra. Delfina de Jesús Pérez López

1er Tutor Adjunto:

Dr. Andrés González Huerta

2do Tutor Adjunto:

Dr. Omar Franco Mora

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por otorgarme la beca para estudios de doctorado en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Al consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por otorgarme la beca Tesis de Posgrado para culminar los trámites de titulación correspondientes.

A la Dra. Delfina de Jesús Pérez López y al Dr. Andrés González Huerta por depositar su confianza en mí, por dirigir ésta tesis, por su apoyo y motivación en momentos difíciles del posgrado, y por sus enseñanzas de vida incalculables.

Al Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX) por el apoyo y las facilidades brindadas para el establecimiento de los experimentos dentro de sus campos experimentales ubicados en el Rancho Arroyo y Rancho Tiacaque. En particular un especial agradecimiento al Ingeniero Jacinto Moreno Ayala por su apoyo logístico de campo en los experimentos de éste trabajo de investigación.

A todas aquellas personas (entre ellas mis amigos) que me ayudaron en el establecimiento, seguimiento, cosecha y procesamiento de los experimentos de campo conducidos en éste trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos.

A Karla Verónica Hernández Ruíz.

A todos los profesores que han contribuido en la adquisición de
conocimientos en mi cerebro.

Al selecto grupo de personas considerados mis amigos.

A la gente que tenga interés de leer este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN GENERAL	VIII
ABSTRACT	IX
I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Producción de maíz a nivel mundial.....	4
2.2. Potencial de producción de maíz en México.....	4
2.3. Factores que limitan el rendimiento en maíz.....	6
2.4. Densidad de población y su relación en el cultivo de maíz.....	9
2.5. Relación entre el rendimiento de grano y sus componentes con respecto a la densidad de población.....	12
2.6. Evaluación de cultivares en los Valles Altos.....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Características de las tres localidades consideradas en el presente trabajo	18
3.1.1. Localidad El Cerrillo Piedras Blancas (L1).....	18
3.1.2. Localidad de Mina México, municipio de Almoloya de Juárez (L2).....	20

	Pág.
3.1.3. Localidad de Tiacaque, municipio de Jocotitlán (L3).....	23
3.2. Material genético.....	26
3.3. Densidad de población.....	27
3.4. Estructura de los tratamientos, diseño experimental y tamaño de parcela...	28
3.5. Descripción del trabajo experimental.....	29
3.6. Variables de estudio.....	30
3.7. Análisis estadístico.....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. Densidad de plantas en cultivares de maíz en dos localidades del estado de México.....	33
4.2. Respuesta de diez cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro Mexiquense.....	56
V. CONCLUSIONES GENERALES.....	85
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
VII. ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pág.
1. Cultivares de maíces evaluados en este estudio.....	27
2. Factores y niveles de estudio.....	27
3. Estructura de los 30 tratamientos evaluados en el presente estudio.....	28
Artículo 1. Densidad de plantas en cultivares de maíz en dos localidades del centro del estado de México.	
1. Características de las dos localidades.....	38
2. Cultivares de maíces evaluados en este estudio.....	39
3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para el análisis de varianza combinado.....	42
4. Comparación de medias entre localidades.....	44
5. Comparación de medias entre densidades de planta.....	46
6. Comparación de medias entre 10 cultivares de maíz.....	47
Artículo 2. Respuesta de diez cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexiquense.	
1. Descripción de las tres localidades.....	61
2. Material genético evaluado en este estudio.....	61
3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F.....	67
4. Comparación entre localidades para floraciones masculina (DFM) y femenina (DFF), alturas de planta (AP) y mazorca (AM), índice de prolificidad (IP), longitud (LM), diámetro (DM) y número de hileras	

Cuadro	Pág.
por mazorca (NHM), peso de olote (PO), volumétrico del grano (PVG) y de grano por planta (PGP), granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG).....	69
5. Comparación entre densidades de población para floraciones masculina (DFM) y femenina (DFF), alturas de planta (AP) y mazorca (AM), índice de prolificidad (IP), longitud (LM), diámetro (DM) y número de hileras por mazorca (NHM), peso de olote (PO), peso volumétrico del grano (PVG) y de grano por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG).....	73
4. Promedios aritméticos para 10 cultivares de maíz.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Relación entre los niveles de producción y los factores que determinan el rendimiento de grano en maíz. Adaptado de Van Ittersum y Rabbinge, 1997.....	8
2. Tendencia de la densidad de planta y rendimiento de grano de maíz en Estados Unidos durante los últimos 80 años. Adaptado de Mansfield y Mumm, 2013.....	10
3. Ubicación geográfica de los municipios donde se establecieron los ensayos experimentales, ciclo Primavera-Verano de 2013.....	26
Artículo 1. Densidad de plantas en cultivares de maíz en dos localidades del centro del estado de México.	
1. Biplot entre diez cultivares de maíz (en mayúsculas) y 15 variables agronómicas en minúsculas.....	50
Artículo 2. Respuesta de diez cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexiquense.	
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.....	70
2. Interrelaciones entre diez cultivares de maíz y 13 variables agronómicas.....	78

RESUMEN GENERAL

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 bajo 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 para 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 (10.0 t ha^{-1}), pero éste no difirió estadísticamente de IC 2010, AS-MJ9082, H-40 y AS-723. El análisis de componentes principales explicó el 65.94% 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., cultivares, densidad de plantas, localidades, análisis multivariado.

ABSTRACT

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 locations in central of State of Mexico, Mexico. The main objective was to evaluate the grain yield and its grain yield components in ten maize cultivars sowed in three population densities. The three trials were established in the field conditions in a randomized complete block design with three replicates per site in a split plot arrangement; in main plots were distributed three population densities and in sub plots were allocated ten maize cultivars. There were significant differences ($p = 0.01$) between cultivars in all 13 variables and between population density there were in ear length, ear diameter, cob weight, grain weight per plant, and grain yield, too. An increase in population density reduced number and grain weight per plant but in 104 167 plants ha^{-1} grain yield had 10.03 t ha^{-1} . P204W was the highest grain yield (10.0 t ha^{-1}), but there was statistically equal to IC2010, AS-MJ9082, H-40 and AS-723. The principal component analysis explained 65.94% of the original total variation; a high correlation was observed between grain yield, grains per plant, prolificacy index, and cob weight.

Key words: *Zea mays L.*, cultivars, plant density, localities, multivariate analysis

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

El maíz es el cultivo más importante de México, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social (SIAP, 2007) se siembra aproximadamente 7.5 millones de hectáreas, que representa 33% de la superficie agrícola nacional, mientras que el Estado de México contribuye con 7.1% de la producción nacional y es una de las siete entidades principales del país que concentran 64.5% de la producción total nacional (FND, 2014). Por otra parte, la densidad de planta representa el factor de manejo agronómico en el maíz que ha cambiado considerablemente durante las últimas seis décadas (Fasoula y Tollenaar, 2005; Tollenaar y Lee, 2011), por lo que una mejora de los rendimientos ha sido atribuida, en parte, a la mayor capacidad de los nuevos híbridos de tolerar altas densidades de planta, sin embargo, las ganancias de rendimiento asociados con mayores densidades, también 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; Sarlangue *et al.*, 2007; Haegele *et al.*, 2014). Investigaciones han reportado que los cultivares de maíz modernos bajo condiciones de estrés (por ejemplo, mayor densidad de plantas) producen significativamente más por unidad de superficie en comparación con los maíces antiguos, mostrando incluso en los maíces modernos una fuerte dependencia a las altas densidades de plantas, debido a los procesos de mejoramiento para tolerancia a estrés (Sangoi *et al.*, 2002; Tollenaar y Lee, 2011).

La elección de la densidad es un importante factor de producción del cultivo de maíz al alcance del agricultor. Por tal motivo, resulta deseable, definir las relaciones entre la cantidad de plantas logradas por unidad de superficie en un cultivo y su rendimiento, para distintas situaciones de oferta ambiental de recursos. Los nuevos híbridos tienen un mayor potencial de rendimiento, por lo que deben ser calculadas nuevas relaciones entre rendimiento de grano y la densidad de planta. Con base en la tendencia histórica, donde la mejora del rendimiento también ha sido asociada con un aumento de la densidad de plantas (Tollenaar y Lee, 2011), una manera de seguir aumentando el rendimiento de grano por unidad de área es aumentando la densidad de plantas, lo que indica que nuevos aumentos en la mejora del rendimiento de grano deben ser teóricamente posible (Brekke *et al.*, 2011a). También mejorar rasgos ecofisiológicos relacionados con la tolerancia a altas densidades de planta podría ayudar en los esfuerzos de mejoramiento para incrementar los rendimiento de grano en maíz en los Valles Altos del Estado de México. En este contexto se plantearon los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos

- a) Evaluar la respuesta del rendimiento y sus componentes numéricos en diez cultivares de maíz bajo tres densidades de siembra en tres localidades de los Valles Altos del Estado de México.

- b) Analizar la interrelación entre los cultivares y las variables evaluadas desde una perspectiva multivariada.

1.2. Hipótesis

El rendimiento y sus componentes numéricos se ven afectados al incrementar la densidad de población por lo que origina una respuesta lineal en las dimensiones de la planta y una disminución en las dimensiones de las mazorca cuando se consideran diez cultivares de maíz en tres ambientes del estado de México.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de maíz a nivel mundial

El cultivo de maíz (*Zea mays L.*) es uno de los tres cereales más importantes en el mundo (Russell, 1991), en 2013 se registró una cosecha aproximada de 184 192 053 ha⁻¹ y una producción de 1 016 736 092 toneladas a nivel mundial (FAOSTAT, 2013). Por otra parte, la demanda de este cereal está incrementando a un ritmo más rápido al mismo tiempo que la población mundial aumenta más allá de 7 mil millones de personas (Duvick y Cassman, 1999; Tilman *et al.*, 2011). El rendimiento de maíz ha aumentado considerablemente desde la introducción de híbridos a finales de 1930, no obstante, el aumento en el rendimiento de grano será cada vez más caro y difícil de obtener (Tollenaar y Lee, 2011; Jaggard *et al.*, 2010). Para este cereal se observa un incremento en la demanda y comercio mundial. Se estima que el comercio pase de 93.2 millones de toneladas de maíz en 2010 a 113.2 millones de toneladas de maíz en 2021. Se prevé que las exportaciones de Estados Unidos incrementen y se mantenga como el principal exportador mundial de este grano. También se estima un incremento en la producción y exportaciones de Rusia, Brasil, Unión Europea y Argentina (SAGARPA, 2011).

2.2. Potencial de producción de maíz en México

El maíz es el cultivo más importante de México, desde el punto de vista alimentario, económico, político y social. Este grano se produce en dos ciclos agrícolas: primavera-verano y otoño-invierno, bajo diversas condiciones agroclimáticas de humedad: seco (temporal), punta de riego y riego (SIAP, 2007). Desde el punto de

vista económico, el maíz se siembra en aproximadamente 7.5 millones de hectáreas, que representa 33 % de la superficie agrícola nacional, mientras que a nivel mundial México produce el 2.7% del maíz (23 millones de toneladas en 2010), siendo el 4º productor a nivel mundial, detrás de Estados Unidos, China y Brasil. En México el rendimiento promedio por hectárea es de 3.2 toneladas (lugar 78 de 164 países que producen este grano en el mundo), mientras que el promedio mundial es de 5.2 t ha⁻¹. México es el mercado más grande de maíz en el mundo, representando el 11% del consumo mundial (AGRODER, 2012), siendo éste un cultivo estratégico tanto para la producción como para la alimentación de los mexicanos. México es el principal productor de maíz blanco en el mundo y la perspectiva nacional de maíz blanco indica que a lo largo del período de 2012 a 2020, se estima que México será autosuficiente en este grano (SAGARPA, 2011). Sin embargo, México por su ubicación geográfica, topografía y aspectos socioeconómicos, es especialmente vulnerable a los impactos del cambio climático. Por lo que serán particularmente sensibles a las variaciones climáticas extremas, como son las sequías, las inundaciones y las heladas y aunque los cultivos bajo riego no se ven en principio tan afectados como los de temporal, estarán expuestos de la misma manera a cambios en la temperatura (Magaña y Gay, 2002). Por lo anterior, los retos para incrementar los rendimientos de grano en maíz serán cada vez mayores y difíciles de lograr en el futuro. Por otra parte, la producción de maíz amarillo representa aproximadamente el 5% de la producción nacional de maíz en México. Asimismo, contrario al panorama del maíz blanco, el mercado de maíz amarillo es deficitario y dadas las condiciones actuales, se estima que éste continúe aumentado en el mediano y largo plazo (SAGARPA, 2011).

El Estado de México contribuye con 7.1% de la producción nacional y es una de las siete entidades principales del país que concentran 64.5 % de la producción total nacional (FND, 2014). En los Valles Altos del Estado de México (2400 a 2700 msnm), el maíz representa el 85% de la superficie de uso agrícola (399.175 ha), donde predomina la siembra de variedades criollas (93%) (ICAMEX, 2004), coexistiendo cuatro razas nativas de maíz: Palomero Toluqueño, Chalqueño, Cónico y Cacahuacintle (Muñoz, 2005). Por otra parte, se ha estimado que el potencial de producción sostenible de este cereal en México es de 52 millones de toneladas, de las cuales 28 millones serían factibles de lograr en el corto plazo (tres a seis años), sin incrementar la superficie sembrada y sin utilizar maíz transgénico, mediante la aplicación de tecnología de producción, variedades y prácticas de cultivo disponibles, desarrolladas por instituciones públicas nacionales de investigación y de educación superior (Turrent, 2009).

2.3. Factores que limitan el rendimiento en maíz

El rendimiento potencial de grano en maíz en los años 80 se ha atribuido al mejoramiento genético (tolerancia alta densidad y a otros factores bióticos y abióticos, y la mayor eficiencia en el uso de los recursos) y a una mejora de las prácticas culturales (densidad de plantas, fecha de siembra, manejo de plagas y enfermedades, utilización de agroquímicos selectivos, etc.) (Duvick, 2005a, 2005b; Lee y Tollenaar, 2007; Tollenaar y Lee, 2002).

El rendimiento potencial es el máximo rendimiento que se puede alcanzar de un cultivo y está determinado por factores no modificables del ambiente (radiación, temperatura, suelo) y por factores modificables (genotipo y su arreglo espacial), en ausencia de factores limitantes (agua y nutrientes) y de factores reductores (insectos, enfermedades y malezas). Conocer el rendimiento potencial de un cultivo en un ambiente cobra valor como punto de referencia para el estudio del rendimiento y para saber la eficacia con la que la tecnología utilizada por el sistema productivo permite la expresión del genotipo para la obtención de los mejores rendimientos. En muchos sistemas de riego donde se establecen los cereales, los rendimientos de grano parece estabilizarse en o alrededor del 80% del potencial de rendimiento, mientras que, en los sistemas de temporal, los rendimientos medios son comúnmente del 50% o menos de potencial (Lobell *et al.*, 2009). Lo anterior se debe a que en cualquier temporada, el cultivo de maíz puede estar sujeto a estrés abiótico y biótico, tales como exceso o escasez de humedad, temperaturas altas, enfermedades, plagas y malezas; y por consiguiente la creación de una mayor competencia por recursos (Carcova y Otegui, 2001; Stanger y Lauer, 2007; Tollenaar y Wu, 1999). Por anterior, el rendimiento potencial es primero determinado por aquellos factores definitorios que, cuando el resto de los factores limitantes (agua y nutrientes) y reductores (insectos, enfermedades y malezas) son suministrado a un nivel óptimo, establecen el potencial de productividad del cultivo (factores que definen el rendimiento potencial), y son factores que, a priori, no se pueden controlar y están definidos por la latitud, altitud, estación del año y características de la planta en relación con la fisiología y fenología del cultivo; pero que puede adaptarse a ellos, como por ejemplo, por medio de la fecha de siembra o elección de genotipos cuyo ciclo se

adapte mejor a las características agroclimáticas de una zona dada (Figura 1). Los factores limitantes son aquellos recursos que en caso de suministro deficiente limitan la producción del cultivo por ejemplo: agua y nutrientes. Los factores limitantes son más manejables que los factores definitorios a través de prácticas que incrementan el rendimiento, como riego y fertilización. Mientras más eficiente sea el uso de los factores limitantes, el rendimiento será más cercano al rendimiento potencial cuando los factores reductores estén cubiertos. Los agricultores pueden influir en los factores de crecimiento y los niveles de rendimiento mediante diversas prácticas de cultivo. Las prácticas promedio de los agricultores en un lugar determinado definen el nivel de producción actual, y la aplicación de los métodos de explotación de los cultivos disponibles en esa región define el nivel de producción alcanzable (Ittersum y Rabbinge, 1997).

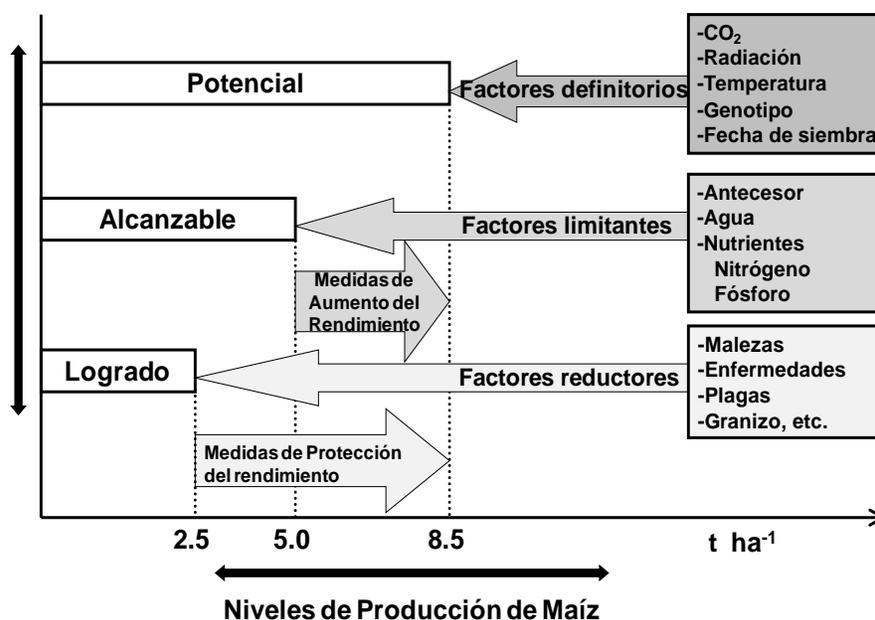


Figura 1. Relación entre los niveles de producción y los factores que determinan el rendimiento de grano en maíz. Adaptado de Ittersum y Rabbinge, 1997.

2.4. Densidad de población y su relación en el cultivo de maíz

La densidad de población representa el factor de manejo agronómico en el maíz que ha cambiado considerablemente durante las últimas seis décadas (Fasoula y Tollenaar, 2005; Tollenaar y Lee, 2011), por lo que una mejora de los rendimientos ha sido atribuida, a la mayor capacidad de los nuevos híbridos de tolerar la más alta densidad de población. Por ejemplo, en Estados Unidos la mejora del rendimiento de grano de híbridos de maíz ha sido debido a un aumento en la densidad de plantas de manera constante desde aproximadamente 30 000 plantas ha^{-1} (o menos) en los años de 1930 (Duvick 2005a; 2005b) a 70 000 plantas ha^{-1} en 2010, con un rango de 62 000 a 104 000 plantas ha^{-1} en función de la región (Coulter *et al.*, 2010; Nafziger, 2008; Van Roekel y Coulter, 2011, 2012). Al mismo tiempo el rendimiento de grano ha aumentado 1.287 kg ha^{-1} en 1930 a 9.595 kg ha^{-1} en 2010 y esto no es exclusivo de los Estados Unidos, ya que resultados similares en la mejora en los rendimientos del maíz se han observado en otras partes del mundo (Tollenaar y Lee, 2011). La densidad de plantas y el rendimiento de grano por unidad de área han tenido de manera conjunta una tendencia creciente en el tiempo desde 1930 (Figura 2). Sobre la base de esta tendencia histórica, una manera de seguir aumentando el rendimiento de grano por unidad de área es aumentar la densidad de plantas (Brekke *et al.*, 2011a).

La densidad de población que da como resultado rendimiento de grano más alto se llama densidad óptima. En maíz el aumento de la densidad óptima permitió el aumento de rendimiento por unidad de área sin mayores cambios en la fenología de

la planta, la morfología y la distribución de la materia seca. (Tollenaar y Lee, 2011). El manejo de la densidad de población como práctica agrícola tiene por objetivo maximizar la captura de los recursos (rápidas coberturas en menos tiempo y lograr mayores valores de intercepción de radiación) para el crecimiento del cultivo, por lo que densidades no óptimas pueden alterar la capacidad del cultivo para capturar y utilizar la radiación, agua y nutrientes, generando una relación de competencia entre las plantas (Otegui, 2007).

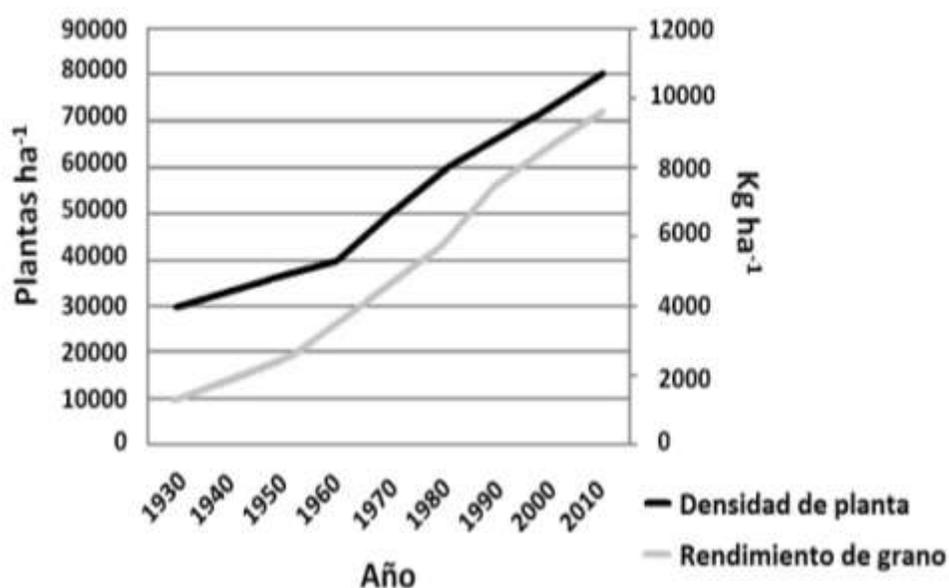


Figura 2. Tendencia de la densidad de planta y rendimiento de grano de maíz en Estados Unidos durante los últimos 80 años. Adaptado de Mansfield y Mumm, 2013.

La competencia es el proceso de mayor importancia en la regulación de la respuesta del cultivo a la densidad de plantas, y se define como el proceso a través del cual las plantas comparten recursos que están provistos en cantidades insuficientes y que son necesarios para satisfacer su demanda. La densidad de plantas es un factor importante para el rendimiento del maíz, pero las ganancias de rendimiento

asociados con mayores densidades puede depender también de la predisposición genética de los híbridos de maíz para tolerar una mayor competencia y responder con un rendimiento adicional (Sarlangue *et al.*, 2007; Haegele *et al.*, 2014). La respuesta de los genotipos mejorados a mayores densidades de siembra se ha estudiado ampliamente (Andrade *et al.*, 1999; Duvick, 1992; Maddonni *et al.*, 2001; Prior y Russell, 1975; Sangoi y Salvador, 1998; Tokatlidis *et al.*, 2011). Los nuevos híbridos de maíz son más tolerantes a la alta densidad, a factores bióticos y abióticos, y son más eficientes en el uso de los recursos (fertilizantes, agua, etc.), pero presentan poca superioridad en su rendimiento a bajas densidades (por su menor rendimiento por planta) cuando se comparan con materiales criollos, por lo tanto la densidad de población óptima varía entre híbridos y generalmente es mayor en híbridos modernos que en los antiguos (Tokatlidis y Koutroubas, 2004). Echarte y Andrade (2003), en un grupo de híbridos liberados entre 1965 y 1993 en Argentina, observaron que los híbridos modernos superaron a los híbridos antiguos en rendimiento de grano y sus componentes en diferentes densidades de siembra. Sin embargo, otros estudios han reportado que algunos híbridos producen más cuando la densidad de población se incrementa, mientras que otros no muestran aumento o incluso muestran pérdidas en el rendimiento de grano (Duvick y Cassman., 1999; Grassini *et al.*, 2011; Hashemi *et al.*, 2005). Por lo que existe una variación genética para la tolerancia a la densidad de plantas en el cultivo de maíz.

2.5. Relación entre el rendimiento de grano y sus componentes con respecto a la densidad de población

El manejo correcto de la cantidad de plantas por unidad de superficie asegura la obtención de coberturas vegetales adecuadas y uniformes, lo que posibilita lograr una intercepción eficiente de la radiación incidente sobre el cultivo, previa a los momentos críticos mencionados. En el cultivo de maíz, la densidad de plantas tiene importantes efectos en la partición de materia seca entre estructuras vegetativas y reproductivas. El rendimiento de este cultivo presenta escasa estabilidad frente a variaciones en la densidad de plantas, y es sumamente sensible a la disminución en la cantidad de recursos por planta en el período de la floración. Por ejemplo, Oyervides *et al.* (1990) y Cervantes *et al.* (2013) encontraron que la densidad de planta modifica la floración en líneas de maíz. En consecuencia, el ajuste de la densidad de plantas resulta especialmente crítico en este cultivo (Andrade *et al.*, 1999). La competencia intraespecífica en mayor densidad de plantas induce estrés gradual en la planta durante la estación de crecimiento que pueden alterar el crecimiento de la planta (Borras *et al.*, 2003). Por lo general a medida que aumenta la densidad de plantas, la tasa de crecimiento de las plantas durante las etapas reproductivas puede quedar reducida (Echarte *et al.*, 2000; Gambin *et al.*, 2006; Rossini *et al.*, 2011), lo que lleva a un retraso en liberación de polen y floración femenina (Tokatlidis y Koutroubas, 2004). Un trabajo realizado por Brekke *et al.* (2011b) concluyeron que un intervalo de floración femenina más corto se asocia con un mayor rendimiento de grano.

El rendimiento y la estabilidad del rendimiento en una amplia gama de entornos son algunos de los objetivos de selección más importantes para un mejorador (Duvick y Cassman, 1999; Fasoula y Fasoula, 2002; Moose y Mumm, 2008). La estabilidad del rendimiento se define como la capacidad de una variedad para mantener un rendimiento a través de ambientes diversos y múltiples años. Los híbridos con la estabilidad del rendimiento tienden a tener una mayor tolerancia estrés (Tollenaar y Lee, 2002) y demostrar una mayor eficiencia en el uso de recursos (Ipsilandis y Vafias, 2005). El tamaño de panícula, números de granos y peso de 1000 granos disminuyeron con el aumento de la densidad de población (Amanullah *et al.*, 2009). Por otra parte, Sangoi *et al.* (2002) reportaron una reducción de granos por planta cuando aumentó de 25 000 a 100 000 plantas ha⁻¹. Asimismo, Hashemi *et al.* (2005); Lashkari *et al.* (2011) y Novacek *et al.* (2014) reportaron una disminución en granos por hilera, peso de granos y diámetro de mazorca así como el número de granos por mazorca (Westgate *et al.*, 1997; Madonni y Otegui, 2006), granos por mazorca es una función del número de hileras por mazorca y el número de granos por hilera (Abendroth *et al.*, 2011). Por su parte Maddonni *et al.* (2006) obtuvieron granos más pequeños cuando la densidad aumenta. El número de hileras de mazorca no se ve afectada por la densidad de plantas ya que está determinada genéticamente (Begna *et al.*, 1997). En otro estudio se observó que el aumento en la densidad de población incremento las alturas de planta y mazorca, disminuye el amacollamiento y aumentó el rendimiento de grano y el porcentaje de plantas jorras (Raya *et al.*, 2012).

Por lo anterior, la elección de la densidad es un factor importante en la producción del cultivo de maíz al alcance del agricultor. Por tal motivo, resulta deseable, definir

las relaciones entre la cantidad de plantas logradas por unidad de superficie en un cultivo y su rendimiento, para distintas situaciones de oferta ambiental de recursos. Los nuevos híbridos tienen un mayor potencial de rendimiento, por lo que deben ser calculadas nuevas relaciones entre el rendimiento de grano y la densidad de planta. Con base en la tendencia histórica, donde la mejora del rendimiento también ha sido fuertemente asociada con un aumento de la densidad de plantas (Tollenaar y Lee, 2011), una manera de seguir aumentando el rendimiento de grano por unidad de área es aumentando la densidad de plantas, lo que indica que nuevos aumentos en la mejora del rendimiento de grano debe ser teóricamente posible (Brekke *et al.*, 2011a). También mejorar los rasgos ecofisiológicos relacionados con la tolerancia a altas densidades de población podría ayudar en los esfuerzos de mejoramiento para incrementar el rendimiento de grano en maíz. Para maíz se sugieren densidades de planta entre 30 000 y 90 000 plantas ha⁻¹, en función de la región, genotipo, nivel de fertilización y el tipo de riego (Sangoi, 2000). Sin embargo, el efecto de la densidad de siembra depende claramente de las características de los cultivares (Haegele, *et al.*, 2014).

2.6. Evaluación de cultivares en los Valles Altos

La región de los Valles Altos de México se ubica a una altitud igual o mayor a 2200 msnm, donde se siembran principalmente maíces criollos (80 %), y cuyas siembras se realizan a bajas densidades de población (40 000 plantas ha⁻¹) y que son susceptibles a enfermedades y al acame de raíz y tallo (Polanco y Flores, 2008). Por otro lado, los factores que limitan la producción de maíz en estas zonas, son las

temperaturas bajas y las precipitaciones escasas, por lo que cultivares usados en esta región deben tener características favorables que superen estos problemas; en suma con un mejor manejo y uso eficiente de los recursos para lograr mejores rendimientos de grano (Beck, 2001; Nava *et al.*, 2000). Una alternativa para incrementar la producción y atender la demanda de grano de maíz es el uso de variedades mejoradas que sean aptas para las condiciones agroclimáticas de los Valles Altos de México. Sin embargo, solo el 6% de la superficie cultivada con maíz se utilizan semillas certificadas debido posiblemente a la falta de variedades con características agronómicas y económicas adecuadas e insuficiente producción de semillas (González *et al.*, 2008).

Se ha mencionado que para esta región de Valles Altos actualmente podrían detectarse nuevos híbridos con mayores rendimientos debido a una mayor heterosis interracial, mejor tolerancia al acame de raíz, mayor resistencia a enfermedades y madurez precoz, entre otras (Torres *et al.*, 2011). Por es necesario sistematizar y fortalecer la estrategia de integración y uso de patrones heteróticos para desarrollar variedades mejoradas adaptadas a las distintas áreas productoras de maíz de México (Ramírez *et al.*, 2013). Por tanto, los programas de mejoramiento genético de maíz por hibridación debieran tener una base de líneas de alta ACG y alto rendimiento, en cuyas cruces simples sería posible identificar las de mayor heterosis (Escorcía *et al.*, 2010). Las líneas progenitoras de los híbridos de origen racial complejo podrían incrementar la heterosis para rendimiento de grano y mejorar las dimensiones de la planta y de la mazorca cuando se crucen con líneas derivadas de las razas Conico-Chalqueño. Este esquema podría ser viable para disminuir las

alturas de planta y de mazorca, el acame y la esterilidad femenina en variedades criollas de cacahuacintle, cónico y chalqueño (González *et al.*, 2008; Gámez *et al.*, 1996).

Trabajos realizados en la zona de Valles altos donde se han evaluado diferentes materiales de maíz como son: variedades, híbridos, líneas y criollos, por ejemplo, en 2011 evaluaron siete híbridos (P1684 W, Syn-1806, AS-722, AS-822, AS-823, HC-8, Z-60 y P11832W) y tres variedades o criollos mejorados (Blanco Federación, Amarillo federación y Amarillo Consucc) sembrados a 90 000 plantas por hectárea a una y doble hilera, los híbridos fueron los que alcanzaron los mayores rendimientos (de 4.05 a 6.07 t ha⁻¹) en comparación con las variedades o criollos mejorados (de 3.46 a 3.97 t ha⁻¹), sin relevancia en los tratamientos de siembra a una y doble hilera (Zamudio *et al.*, 2015). Por su parte Reynoso *et al.* (2014) evaluaron 17 híbridos de maíz en 17 ambientes de los Valles Altos del Centro de México a una densidad 62 500 plantas por hectárea. En donde el rendimiento de grano, que varió entre 2.20 t ha⁻¹ (El Batán, fecha 2) y 8.64 t ha⁻¹ (Tlaxcoapan). Tlaxcoapan, Santa Lucía, Amealco (fecha 1), Boximo y Epitacio Huerta fueron las mejores localidades (8.19, 8.10, 7.35 y 7.95 t ha⁻¹). H-55, considerado como testigo, produjo 6.30 t ha⁻¹ y sólo fue superado estadísticamente por CMT 099004 (6.90 t ha⁻¹). González *et al.* (2007) evaluaron 12 criollos y 13 híbridos a una densidad de 62 500 plantas por hectárea en 2004 en las localidades El Cerrillo Piedras Blancas, Metepec y Jocotitlán. Reportaron heterogeneidad ambiental entre las tres localidades relacionadas con clima y suelo. También los híbridos Condor, H-33, H-40, H-44 y H90E sobresalieron por su mayor rendimiento de grano y menor pudrición de mazorca.

Rodríguez *et al.* (2015) Evaluaron cinco densidades de planta y ocho cultivares en El Cerrillo Piedras Blancas, San Andrés Cuexcontitlan y San Mateo Oztacatipan, donde observaron diferencias significativas ($p < 0.01$) entre localidades y entre cultivares; con rendimientos de grano estadísticamente iguales ($p > 0.05$) en las densidades 59 524, 69 444 y 104 167 plantas por hectárea. Los cultivares más sobresalientes fueron AS-722, San Andrés, HID-17 y H-40 con 9.60, 9.25, 8.68, y 8.59 t ha⁻¹, respectivamente.

También se han realizado trabajos sobre el efecto de la densidad de planta con relación en la calidad de grano en híbridos de maíz, por ejemplo en Texcoco bajo dos densidades de siembra (67 000 y 80 00 plantas ha⁻¹) evaluaron dos híbridos de maíz ACP, de alto contenido proteico (H-143C y H-149C), además de un híbrido comercial como testigo (Pomesa). En este trabajo encontraron que la calidad comercial y la composición química de los híbridos de maíz ACP, 'H-143C' y 'H-149C', se vio afectado por la densidad de planta y su interacción con el genotipo. En el híbrido 'H-143C' el efecto de ambos factores sobre las variables evaluadas fue mínimo, mientras que en el híbrido 'H-149C' una baja densidad de siembra (67 000 plantas ha⁻¹) favoreció el desarrollo de granos más duros, más grandes, con mayor peso hectolítrico y mayor contenido de proteína, aceite y azúcares solubles totales, pero menos almidón que a mayor densidad (80 000 plantas ha⁻¹), (Vázquez *et al.*, 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características de las tres localidades consideradas en el presente trabajo

Este trabajo se hizo en el ciclo agrícola primavera-verano de 2013 en tres localidades de los Valles Altos del Estado de México. La localidad uno (L1) fue El Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca, la localidad dos (L2) en el campo experimental Mina México, municipio de Almoloya de Juárez, y la localidad tres (L3) en el campo experimental Tiacaque, municipio de Jocotitlán.

3.1.1. Localidad El Cerrillo Piedras Blancas (L1)

Esta localidad se encuentra 17 km de la ciudad de Toluca (Figura 3). Sus coordenadas son 19° 24' 40" de latitud norte, y 99° 41' 58" de longitud oeste. La altura promedio es de 2.611 metros sobre el nivel del mar. Este municipio tiene una superficie de 452.37 kilómetros cuadrados, que corresponden al 1.87 % del territorio estatal (INAFED, 1986).

Orografía: El nivel volcánico más importante es el Xinantécatl o Nevado de Toluca, formado por emisiones alternas de productos piroclásticos y derrames. En la parte central, junto a la cabecera municipal, se alza un sistema de cerros con ramificaciones. Está formado por los cerros de Huitzila, Cóporo, Zopilocalco, Toloche y San Miguel, que al suroeste y oeste forman La Teresona, una colina en declive que se conecta en uno de sus extremos con el pequeño cerro de Coatepec; en el centro de la ciudad se alza el Calvario. Hacia el sur de la cabecera está el cerro de Tlacotepec; al norte el de Miltepec y el de Santa Cruz, en cuyo lomerío se unen la

Teresona y el Tenishmo o cerro de Calixtlahuaca. Describiendo una elevación hacia el suroeste se encuentra una cadena de lomas que culmina en el cerro de Tecaxic (INAFED, 1986).

Hidrografía: El río Xicualtenco o Verdiguel cruza la cabecera municipal y desemboca en el río Lerma. El río Tecaxic, se alimenta de algunos arroyos como el de San Marcos y otros temporaleros. Además de cinco manantiales: Terrilleros, El Cano, Agua Bendita, Zacango y las Conejeras; 101 pozos que abastecen a la zona urbana y rural; 24 arroyos de corrientes intermitentes; 61 bordos, 2 lagunas, 2 acueductos y 20 presas de almacenamiento (INAFED, 1986).

Clima: El clima del municipio está clasificado como templado semi seco. La temperatura media anual es de 13.02°C. La precipitación media anual es de 763 mm. Las heladas son de 80 a 140 días en la época fría (INAFED, 1986).

Flora y fauna: La flora del municipio está, compuesta por bosques de pino, aile, ocote y oyamel, entre otras. Mientras que la fauna existente son las siguientes especies: codorniz, liebres y mapache, aunque están siendo reducidas cada vez más (INAFED, 1986).

Características y uso de suelo: El municipio presenta suelos de tipo andosol, litosol y regosol, característicos de las zonas volcánicas y susceptibles a la erosión; la porción centro norte o presenta suelos del tipo feozem, vertisol y planosol, de mediana fertilidad agrícola, susceptibles de agrietamiento e inundación. El 80% de la superficie territorial se usa en la agricultura, la actividad pecuaria y forestal; el 5.5%

para uso urbano; el 0.5% para actividad industrial y el resto en otros usos (INAFED, 1986).

3.1.2. Localidad de Mina México, municipio de Almoloya de Juárez (L2)

En el municipio de Almoloya de Juárez se encuentra Mina México (L2). Se localiza entre las coordenadas 90° 14' 20" y 19° 33' 01" de latitud norte y a 99° 42' 07" y 99° 56' 13" de longitud oeste. Almoloya de Juárez colinda con seis municipios: al norte con San Felipe del Progreso e Ixtlahuaca, al sur con Zinacantepec, al este con Toluca y Temoaya y al oeste con Villa Victoria y Amanalco de Becerra. Está ubicado en la parte noroccidental del Estado de México, perteneciente a la región I Toluca, extensión que representa el 17.0% del total de la región; cuenta con una superficie de 485.21 kilómetros cuadrados; en la entidad ocupa el 2.2% del territorio estatal, y se encuentra a una altitud en la cabecera municipal de 2.600 metros sobre el nivel del mar. (INAFED, 1986).

Orografía: El relieve del municipio es bastante irregular. En la parte suroeste se observa pendientes pronunciadas, el noroeste que forma parte del valle de Ixtlahuaca, cuenta con superficies planas, óptimas para el desarrollo de actividades agropecuarias. Dentro de las elevaciones más importantes, podemos citar al cerro de Molcajete, cerro de Yebuciví, el Calvario de San Miguel, cerro del Ojo de Agua, el parque de La Soledad, la columna boscosa desde San Francisco Tlalcilcalpan hasta Dilatada Sur localizados en el norte, sur y suroeste del municipio. Las zonas planas se encuentran mayoritariamente en la parte este y oeste del territorio municipal (INAFED, 1986).

Hidrografía: En el municipio existen 51 arroyos pequeños sin caudal en la época de secas, sobresaliendo El Rosario, La Pila, San Agustín, Oyamel y Las Cebollas, una excepción es el río Almoloya con afluentes todo el año. Además se cuenta con 8 manantiales de los cuales sobresalen el Ojo de Agua, Dilatada y Arroyo Zarco. La infraestructura hidráulica consta de 191 bordos, 3 presas, 45 pozos profundos y 6 acueductos. Los bordos que sobresalen son el Limbergh y Arroyo Zarco. Mención especial merece la presa Ignacio Ramírez, localizada en el ejido Salitre de Mañones, San Agustín Citlali y San Antonio Atotonilco. Por el volumen de agua y la extensión que abarca, que sin embargo su agua esta concesionada al distrito de Atlacomulco en la parte norte del Estado. Los cuerpos de agua se destinan al desarrollo de la actividad agropecuaria, y abarcan una superficie de 1,137.7 hectáreas. En el municipio se encuentra la quinta parte de la superficie de cuerpos de agua de la región I Toluca, el mejor dotado de agua. Los cuerpos de agua, abarcan una superficie de 1,137.7 hectáreas (2.35%) entre afluentes naturales, manantiales, ríos y arroyos, y la infraestructura existente compuesta de 191 bordos y 3 presas (INAFED, 1986).

Clima: El clima es un elemento condicionante del desarrollo agrícola, en el sentido de que limita o permite el cultivo de especies agrícolas, prevalece el clima templado subhúmedo, propicio para la producción de cereales, frutales y algunas hortalizas (INAFED, 1986). Aunado a este factor, se encuentran precipitaciones pluviales, que se presenta entre tres y cuatro meses del año; la temperatura promedio oscila entre los 13.5°C y 30.1°C, clasificándose de acuerdo a Koppen como: Cb(w2) (w) (i") (g); cuyo significado es un clima templado subhúmedo con lluvias en verano; verano

fresco, largo con temperatura media del mes más cálido de 6.5°C y 22°C, los más húmedos de los climas templados subhúmedos; porcentaje de lluvia invernal menor del 5%, isoterma, oscilación menor de 5°C y el mes más caliente ocurre antes de junio.

Flora y Fauna: Con vegetación arbórea y frutales, en el municipio las principales especies de vegetación arbórea y frutal son: manzana, pera, ciruelo, nogal, capulín, sauce, cedro, trueno, pino, eucalipto, sauce llorón, ocote, oyamel, casuarina y tejocote. Con vegetación herbácea como son: quelite, huazontle, nabo, verdolaga, quintonil, malva, madreSelva, helecho, pensamiento, musgos, hongos, perilla, maguey y nopal. Con plantas medicinales como: manzanilla, árnica, ruda, salvia, cedrón, ajeno, toronjil, mirto y sávila. También importante mencionar las plantas que como maleza afecta a los cultivos del municipio, ya que es uno de los principales problemas que afronta el agricultor, desde la siembra hasta la cosecha, afectando el rendimiento de los cultivos, siendo las que se enumeran a continuación: lengua de vaca, calabacilla, chayotillo, nabo, acahual, malva, papa cimarrona, teozintle, verdolaga, tomatillo y zacate bermuda. Por otra parte, la fauna que se puede observar dentro del municipio son: conejo, ardilla, rata común, zorrillo, liebre, tórtola, zopilote, lechuza y gorrión (INAFED, 1986).

Características y Uso de Suelo: Con suelos de tres tipos como son: a) vertisol. Este tipo de suelo por su alto contenido de arcilla, condición que lo hace pegajoso cuando están mojados o muy duros en estado seco; estas características provocan un alto índice de erodabilidad; en su mayoría son utilizados para la agricultura y pastoreo pues ocupan el 59% de la superficie total; b) andasol. Este suelo fue

generado por actividad volcánica, por lo que se formó a partir de una gran cantidad de cenizas, razón por la que la textura es esponjosa y suelta debido a la altura, su uso generalmente es forestal; dentro del territorio representa el 23% del total; y c) feozem. Son suelos con una capa superficial oscura suave, rica en materia orgánica y nutrientes; esto los hacen aptos para la agricultura, aunque también son susceptibles de erosión si no se toman en cuenta ciertos cuidados; estos tipos de suelos representan el 17% del total. El uso predominante es el agrícola que se utilizan para el cultivo de maíz, en el régimen de temporal, siguiendo en importancia el forestal, pecuario y urbano. (INAFED, 1986).

3.1.3. Localidad de Tiacaque, municipio de Jocotitlán (L3)

Localización: En el municipio de Jocotitlán se encuentra la L3, se localiza en la parte noroeste del Estado de México y ocupan parte del valle de Ixtlahuaca (Figura 3). Se sitúa entre los paralelos 19° 36' 45" y 19° 48' 58" de latitud norte, entre los 99° 39' 33" y 100° 00' 55" de longitud oeste del meridiano de Greenwich. El municipio de Jocotitlán limita: al norte con el municipio de Atlacomulco; al sur con los municipios de Ixtlahuaca y Jiquipilco; al este, con el municipio de San Bartolo Morelos; al oeste, con el municipio de El Oro y Temascalcingo; al suroeste con el municipio de San Felipe del Progreso. Jocotitlán tiene una superficie de 277.26 kilómetros cuadrados, se localiza a 54 kilómetros al norte de la ciudad de Toluca (INAFED, 1986).

Orografía: Los terrenos que forman el municipio ocupan diferentes niveles que se elevan desde los 2.530 msnm, junto al río Lerma en su extremo sur, hasta los límites de las faldas del cerro de Jocotitlán a los 2.900 msnm. El municipio se localiza a

2.770 msnm. En su mayor parte del municipio los terrenos son planos y ocupan una gran extensión del valle de Ixtlahuaca. La única altura importante es el Xocotépetl o cerro de Jocotitlán, de 3,952 msnm, en cuya falda se asienta la cabecera municipal de Jocotitlán. El resto es valle. Existen otros dos cerros pequeños que son el San Miguel Tenochtitlán y el Santiago Casandeje. El cerro de Jocotitlán está considerado como reserva ecológica llamada parque estatal Isidro Fabela (INAFED, 1986).

Hidrografía: El municipio se sitúa en terrenos planos por lo que se facilita que el agua se acumule y propicie la formación de variado tipo de cuerpos de agua, los más importantes son Santa Elena, San Clemente, Hierbabuena, La Soledad, El Toril, Los Árboles, San Jacinto, Cuendo, La Redonda, La Gorupa y Pasteje. Los manantiales de mayor caudal son: Las Fuentes que abastece de agua potable a la cabecera municipal; "Las Fuentes" de Los Reyes que sirve al pueblo del mismo nombre; "Las Tazas" junto a Tiacaque y Santa Cruz en el ejido Santiago Yeche. También existen cerca de San Juan Coajomulco algunos manantiales no denominados. Los bordos son: Zacualpan, Xora, Santiago Yeche, San Clemente, Hierbabuena, La Soledad, Ojo Caliente y El Toril. Entre los pozos más destacados están el de Mavoro, el de la escuela técnica agropecuaria "Lic. Andrés Molina Enríquez" en la cabecera municipal, de Huemetla, así como los perforados por el Departamento del Distrito Federal. Tiene una superficie hidrográfica de 100 hectáreas (INAFED, 1986).

Clima: El que predomina en la región puede clasificarse como templado sub-húmedo con lluvias en verano (CW). La temperatura media anual es de 13.2°C con una máxima de 31°C y una mínima de 4°C. La precipitación pluvial promedio anual es de

1,008.52 mm³ y se registran heladas los últimos meses del año, así como algunas nevadas (INAFED, 1986).

Flora y Fauna: Dentro de la flora existente en el municipio, las especies vegetales más comunes que crecen en la región son: pino, ocote, encino, cedro, fresno, eucalipto, aile, sauce llorón y roble. También suele encontrarse variedades de trueno, jacaranda y casuarinas. Entre las hierbas silvestres se mencionan: alfilerillo, altamisa, árnica, berro, borraja, cactáceas diversas, carrizo, cardo, capulín, cedro, carretilla, chayote, escobilla, helechos, varios hongos, huizache, jarilla, malva, manzanilla, mezquites, mirasol, nabo, romero, ruda, sauco, simonillo, tejocote, tepozán, toloache, trébol, tule, verdolaga, entre otras, además de gran variedad de flores de ornato . En lo referente a la fauna silvestre local, enumeraremos las siguientes especies: conejo, coyote, gato montés, hurón, rata de campo, zorrillo, tlacuache, armadillo, ardilla, cacomixtle, murciélago, tuza y zorra. Otras especies menores son: avispas, sapo, camaleón, lagartijas diversas, culebra, escorpión, víbora de cascabel, hormigas rojas y negras, rana, acocil, ajolote, abejas, jicote, etcétera. En las lagunas y presas suelen encontrarse la carpa de Israel y la carpa común (INAFED, 1986).

Características y Uso de Suelo: El planosol es el suelo que se distribuye en 65% del total municipal y que se ubica en las porciones planas del valle de Ixtlahuaca y Atlacomulco, además en las riveras del río Lerma, sus características son: una capa superficial arcillosa y subhorizontal, albacos ácidos, presenta duripanes y fragipanes (tepetates). El suelo predominante es el planosol mólico que es muy fértil, de color oscuro y rico en materia orgánica. Existe en menor cantidad mezcla de suelos como

el vertisol y fozem. El suelo es propicio para la agricultura de temporal y de riego, tiene una superficie total de 27.677.10 hectáreas, 15,140.2 se destinan a la actividad agrícola; la actividad pecuaria se desarrolla en 2,994.6; el área forestal en 4,844.1. La zona industrial ocupa 159.3 hectáreas y la zona urbana 503.6 hectáreas (INAFED, 1986).



Figura 3. Ubicación geográfica de los municipios donde se establecieron los ensayos experimentales, ciclo Primavera-Verano de 2013.

3.2. Material genético

Se consideraron 10 cultivares de maíz para la zona de Valles Altos del Estado de México. Los materiales utilizados fueron: cinco híbridos comerciales, tres híbridos experimentales y dos criollos de maíz de la zona. El origen de los cultivares evaluados se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Cultivares de maíces evaluados en este estudio.

Núm	Cultivares	Origen o Pedigree
1	H-40 (testigo)	Híbrido de cruza triple (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	Híbrido doble (CML239 X CML242) X (L10 X L52)
7	HIT-9	Híbrido triple (CML244 X CML 349) X (IML8)
8	ICAMEX 2010	Híbrido triple (CML457 X CML459) X (IML6)
9	Amarillo Lomas	Criollo de Taborda
10	Tlacotepec	Criollo Tlacotepec

3.3. Densidad de población

Se consideraron tres densidades donde la densidad 1 (D1) fue 104 167 p ha⁻¹, densidad 2 (D2) 78 125 p ha⁻¹ y densidad 3 (D3) 62 500 p ha⁻¹ (Cuadro 2). La distancia entre plantas equivalente a las densidades de población previamente mencionadas es de 24, 32 y 40 cm respectivamente.

Cuadro 2. Factores y niveles de estudio

Factor	Niveles
Densidad de población	D1= 104 167 plantas ha ⁻¹ (24cm) D2= 78 125 plantas ha ⁻¹ (32 cm) D3= 62 500 plantas ha ⁻¹ (40 cm)
Cultivares	C1= H-40 (testigo) C2= AS-723 C3= ASGROW MJ9082 C4= P804 W C5= P204 W C6= HID-15 C7= HIT-9 C8= ICAMEX 2010 C9= Amarillo Lomas C10= Tlacotepec

3.4. Estructura de los tratamientos, diseño experimental y tamaño de la parcela

En este estudio fueron considerados 30 tratamientos, los cuales se originaron de la combinación de 10 cultivares de maíz y tres densidades de población (Cuadro 3). Los 30 tratamientos fueron distribuidos en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en arreglo de parcelas divididas donde la parcela grande fueron las densidades de planta (D) y las parcelas chicas los cultivares (C). La parcela experimental constó de tres surcos de 6 m de longitud, separadas a 0.80 m, para un área efectiva de 24 m².

Cuadro 3. Estructura de los 30 tratamientos evaluados en el presente estudio

Número	Tratamientos	Densidad (p/ha)	Cultivar
1	D1C1	104 167	H-40 (testigo)
2	D1C2	104 167	AS-723
3	D1C3	104167	ASGROW MJ9082
4	D1C4	104 167	P804 W
5	D1C5	104 167	P204 W
6	D1C6	104 167	HID-15
7	D1C7	104 167	HIT-9
8	D1C8	104 167	ICAMEX 2010
9	D1C9	104 167	Amarillo Lomas
10	D1C10	104 167	C.Tlacotepec
11	D2C1	78 125	H-40 (testigo)
12	D2C2	78 125	AS-723
13	D2C3	78 125	Asgrow MJ9082
14	D2C4	78 125	P804
15	D2C5	78 125	P204W
16	D2C6	78 125	HID-15
17	D2C7	78 125	HIT-9
18	D2C8	78 125	ICAMEX 2010
19	D2C9	78 125	Amarillo Lomas
20	D2C10	78 125	C.Tlacotepec
21	D3C1	62 500	H-40 (testigo)
22	D3C2	62 500	AS-723
23	D3C3	62 500	Asgrow MJ9082
24	D3C4	62 500	P 804 W
25	D3C5	62 500	P 204 W
26	D3C6	62 500	HID-15
27	D3C7	62 500	HIT-9
28	D3C8	62 500	ICAMEX 2010
29	D3C9	62 500	Amarillo Lomas
30	D3C10	62 500	C.Tlacotepec

3.5. Descripción del trabajo experimental

En la preparación del terreno se realizó un barbecho, dos pasos de rastra y el surcado.

Siembra manual. Se depositaron tres semillas a la distancia predeterminada para cada densidad de población. Las fechas de siembra se realizaron el 16, 18 y 30 de abril de 2013 en los municipios de Toluca (L1), Almoloya de Juárez (L2) y Jocotitlán (L3), respectivamente.

Fertilización: El tratamiento de fertilización utilizado fue 140N-90P-50K. 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 Urea (46%), superfosfato de calcio triple (46%) y cloruro de potasio (60%), respectivamente.

Control de malezas se hizo en forma química aplicado Gesaprin C90 (Atrazina: 6-Cloro-N2-etil-N4-isopropil-1,3,5-triazina-2,4-diamina) en dosis de 1.6 kg/ha + Hierbamina (2,4-D: Sal dimetilamina del ácido 2,4-diclorofenoxiacético) en dosis de 1,5 L/ha, haciendo dos aplicaciones en la L1 (22/05/2013 y 12/06/2013), una aplicación en la L2 (12/06/2013) y una aplicación en la L3 (02/06/2013). Para la L1 y L2 se regó el suelo diez días antes de la siembra (en punta de riego), posteriormente se aplicó un riego de auxilio sólo en la L1 (13 de abril), mientras que, en la L3 se aplicó sólo un riego de auxilio el 4 de mayo.

Cosecha: Se cosecharon todas las plantas establecidas en la parcela experimental útil y seis mazorcas fueron etiquetadas individualmente para registrar las variables relacionadas con sus dimensiones esta actividad se hizo los día se realizó el 4 de

enero de 2014 en la L1, el 29 de diciembre de 2013 en la L2 y el 22 de diciembre de 2013 en la L3.

Prueba de ajuste: En los tratamientos de densidades de planta, cuando en la unidad experimental se registraron plantas faltantes, se procedió a realizar un ajuste para corregir en el número de plantas totales a la cosecha mediante la fórmula de Iowa (Reyes, 1990) que se describe a continuación:

$$\text{Peso al cosechar} = \frac{H - 0.3 M}{H - M}$$

Donde; H = Número de plantas totales

M = Número de plantas faltantes

3.6. Variables de estudio

Previó al registro de datos se etiquetó seis plantas al azar con competencia completa dentro de cada parcela útil, con la finalidad de registrar variables de planta y mazorca de acuerdo al manual propuesto por el CIMMYT (1995). Las variables registradas fueron las siguientes:

Días a floración masculina (DFM): Días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas derramaron polen.

Días a floración femenina (DFF): días contados desde la siembra hasta que el 50% de las plantas emitieron el 50 % de sus estigmas.

Altura de planta (AP): se midió la distancia en centímetros desde la base de la planta hasta el punto donde comienza a dividirse la espiga.

Altura de mazorca (AM): Esta se midió en cm, desde la superficie del suelo hasta la inserción de la mazorca principal.

Porcentaje de acame (PA): Se contaron todas las plantas del surco central que presentaron ruptura de tallos o inclinación con relación a la vertical mayor a 45 % y se expresó en porcentaje

Porcentaje de mazorcas enfermas (ME): El número de mazorcas enfermas cosechadas en el surco central. Transformado en porcentaje

Índice de prolificidad (IP): Cociente entre mazorcas cosechadas y plantas establecidas en la parcela experimental útil.

Longitud de mazorca (LM): se midió la mazorca en centímetros, desde la base a su punta de la mazorca.

Diámetro de mazorca (DM): Con el vernier se midió su parte media y se expresó en cm.

Número de hileras de mazorca (NHM): Se contó el número de hileras de cada mazorca y se obtuvo su promedio aritmético.

Peso de olote por mazorca (PO): Se registró en gramos en una báscula electrónica.

Peso volumétrico del grano (PVG): Se registró el peso de grano de un volumen de 1.0 litro y se expresó en Kg L^{-1} .

Peso de grano por planta (PGP): Este se registró en g en una báscula electrónica

Número de granos por planta (NGP): se contabilizó el número de granos por mazorca

Rendimiento de grano por hectárea (RG, tha^{-1}): Se registró en Kg el peso de grano de la parcela experimental útil y posteriormente se transformó a t ha^{-1} .

3.7. Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza individual y combinado y cuando los valores de F fueron significativos se aplicó la comparación de medias para ambos factores con la prueba de Tukey al nivel de significancia del 5 %: las salidas se obtuvieron con el Sistema para Análisis Estadístico (SAS, versión 6.01 para Windows) los procedimientos algebraicos fueron descritos por Martínez (1988). Con los 10 cultivares y con las 15 y 13 variables se hizo un análisis de componentes principales. Antes de obtener el biplot los datos fueron estandarizados y sometidos a la descomposición de valores singulares en la forma como lo sugirió Sánchez (1995). La gráfica se elaboró en Microsoft Excel ver.1997-2003 con las puntuaciones de los dos primeros componentes principales proporcionados por SAS (González *et al.*, 2010).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRIMER ARTÍCULO

4.1. Densidad de plantas en cultivares de maíz en dos localidades del centro del estado de México.

Jorge Quiroz Mercado, Delfina de Jesús Pérez López, Andrés González Huerta, Omar Franco Mora, Martín Rubí Arriaga y Francisco Gutiérrez Rodríguez

Artículo aceptado en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
(Carta de aceptación en capítulo VII. Anexos)

**DENSIDAD DE PLANTAS EN CULTIVARES DE MAÍZ EN DOS LOCALIDADES
DEL CENTRO DEL ESTADO DE MÉXICO**

**POBLATION OF DENSITIED IN THE MAIZE CULTIVARS AN TWO LOCATIONS
THE CENTER THE STATE OF MEXICO**

Jorge Quiroz Mercado¹, Delfina de Jesús Pérez López²§, Andrés González Huerta², Omar Franco Mora², Martín Rubí Arriaga² y Francisco Gutiérrez Rodríguez²

¹ Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). El Cerrillo Piedras Blancas, Estado de México. ² Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas (UAEMéx). Apartado Postal 435. Tel. y Fax. 01(722)2965518. Ext. 148. (denomox@yahoo.com.mx); (agonzalezh@uaemex.mx), (ofrancom@uaemex.mx), (mrubia@uaemex.mx), (fgutierrezr@uaemex.mx), §Autor para correspondencia: djperezl@uaemex.mx

Resumen

El presente trabajo se estableció en 2013 en El Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca y en la estación experimental Tiacaque, situado en el municipio de Jocotitlán. El objetivo principal fue evaluar la respuesta en el rendimiento de grano y en sus componentes del rendimiento en diez cultivares de maíz sembrados en tres densidades de población. Ambos ensayos se establecieron en campo en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por sitio en un

arreglo de parcelas divididas: en la parcela grande se asignaron las densidades de población y en la parcela chica los cultivares. Las 15 variables fueron registradas de acuerdo a los procedimientos descritos por CIMMYT (1995) y González *et al.* (2008). Los resultados mostraron significancia estadística ($p = 0.01$) entre cultivares en todas las características evaluadas. En porcentaje de mazorcas enfermas (PM), longitud de mazorca (LM), peso de grano por planta (PGP), y rendimiento de grano (RG) se detectaron diferencias altamente significativas ($p = 0.01$) entre densidades de población: en 104,167 plantas ha^{-1} se registró el mayor rendimiento de grano; cv. IC 2010 fue el mejor (10.23 t ha^{-1}). Los componentes principales explicaron el 66.90% de la variación total original; en el biplot se observó una alta correlación entre rendimiento de grano, granos por planta (NGP), índice de prolificidad (IP), número de hileras (NH) y peso de olote (PO).

Palabras clave: *Zea mays* L., Valle Toluca-Atlixco, densidad de población, análisis de componentes principales.

Abstract

This work was established in 2013 in El Cerrillo Piedras Blancas, municipality of Toluca and in the Tiacaque Experimental station, located in the municipality of Jocotitlán. The main objective was to evaluate the response in grain yield and grain yield components in ten maize cultivars sowed in three population densities. Both grain yield trials were established in field condition in a randomized complete block design with three replications per site in a split plot arrangement: in the main plot population densities were assigned and in the sub-plot cultivars were allocated. The

all fifteen variables were recorded according to procedures described by CIMMYT (1995) and González et al. (2008). The results showed statistical significance ($p = 0.01$) among cultivars in all evaluated traits. The percentage of diseased ears (PM), ear length (LM), grain weight per plant (PGP), and grain yield (RG) showed highly significant differences ($p = 0.01$) among population densities: to 104,167 plants ha^{-1} was observed the highest grain yield; cv. IC 2010 it was the best (10.23 t ha^{-1}). The principal component analysis explained 66.90% of the original total variation; grain per plant (NGP), prolificacy index (PI), number of rows (NH) and cob weight (PO) had a high positive correlation with grain yield in the biplot.

Key words: *Zea mays* L., Toluca-Atzacomulco Valley, population density, principal component analysis.

Introducción

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres cereales más importantes (Russell, 1991) y su demanda está aumentando a un ritmo más rápido al mismo tiempo que la población se incrementa más allá de 7 mil millones (Tilman *et al.*, 2011). Por lo anterior, el aumento en su rendimiento potencial es un objetivo importante para el futuro mediano (Jaggard *et al.*, 2010). En maíz el incremento del rendimiento de grano se ha atribuido al mejoramiento genético y a la aplicación de prácticas de producción más eficientes (Duvick, 2005a, 2005b; Lee y Tollenaar, 2007). La densidad de plantas representa el factor de manejo agronómico en maíz que ha cambiado considerablemente durante las últimas seis décadas, y el aumento en la productividad se ha atribuido, en parte, a la mayor capacidad de los nuevos

híbridos de tolerar más plantas por ha (Fasoula y Tollenaar, 2005; Tollenaar y Lee, 2011), pero las ganancias en rendimiento asociados con mayores densidades dependen de la predisposición genética de los híbridos 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; Rodríguez *et al.*, 2015). Algunos híbridos producen más cuando la densidad de plantas se incrementa, pero otros no responden similarmente (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 se 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 m^{-2} 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, causa problemas para definir la densidad óptima (Duvick, 2005a; Tokatlidis *et al.*, 2011). Por lo tanto, los niveles de producciones potenciales o alcanzables pueden diferir entre 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 eficiente de este cultivo es deficiente en gran parte de esta región. Por ello, identificar nuevas alternativas como determinar el efecto de diferentes densidades de plantas es de suma importancia para incrementar los rendimientos de grano. En el contexto anterior el objetivo principal de este estudio fue evaluar los efectos de la cantidad de plantas ha^{-1} en el rendimiento de grano y otros componentes del rendimiento de diez cultivares sembrados en dos localidades del Valle Toluca- Atlacomulco, México.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

Este trabajo se hizo en El Cerrillo Piedras Blancas, municipio de Toluca (L1) y en el campo Experimental Tiacaque situado en el municipio de Jocotitlán (L2), en el ciclo primavera-verano de 2013; ambas localidades están ubicadas en el Valle de Toluca-Altacomulco, México (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de las dos localidades.

Características	L1	L2
Latitud norte	19° 24' 40''	19° 42' 16''
Longitud oeste	99° 41' 58''	99° 42' 11''
Altitud	2611	2 569
Temperatura media (°C)	13.02	13.34
Precipitación (mm)	763	912.4
Clima	Templado semiseco	Templado húmedo
pH	6.29	6.18
Materia orgánica (%)	1.88 (medio)	2.74 (medio-Alto)
Textura	Franco arcilloso	Arcilloso

Fuente: CONAGUA (2013).

Material genético

Se evaluaron 10 cultivares de maíz recomendables para siembra comercial en los Valles Altos del Estado de México (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cultivares de maíces evaluados en este estudio.

Código	Cultivares	Origen o Pedigree
1	H-40 (testigo)	Híbrido triple (CML246 x CML 242) x 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 X CML242) X (L10 X L52)
7	HIT-9	(CML244 X CML 349) X (IML8)
8	ICAMEX 2010	Híbrido triple (CML457 X CML459) X (IML6)
9	Amarillo Lomas	Criollo de Taborda
10	Criollo de Tlacotepec	Criollo Tlacotepec

Densidad de siembra

Se evaluaron las densidades de población de 104 167 (D1), 78 125 (D2) y 62 500 plantas ha⁻¹ (D3); correspondientes a un distanciamiento entre plantas de 12, 16 y 20 cm, respectivamente.

Diseño experimental y tamaño de la parcela

Ambos ensayos se establecieron en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por sitio en arreglo de parcelas divididas: las tres densidades de población (D) fueron asignadas a grandes y los diez maíces (C) fueron asignados a la parcela chicas. Cada una de las parcelas chicas constó de tres surcos de 6 m de longitud, separado a 0.80 m, (área de 14.4 m²).

Descripción del trabajo experimental

La preparación mecánica del suelo consistió en barbecho y dos pasos de rastra. La siembra manual se realizó el 16 y 30 de abril de 2013 en el Cerrillo Piedras Blancas (L1) y Tiacaque (L2), respectivamente. En L1 se aplicó un riego 10 días antes de la siembra y otro de auxilio el 13 de abril; en L2 se hizo el 4 de mayo. En ambas localidades se incorporaron 140N-90P-50K; el fósforo y el potasio al sembrar, y el nitrógeno se hizo en forma fraccionada: 50 % con la siembra y el resto con la segunda escarda. Las fuentes de fertilizantes fueron 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) en dosis de 1.6 kg ha^{-1} y Hierbamina (2, 4-D: Sal dimetilamina del ácido 2,4-diclorofenoxiacético) en dosis de 1.5 L ha^{-1} ; en L1 se aplicó el 22 de mayo y 12 de junio, y en L2 el 02 junio. La cosecha se realizó en enero de 2014 en L1 y en 22 de diciembre de 2013 en L2.

Variables de estudio

Con una muestra de seis plantas elegidas con competencia completa en el surco central de la parcela útil se registró alturas de mazorca y de planta (AM y AP, en cm, desde el suelo hasta la inserción de la mazorca principal o a la lígula de la hoja bandera), longitud de mazorca (LM, en cm de la base a su punta), diámetro de mazorca (DM, en cm, de su parte media), número de hileras en la mazorca (NH), pesos de olote y de grano por planta (PO y PGP, en g), granos por planta (NGP), peso volumétrico del grano (PVG, kgL^{-1}), pudrición de mazorca (PM, en porcentaje), índice de prolificidad (IP, cociente entre mazorcas cosechadas y plantas establecidas

en parcela), y rendimiento de grano (RG, t ha⁻¹). Floraciones masculina (FM, %), y femenina (FF, %) y plantas acamadas (PA, %) se determinaron con todas las plantas o mazorcas de la parcela útil. Las metodologías usadas para el registro de datos fueron descritos por CIMMYT (1995) y por González *et al.* (2008).

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza individual y combinado y cuando los valores de F fueron significativos se aplicó la comparación de medias para ambos factores con la prueba de Tukey al nivel de significancia del 5 %: las salidas se obtuvieron con el Sistema para Análisis Estadístico (SAS, versión 6.01 para Windows) los procedimientos algebraicos fueron descritos por Martínez (1988). Con los 10 cultivares y con las 15 variables se hizo un análisis de componentes principales. Antes de obtener el biplot los datos fueron estandarizados y sometidos a la descomposición de valores singulares en la forma como lo sugirió Sánchez (1995). La gráfica se elaboró en Microsoft Excel ver.1997-2003 con las puntuaciones de los dos primeros componentes principales proporcionados por SAS (González *et al.*, 2010).

Resultados y discusión

Análisis de varianza

Se detectaron diferencia altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre cultivares en las 15 características evaluadas. Para localidades (L) floración masculina (FM), floración femenina (FF), altura de planta (AP), porcentaje de plantas acamadas (PA), pudrición de mazorca (PM), longitud de mazorca (LM), peso de grano por planta

(PGP) y número de granos por planta (NGP), mostraron diferencias significativas al 0.01 de probabilidad de error, e índice de prolificidad (IP) al 0.05 % (Cuadro 3). Para el factor densidad de plantas (D) PM, 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 Tollenar, 2005; Van Roekel y Coulter, 2012; y Antonietta *et al.*, 2014. En las interacciones L x D solo AP y AM mostraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). En la interacción L x C hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en 13 variables de estudio excepto en PO y RG. Las interacciones D x C y L x D x C no mostraron diferencias significativas en las 15 variables de estudio (Cuadro 3). En la región de los Valles Altos de la Región Centro de México, el efecto de interacción genotipo ambiente (IGA) enmascara el verdadero potencial del material genético (Torres *et al.*, 2011; González *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Cuadros medios y significancia estadística de los valores de F para el análisis de varianza combinado.

F.V.	GL	FM	FF	AP	AM	PA	PM	IP
Localidades (L)	1	16936.2**	16397.3**	0.35**	0.06ns	2212.00*	1125.00**	1.68*
Repeticiones (L)	4	134.31**	164.19**	0.28**	0.11**	209.76ns	35.33ns	0.22ns
Densidades (D)	2	22.77ns	37.49ns	0.08ns	0.09ns	0.94ns	275.32**	0.01ns
L x D	2	40.85ns	59.49*	0.10**	0.10**	11.77ns	108.05*	0.35ns
D x R(L)	8	22.03ns	17.71ns	0.03*	0.03**	395.73ns	25.77ns	0.23ns
Cultivares (C)	9	415.24**	437.51**	0.63**	0.78**	983.50**	458.69**	0.68**
D x C	18	18.09ns	16.72ns	0.02ns	0.01ns	148.95ns	21.98ns	0.13ns
L x C	9	133.53**	115.40**	0.12**	0.12**	1245.28**	114.79**	0.40*
L x D x C	18	18.79ns	15.26ns	0.01ns	0.01ns	118.30ns	24.19ns	0.09ns
Error combinado	108	15.10	14.26	0.01	0.01	204.46	25.40	0.16
Media		98.82	101.22	2.23	1.24	10.61	6.20	0.99
C.V.%		3.9	3.7	5.3	7.1	134.8	5.4	40.0

ns = no significativo.*; ** = significativo al 0.05 y 0.01, respectivamente. Floración masculina (FM), floración femenina (FF), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), porcentaje de plantas acamadas (PA), pudrición de mazorca (PM), índice de prolificidad (IP).

Cuadro 3. Cuadros medios y significancia estadística de los valores de F para el análisis de varianza combinado (Continuación).

F.V.	GI	LM	DM	NH	PO	PVG	PGP	NGP	RG
Localidades (L)	1	28.56**	0.04ns	1.10ns	11.6ns	1242.4ns	4798.8 **	138722.00**	12.4ns
Repeticiones (L)	4	2.55**	0.02ns	0.22ns	6.24ns	229.81ns	451.16*	3119.62ns	13.01*
Densidades (D)	2	4.21**	0.05ns	1.69ns	40.60*	2699.14*	1336.73**	4202.64ns	139.38**
L x D	2	0.05ns	0.07*	0.28ns	7.37ns	34.00ns	448.65ns	4733.67ns	2.88ns
D x R (L)	8	0.39ns	0.02ns	0.61ns	6.50ns	493.41ns	96.20ns	1043.23ns	5.90ns
Cultivares (C)	9	9.22**	0.65**	15.99**	167.94**	8322.55**	2983.28**	20410.8**	25.0**
D x C	18	0.61ns	0.01ns	0.76ns	3.45ns	499.23ns	248.95ns	1821.91ns	4.83ns
L x C	9	2.34**	0.05**	1.01*	5.77ns	814.59**	648.63**	6892.90**	4.92ns
L x D x C	18	0.58ns	0.02ns	0.58ns	3.55ns	463.40ns	191.72ns	2394.49ns	3.82ns
Error	108	0.55	0.02	0.50	4.38	284.24	4798.80	1732.21	3.94
Media		13.82	4.46	14.02	17.50	777.88	127.59	394.74	8.65
C.V.%		5.3	3.0	5.0	11.9	2.17	9.7	10.5	22.9

ns = no significativo.*; ** = significativo al 0.05 y 0.01, respectivamente. Longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras (NH), peso de olote (PO), peso volumétrico del grano (PVG), peso de granos por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG).

Comparación de medias entre localidades

Las localidades de El Cerrillo Piedras Blancas ((L1) y Tiacaque (L2) consideradas en el presente estudio, difirieron principalmente en altitud, precipitación, clima, materia orgánica y textura de suelo (Cuadro 1), hecho que explica las diferencias significativas que se pueden apreciar en el Cuadro 4.

El Cerrillo Piedras Blancas se a largo el ciclo vegetativo expresado en el mayor número de días FM (109) y FF (111) y mayor IP (1.09) y menor porcentaje de PA (7.1%) con relación a la localidad 2 que fue estadísticamente diferente. Las condiciones ambientales que predominaron en Tiacaque (L2) favorecieron una mayor expresión fenotípica en altura de planta (AP, 2.27 m), y características de la mazorca como menor pudrición de mazorca (PM, 3.7 %), mayor longitud de mazorca (LM, 14.22cm), peso de granos por planta (PGP, 132.76 g) y número de granos por planta NGP (423), sin embargo estas características no contribuyeron a expresarse un

mayor rendimiento ya que ambas localidades presentaron una media promedio no significativa de 8.91 y 8.38 t ha⁻¹ (Cuadro 4). Este comportamiento puede deberse a que el IP fue mayor en L1 que en la localidad L2. Las variables AM, DM, NH, PO y PVG fueron iguales estadísticamente en ambas localidades. Estos resultados son similares con lo reportado por Mansfield y Mumm (2013), quienes reportaron ausencia de diferencias significativas entre ambientes para altura de mazorca, y contrasta con el rendimiento de grano donde si difirió entre ambientes (Antonietta *et al.*, 2014).

Cuadro 4. Comparación de medias entre localidades.

Localidad	FM	FF	AP (cm)	AM (cm)	PA (%)	PM (%)	IP
El Cerrillo (L1)	109 a	111 a	2.18 b	1.26 a	7.1 b	8.7 a	1.09 a
Tiacaque (L2)	89 b	92 b	2.27 a	1.23 a	14.1 a	3.7 b	0.89 b
DMSH (0.05)	2	1	0.09	0.05	6.8	1.7	0.16

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). Floración masculina (FM), floración femenina (FF), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), porcentaje de plantas acamadas (PA), pudrición de mazorca (PM), índice de prolificidad (IP).

Cuadro 4. Comparación de medias entre localidades (Continuación).

Localidad	LM (cm)	DM (cm)	NH	PO (g)	PVG (g)	PGP (g)	NGP (g)	RG (tha ⁻¹)
El Cerrillo	13.42 b	4.44 a	14 a	17.25 a	775.25 a	122.43 b	367 b	8.91 a
Tiacaque	14.22 a	4.47 a	14 a	17.76 a	780.51 a	132.76 a	423 a	8.38 a
DMSH(0.05)	0.22	0.05	0	0.88	7.64	3.37	11	0.84

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). Longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), hileras por mazorca (NH), peso de olote (PO), peso volumétrico del grano (PVG), peso de granos por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano por hectárea (RG).

Comparación de medias entre densidades de población

La densidad más baja de 62 500 p ha⁻¹ mostró el valor promedio mayor para longitud de mazorca (LM, 14 cm), peso de olote (PO, 18.2 g), peso volumétrico del grano

(PVG, 784.7g) y peso de granos por planta (PGP, 132.3 g) difiriendo estadísticamente de las densidades más altas D1y D2 (104 167 y 78 125 p ha⁻¹ respectivamente) estos resultados indican que a menor densidad de población las características de la mazorca y grano se vieron favorecidas por la poca competencia entre plantas (Cuadro 5). La disminución de peso de granos por planta a medida que incrementa la densidad de plantas 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 rendimiento de grano fue mayor en la densidad de 104 167 p ha⁻¹ con 10.37 t ha⁻¹ en comparación con las dos densidades más bajas (78 125 y 62 500 p ha⁻¹ con 8.09 y 7.47 t ha⁻¹, respectivamente). La causa de mayor peso de olote, peso volumétrico del grano y peso de granos por planta 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). La floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, porcentaje de plantas acamadas, índice de prolificidad, número de granos por planta, diámetro de mazorca y número de hileras por mazorcas no fueron afectados significativamente por la densidad de plantas (Cuadro 5), estos resultados contrastan con lo realizado por Sangoi *et al.* (2002) y Lashkari *et al.* (2011) quienes si encontraron respuesta entre densidades de población.

Cuadro 5. Comparación de medias entre densidades de planta.

Densidades (ha ⁻¹)	FM	FF	AP (cm)	AM (cm)	PA (%)	PM (%)	IP
D1=104 161	100 a	102 a	2.2 a	1.2 a	10.8 a	6.3 ab	1.0 a
D2=78 125	98 a	101 a	2.2 a	1.2 a	10.5 a	8.3 a	0.9 a
D3=62 500	98 a	101 a	2.1 a	1.2 a	10.5 a	4.0 b	1.0 a
DMSH (0.05)	2	2	0.09	0.08	10.4	2.6	0.25

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). Floración masculina (DFM), floración femenina (DFF), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), porcentaje de plantas acamadas (NPA), pudrición de mazorca (PM) e índice de prolificidad (IP).

Cuadro 5. Comparación de medias entre densidades de planta (Continuación).

Densidades (ha ⁻¹)	LM (cm)	DM (cm)	NH	PO (g)	PVG (g)	PGP (cm)	NGP	RG (t ha ⁻¹)
D1=104 161	13.5 b	4.4 a	1.4 a	16.6 b	771.2 b	122.8 b	385 a	10.3 a
D2= 78 125	13.8 ab	4.4 a	1.4 a	17.6 ab	777.6 ab	127.6 ab	401 a	8.0 b
D3= 62 500	14.0 a	4.4 a	1.4 a	18.2 a	784.7 a	132.3 a	398 a	7.4 b
DMSH (0.05)	0.33	0.07	0.0	1.33	11.59	5.12	17	1.27

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$). Longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras (NH), peso de olote (PO), peso volumétrico del grano (PVG), peso de granos por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG)

Comparación de medias entre cultivares

El cultivar HIT-9 fue el más precoz para alcanzar floración masculina (FM, 88 días) y floración femenina (FF, 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 FM y FF para los híbridos fue de 2 días, mientras que para los criollos fue de 4 días (Cuadro 6). 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 FM y FF disminuyó en los híbridos más avanzados. Estos resultados coinciden con estudios recientes por Brekke *et al.* (2011b) quienes concluyeron que un intervalo corto entre FM y FF es un factor favorable en la tolerancia a mayores densidades de planta. Los

cultivares que alcanzaron mayor altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM) 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 y AM fue AS-723 (1.94 y 0.99 m, respectivamente). También los criollos (A. Lomas y Tlacotepec) presentaron el mayor porcentaje de plantas acamadas (19.7 y 26.2 %, respectivamente) en comparación con los otros cultivares (Cuadro 6) el porcentaje de plantas acamadas se correlacionó positivamente con la altura de planta y altura de mazorca (Figura 1). El criollo de Tlacotepec, presentó el mayor porcentaje de pudrición de mazorca (18.7 %) este comportamiento se atribuye a un mayor porcentaje de plantas acamadas. Los criollos presentaron menor índice de prolificidad (A. Lomas 0.70 y Tlacotepec 0.68) en comparación con los demás cultivares (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias entre 10 cultivares de maíz

Cultivares	FM	FF	AP (cm)	AM (cm)	PA (%)	PM (%)	IP
H-40	102 ab	104 abc	2.10 d	1.17 c	4.6 bc	4.7 bcd	0.94 ab
AS-723	96 d	98 e	1.94 e	0.99 d	13.8 abc	3.1 cd	0.96 ab
AS-MJ9082	104 a	106 ab	2.24 bc	1.20 bc	6.4 bc	2.3 cd	1.16 a
P804 W	98 bcd	100 e	2.13 bcd	1.12 c	3.7 c	9.6 b	0.93 ab
P204 W	99 bcd	101 cde	2.12 cd	1.14 c	5.7 bc	6.1 bcd	1.05 ab
HID-15	101 abc	103 bcd	2.25 b	1.27 b	8.6 bc	3.5 cd	1.29 a
HIT-9	88 e	90 f	2.17 bcd	1.12 c	5.7 bc	6.8 bc	1.05 ab
ICAMEX 2010	105 a	107 a	2.24 bc	1.19 bc	11.26 ab	1.1 d	1.15 a
Amarillo Lomas	98 bcd	103 abcd	2.54 a	1.60 a	19.7 ab	6.1 bcd	0.70 b
Tlacotepec	98 cd	101 cde	2.54 a	1.62 a	26.2 a	18.7 a	0.68 b
DMSH (0.05)	4	4	0.13	0.09	15.4	5.4	0.43

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). Floración masculina (FM), floración femenina (FF), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), porcentaje de plantas acamadas (PA), pudrición de mazorca (PM) e índice de prolificidad (IP).

Cuadro 6. Comparación de medias entre 10 cultivares de maíz (Continuación).

Cultivares	LM (cm)	DM (cm)	NH	PO (g)	PVG (g)	PGP (g)	NGP	RG (t ha ⁻¹)
H-40	13.79 bc	4.72 a	16 a	18.74 bc	775.42 cd	140.76 a	431 a	9.09 ab
AS-723	12.67 d	4.48 bc	14 b	17.19 cd	796.01 ab	116.86 cd	401 ab	8.35 ab
AS-MJ9082	14.48 ab	4.16 e	14 bc	16.33 de	778.05 bcd	109.20 d	393 ab	9.33 ab
P804 W	13.38 cd	4.29 de	12 d	18.99 bc	790.65 abc	119.25 cd	343 c	7.97 bc
P204 W	13.57 c	4.43 cd	14 c	20.58 ab	802.39 a	126.43 bc	397 ab	9.73 ab
HID-15	14.50 ab	4.63 ab	15 b	22.32 a	772.53 cd	139.72 ab	438 a	9.09 ab
HIT-9	13.08 cd	4.41 cd	15 b	15.00 de	782.27 bcd	119.95 cd	420 ab	8.53 ab
2010	14.59 ab	4.29 de	14 bc	19.18 bc	789.62 abc	118.22 cd	378 bc	10.23 a
A. lomas	14.73 a	4.41 cd	14 bc	14.41 ef	766.38 d	138.36 ab	410 ab	8.17 ab
C. Tlacotepec	13.41 cd	4.74 a	13 d	12.27 f	725.49 e	147.26 a	339 c	5.97 c
DMSH(0.05)	0.80	0.15	1	2.25	18.16	13.42	45	2.14

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$). Longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras (NH), peso de olote (PO), peso volumétrico del grano (PVG), peso de granos por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG).

Entre cultivares se muestra que para longitud de mazorca, Amarillo Lomas, presentó el valor promedio mayor (14.73) seguido de ICAMEX 2010, HID-15 y AS-MJ9082 mientras que para diámetro de mazorca, Tlacotepec y H-40 presentaron los mayores valores con 4.74 y 4.72 cm respectivamente, y difirieron estadísticamente de los demás cultivares (Cuadro 6). En cuanto a número de hileras, H-40 tuvo el mayor valor (16), y P804 W y Tlacotepec tuvieron los valores menores (12 y 13, respectivamente). Para peso de olote y peso volumétrico del grano, los cultivares mejorados tuvieron mayores valores en comparación con los criollos, donde HID-15 tuvo mayor peso de olote (22.32 g) y P204 W tuvo mayor peso volumétrico del grano (802.39 g). El Criollo de Tlacotepec (147.7 g), H-40 (140.7g), HID-15 (139.72 g) y Amarillo Lomas (138.36 g) fueron los que presentaron mayor peso de granos por planta. El número de granos por planta fue mayor para los cultivares H-40 (430.89) y HID-15 (437.56), quienes difirieron con P804 W (342.61), ICAMEX 2010 (377.50) y Tlacotepec (338.61). El rendimiento de grano 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 6). 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).

Análisis de componentes principales

Los componentes principales (CP) 1 y 2 explicaron el 66.90 % de la variación original (Figura 1) por lo que estos porcentajes son deseables para interpretar confiablemente las correlaciones aproximadas que se observan en el biplot como lo sugieren Sánchez (1995) y Pérez *et al.* (2014). En el Cuadrante 1 se observa una alta correlación entre rendimiento de grano y el número de granos por planta (NGP), índice de prolificidad (IP), número de hileras (NH) y peso de olote (PO) como se ha reportado en otros trabajos (Sangoi *et al.*, 2002; Maddonni *et al.*, 2006; Van Roekel y Coulter, 2011; Antonieta *et al.*, 2014). Por otra parte, longitud de mazorca tuvo una correlación con floración masculina y femenina (Figura 1).

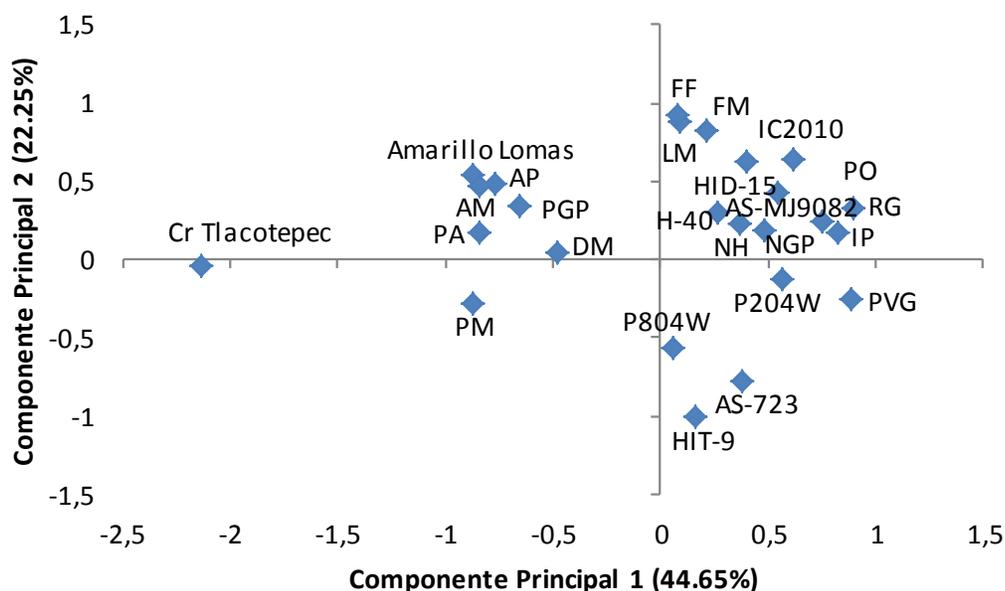


Figura 1. Biplot entre diez cultivares de maíz (en mayúsculas) y 15 variables agronómicas en minúsculas

Conclusiones

La densidad de 104,167 p ha⁻¹ fue la que mostró mayores rendimientos en los cultivares. El número de granos fue el componente del rendimiento más sensible a la densidad. Entre cultivares hubo diferencias en el número de granos, y donde el cultivar ICAMEX 2010 alcanzó los mayores rendimientos (10.23 t ha⁻¹). En cuanto a las localidades no hubo diferencias en los rendimientos. El análisis de componentes principales explicó el 66.90% de la variación total original; en éste se observó una alta correlación entre rendimiento de grano, granos por planta (NGP), índice de prolificidad (IP), número de hileras (NH) y peso de olote (PO). 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 población a mayores niveles para caracterizar a los cultivares.

Bibliografía

- Andrade, F. H., A. G. Cirilo, S. Uhart and M. E. Otegui. 1996.** Ecofisiología del cultivo de maíz. Dekalpress, Bunerous 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. 2011b.** 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 reimpression. México, D. F. 21 p.
- Duvick, D. N. 2005a.** Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). *Maydica*, 50: 193–202.

- Duvick, D.N. 2005b.** The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advance Agronomy*, 86: 83–145.
- 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 Tollenaar, M. 2005.** The impact of plant population density on crop yield and response to selection in maize, *Maydica*, 50: 39–48.
- 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-Atacomulco, México. *Revista Agronomía Costarricense*, 34(2): 129-143.
- 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.
- Haeghele 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.
- Maddoni, 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.
- Maddoni, 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: 245-298.
- Sánchez, G.J.J. 1995.** El análisis biplot en clasificación. Revista Fitotecnia Mexicana, 18(2): 188-203.
- 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.
- United States Census Bureau. 2012.** World POPClock project. United States Census Bureau, Washington, DC. <http://www.census.gov/population/popclockworld.html> (accessed 1 June 2012).
- 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. 2011.** Agronomic Responses of Corn to Planting Date and Plant Density. *Agronomy Journal*, 103: 1414–1422
- 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.

SEGUNDO ARTÍCULO

4.2. Respuesta de diez cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexiquense

Jorge Quiroz Mercado, Delfina de Jesús Pérez López, Andrés González Huerta, Martín Rubí Arriaga, Francisco Gutiérrez Rodríguez, José Ramón Pascual Franco Martínez y José Francisco Ramírez Dávila

Artículo enviado a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
(Carta de envío en capítulo VII. Anexos)

**RESPUESTA DE DIEZ CULTIVARES DE MAÍZ A LA DENSIDAD DE POBLACIÓN
EN TRES LOCALIDADES DEL CENTRO MEXIQUENSE**

**RESPONSE OF TEN MAIZE CULTIVARS TO POPULATION DENSITY IN THREE
LOCATIONS OF CENTRAL OF STATE OF MÉXICO**

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

¹ Programa de Maestría y Doctorado 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). Apartado Postal 435 (A.P.). Tel. y/o Fax: 01 (722) 29 65574. ² Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx. CPB-TEM. A.P. Tel. y/o Fax: 01(722)29 655 18. Ext. 148. (denomox@yahoo.com; agonzalezh@uaemex.mx; mrubia@uaemex.mx; fgutierrezr@uaemex.mx; jframirezd@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 (10.0 t ha^{-1}), pero éste no difirió estadísticamente de IC 2010, AS-MJ9082, H-40 y AS-723. El análisis de componentes principales explicó el 65.94 % 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., cultivares, densidad de plantas, localidades, análisis multivariado.

Abstract

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 locations in central of State of Mexico, Mexico. The main objective was to evaluate the grain yield and its grain yield components in ten maize cultivars sowed in three population densities. The three trials were established in the field conditions in a randomized complete block design with three replicates per site in a split plot arrangement; in main plots were

distributed three population densities and in sub plots were allocated ten maize cultivars. There were significant differences ($p = 0.01$) between cultivars in all 13 variables and between population density there were in ear length, ear diameter, cob weight, grain weight per plant, and grain yield, too. An increase in population density reduced number and grain weight per plant but in 104 167 plants ha^{-1} grain yield had 10.03 t ha^{-1} . P204W was the highest grain yield (10.0 t ha^{-1}), but there was statistically equal to IC2010, AS-MJ9082, H-40 and AS-723. The principal component analysis explained 65.94% of the original total variation; a high correlation was observed between grain yield, grains per plant, prolificacy index, and cob weight.

Key words: *Zea mays L.*, cultivars, plant density, localities, multivariate analysis.

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 el 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 (Tollenar 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, 2001; Sangoi *et al.*, 2002; Tollenaar y Lee, 2011). Por lo anterior, es deseable identificar materiales con características agronómicas sobresalientes en los 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).

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-Atlacomulco, en el estado de México. Sólo se conoce el origen genético de cuatro de los ocho híbridos y de ambos criollos (Cuadro 2).

Cuadro 1. Descripción de las tres localidades.

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	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).

Cuadro 2. Material genético evaluado en este estudio.

Núm.	Cultivar	Origen / progenitores
1	H-40	(CML246 x CML 242) x 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 x CML242) x (L10 x L52)
7	HIT-9	(CML244 x CML 349) x (IML8)
8	IC 2010	(CML457 x CML459) x (IML6)
9	Amarillo Lomas	Criollo de Taborda
10	Tlacotepec	Criollo de Tlacotepec

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 0.80 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 4 de mayo. En las tres localidades se utilizaron 140N-90P-50K. El fósforo y el potasio se 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 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) y en 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 cultivos 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 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; Cuadro 3). En otros estudios se ha documentado que el Valle Toluca-Atzacomulco, 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/o transferencia de tecnología en campos de productores. En este sentido es deseable explorar a través de años y/o 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 x 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; Manfield y Mumm, 2013; Antonieta *et al.* 2014; Van Roekel y Coulter, 2012), 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 50000 a 75000 plantas ha⁻¹. En el contexto anterior, la D causó variabilidad fenotípica significativa en LM, diámetro de mazorca (DM), peso de olote (PO), 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 30000 y 90000 plantas por ha (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 aquí 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 x 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 x ambiente y a los estudios de estabilidad fenotípica. Rodríguez *et al.* (2005), Reynoso *et al.* (2014), González *et al.* (2010), Franco *et al.* (2015) y 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 x cultivares significativa es deseable darle mayor importancia a los maíces con mejor adaptación a un ambiente específico con el propósito de incrementar la productividad (Rodríguez *et al.*, 2015; González *et al.*, 2010). Tollenaar y Lee (2011) comentaron que el incremento en la productividad de maíz en los Estados Unidos de Norteamérica, de 1.5 a 9.5 t ha⁻¹ desde 1930 hasta 2008, se atribuye 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 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/o 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.

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F.

F.V.	GL	DFM	DFF	AP	AM	IP
L	2	8738.10**	8472.69**	0.68**	0.26**	0.85*
R(L)	6	106.21**	140.86**	0.19**	0.09**	0.19ns
D	2	8.23ns	17.40ns	0.03ns	0.06ns	0.08ns
L x D	4	29.90*	41.53**	0.07**	0.06**	0.23ns
D x R(L)	12	21.61	14.57	0.03	0.02	0.19
C	9	468.30**	536.62**	0.71**	1.07**	1.10**
D x C	18	13.55ns	12.28ns	0.02ns	0.01ns	0.12ns
L x C	18	89.04**	79.56**	0.09**	0.07**	0.34**
LxDxC	36	14.24ns	13.24ns	0.01ns	0.01ns	0.08ns
Error	162	11.63	11.85	0.01	0.01	0.12
Media		99.82	102.23	2.27	1.27	0.99
C.V.%		3.42	3.37	5.31	7.40	35.11

ns = no significativo.* y ** = significativo al 0.05 y 0.01, respectivamente. Localidad (L), repeticiones dentro de L (R), densidad de población (D), cultivares (C), fuente de variación (F.V.), grados de libertad (GL), coeficiente de variación (C.V). Floración masculina (DFM), floración femenina (DFF), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM,) e índice de prolificidad (IP).

Continuación del Cuadro 3

F.V.	GL	LM	DM	NHM	PO	PVG	PGP	NGP	RG
L	2	19.78**	0.03ns	9.07**	11.78ns	1228.86ns	2408.29**	87953.14**	17.87ns
R(L)	6	2.07*	0.04ns	0.87ns	11.19ns	202.75ns	319.27ns	2998.46ns	10.24*
D	2	8.71**	0.27**	1.52ns	93.81**	2661.04*	4556.10**	10253.16*	184.38**
L x D	4	0.22ns	0.09**	0.40ns	7.98ns	331.91ns	807.19**	2846.84ns	3.25ns
D x R(L)	12	0.66	0.02	0.60	6.63	597.10	166.03	1586.38	7.22
C	9	12.87**	0.90**	19.99**	242.13**	11819.13**	3977.92**	31060.30**	50.45**
D x C	18	1.02ns	0.03ns	0.69ns	5.02ns	376.74ns	557.82*	4683.64*	4.60ns
L x C	18	1.42*	0.05**	1.15*	4.40ns	1566.83**	563.68**	6905.78**	10.07**
L x D x C	36	0.65ns	0.03ns	0.76ns	3.45ns	556.13*	390.14**	3484.63ns	3.85ns
Error	162	0.81	0.02	0.61	5.41	327.53	157.78	2581.74	4.42
Media		13.96	4.45	14.20	17.65	776.38	127.78	403.04	8.44
C.V.%		6.43	3.44	5.49	13.18	2.33	9.83	12.61	24.92

Longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hileras de la mazorca (NHM), peso de olote (PO), peso volumétrico del grano (PVG), peso de grano por planta (PGP), número de granos por planta (NGP), y rendimiento de grano (RG) .

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 quizás porque los problemas de humedad fueron compensados con riegos de auxilio. En el año 2013 se registraron 535, 827 y 455 mm de lluvia en L1, L2 y L3, respectivamente; el 50, 39 y 34 % ocurrió en pre-floración y el resto en post-floración. Las temperaturas promedio 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 estos 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 este cuadro 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-Atlacomulco, 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).

Cuadro 4. Comparación entre localidades para floraciones masculina (DFM) y femenina (DFF), alturas de planta (AP) y mazorca (AM), índice de prolificidad (IP), longitud (LM), diámetro (DM) y número de hileras por mazorca (NHM), pesos de olote (PO), volumétrico del grano (PVG) y de grano por planta (PGP), granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG).

Localidades	DFM	DFF	AP (cm)	AM (cm)	IP
El Cerrillo (L1)	109 a	111 a	2.18 c	1.26 b	1.09 a
Mina México (L2)	102 b	104 b	2.36 a	1.33 a	0.98 ab
Tiacaque (L3)	89 c	92 c	2.27 b	1.23 b	0.90 b
DMSH	2	2	0.07	0.06	0.17

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

Continuación del Cuadro 4.

Localidad	LM	DM	NHM	PO	PVG	PGP	NGP	RG
El Cerrillo	13.42 b	4.44 a	14 b	17.25 a	775.25 a	122.43 b	367 b	8.91 a
Mina México	14.25 a	4.45 a	15 a	17.95 a	773.38 a	128.14 a	420 a	8.02 a
Tiacaque	14.22 a	4.47 a	14 b	17.76 a	780.51 a	132.76 a	423 a	8.38 a
DMSH	0.32	0.06	0.00	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).

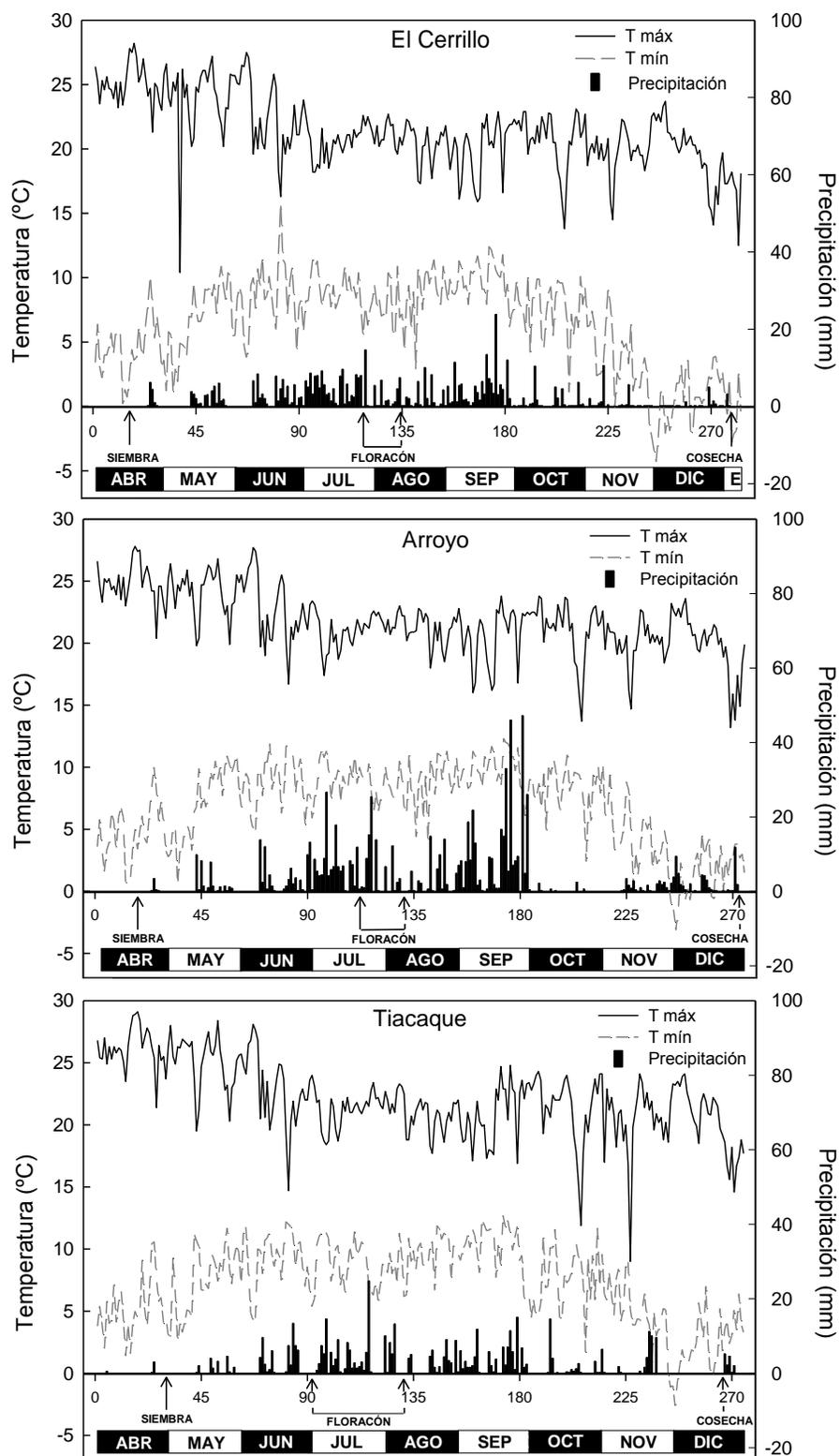


Figura 1. Precipitación y temperaturas máximas y mínimas diarias durante el ciclo de crecimiento del cultivo en El Cerrillo, Mina México y Tiacaque. Las flechas representan las fechas de siembra, floración y cosecha.

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 la mazorca, pero en el resto de las variables si la hubo. Los rendimientos de grano a 62500 (D1), 78125 (D2), 104161 (D3) plantas ha⁻¹ fueron de 7.25, 8.03 y 10.03 t ha⁻¹; las dos primeras (diferencia de 15625) difirieron significativamente de la tercera. Oyervides *et al.* (1990) y Cervantes *et al.* (2015) observaron que la densidad de plantas modifica la expresión fenotípica de la floración y de la altura de planta en líneas de maíz. Lashkari *et al.* (2011) y 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 estadísticas 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 población (Cervantes *et al.* 2015; Van Roekel y Coulter, 2011; Antonietta *et al.*, 2014). Lo anterior se explica por el hecho de que a lo largo del tiempo, el mejoramiento genético en maíz ha logrado incrementar el rendimiento de grano por superficie a densidades altas sin cambios o, incluso reducciones, en el NGP (Duvick, 1997). Los híbridos liberados recientemente son altamente dependientes de la densidad de población y responden en forma parabólica cuando ésta 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 hasta un máximo en el cual probablemente 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 volumétrico 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 una mayor producción de grano (Cuadro 5). La diferencia entre D1 y D3 (2.78 t ha⁻¹) se explica principalmente por el mayor número de plantas (41661). Este valor compensó la disminución que hubo en los componentes primarios del rendimiento causada por la mayor competencia por luz, agua, espacio y nutrientes que se manifestó a 104161 plantas por ha. El uso de altas densidades de plantas causa una disminución en el rendimiento de grano por planta y en las dimensiones de la mazorca debido a que estimula la dominancia apical, induce esterilidad femenina y disminuye el número de granos por mazorca y de mazorcas por ha (Sangoi *et al.*, 2002).

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 52083 a 104167 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 (Tollenaar y Lee, 2011; Sangoi, 2002). 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.

Cuadro 5. Comparación entre densidades de población para floraciones masculina (DFM), y femenina (DFF), alturas de planta (AP) y mazorca (AM), índice de prolificidad (IP), longitud (LM), diámetro (DM), número de hileras (NHM) y peso de olote por mazorca (PO), pesos volumétrico del grano (PVG) y de grano por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG)

Plantas ha ⁻¹	DFM	DFF	AP	AM	IP
104 161	100 a	103 a	2.28 a	1.29 a	0.98 a
78 125	100 a	102 a	2.29 a	1.28 a	0.96 a
62 500	100 a	102 a	2.25 a	1.24 a	1.02 a
DMSH	2	2	0.07	0.06	0.17

Continuación del Cuadro 5.

Plantas ha ⁻¹	LM	DM	NHM	PO	PVG	PGP	NGP	RG
104 161	13.65 b	4.40 b	14 a	16.59b	770.43b	120.12c	391b	10.03a
78 125	13.96 ab	4.46 a	14 a	17.73a	777.62ab	129.03b	411a	8.03b
62 500	14.28 a	4.51 a	14 a	18.63a	781.09 a	134.18 ^a	408a	7.25b
DMSH	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).

Cultivares de maíz

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 4 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 de que los híbridos presentarán tolerancia a varios tipos de estrés (Ahaus *et al.*, 2011).

Tollenaar (1992) registraron un incremento en la prolificidad de los híbridos por efecto del mejoramiento genético, a partir de un aumento en la tasa de acumulación de materia seca por planta en etapa de floración y de una 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 diez cultivares se agruparon en dos niveles de productividad: P204W fue el más sobresaliente (10 t ha⁻¹) pero éste y H-40, AS-723, AS-MJ9082, P804W, HID-15 y IC-2010 tuvieron rendimientos de grano estadísticamente similares (entre 8.40 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 también 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 de otras de la raza Cónico pertenecientes a instituciones de investigación de México, como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX).

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-Atlacomulco, 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 7.50 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2008) o de 7.77 a 9.25 t ha⁻¹ (Rodríguez *et al.*, 2015). Wellhausen *et al.* (1951) destacaron que en la región Toluca-Atlacomulco existen cultivares que pertenecen a Cacahuacintle, Cónico, Chalqueño y Palomero Toluqueño, pero que la segunda y la tercera son las que predominan en más del 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 inferiores al registrado en el presente estudio (9.19 t ha⁻¹). Velázquez *et al.* (2005) registraron rendimientos entre 3.60 y 11.10 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, México, Puebla, Querétaro y Tlaxcala (entre 2200 y 2500 msnm).

Cuadro 6. Promedios aritméticos para 10 cultivares de maíz.

Cultivares	DFM	DFF	AP	AM	IP
H-40	103 abc	105 bc	2.17 d	1.20 cd	0.95 ab
AS-723	96 e	98 f	2.01 e	1.04 e	1.01 a
AS-MJ9082	104 ab	106 ab	2.28 bc	1.22 c	1.22 a
P804 W	99 de	100 ef	2.15 d	1.13 d	1.06 a
P204 W	99 d	102 de	2.17 cd	1.15 cd	1.06 a
HID-15	101 bcd	103 cde	2.33 b	1.32 b	1.16 a
HIT-9	91 f	93 g	2.25 bcd	1.18 cd	1.02 a
IC-2010	106 a	108 a	2.30 b	1.23 c	1.13 a
Amarillo Lomas	100 d	104 bcd	2.53 a	1.63 a	0.66 bc
Tlacotepec	100 cd	103 cde	2.53 a	1.62 a	0.61 c
DMSH	3	3	0.11	0.08	0.95

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p = 0.05$). Floraciones masculina (DFM) y femenina (DFF), alturas de planta (AP) y de mazorca (AM) e índice de prolificidad (IP).

Continuación del Cuadro 6.

Cultivares	LM	DM	NHM	PO	PVG	PGP	NGP	RG
H-40	13.78b	4.66a	15 a	18.44c	775.38cd	134.62bcd	417abc	9.19ab
AS-723	12.92c	4.49b	15bc	17.29cd	795.17ab	117.13fg	417abc	8.69abc
AS-MJ9082	14.65a	4.14e	14bcd	16.36de	769.96de	107.40g	399c	9.25ab
P804 W	13.59bc	4.31cd	12f	19.24bc	797.04ab	120.71ef	351d	8.63abc
P204 W	13.69bc	4.48b	14de	21.03ab	805.51a	129.57cde	403bc	10.00a
HID-15	14.63a	4.64a	15ab	22.38 a	764.76de	140.66ab	446ab	8.40abc
HIT-9	13.35bc	4.39bcd	15ab	15.07e	775.70cd	124.03def	449a	7.97bc
IC 2010	14.80a	4.29d	14cd	19.30bc	787.17bc	120.12ef	391cd	9.66ab
Am. Lomas	14.79a	4.42bc	15bc	14.57ef	757.46e	135.92bc	410abc	7.32c
Tlacotepec	13.43bc	4.72a	13e	12.84f	735.65f	147.5a	348d	5.26d
DMSH	0.78	0.13	1	2.03	15.80	10.97	44	1.84

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p = 0.05$). Longitud (LM), diámetro (DM) y número de hileras de mazorca (NHM), peso de olote (PO), peso volumétrico del grano (PVG), peso de granos por planta (PGP), número de granos por planta (NGP) y rendimiento de grano (RG).

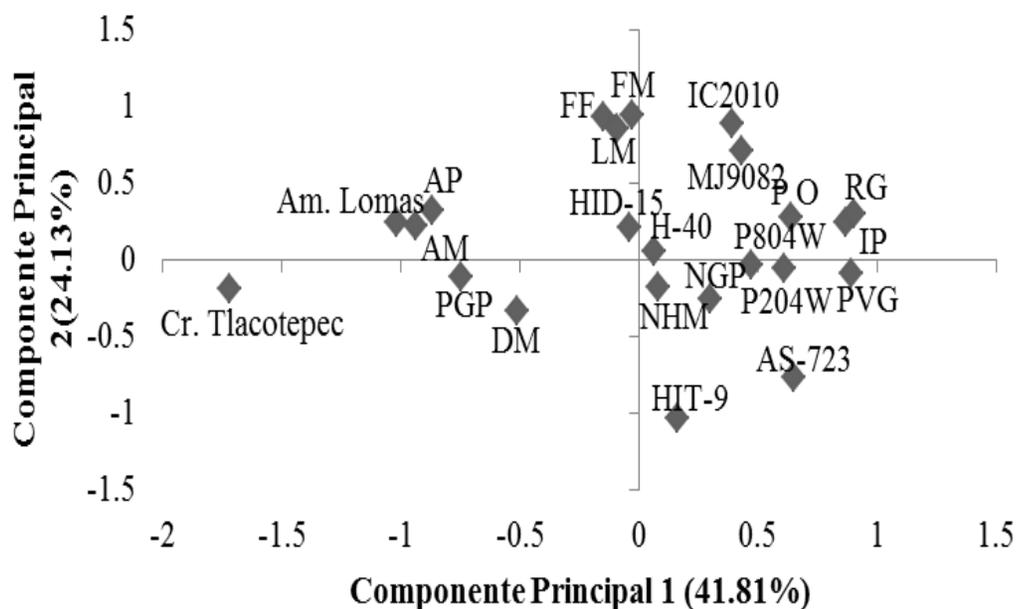


Figura 2. Interrelaciones entre diez cultivares de maíz y 13 variables agronómicas.

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 $104,161 \text{ p ha}^{-1}$ se registró 10.03 t ha^{-1} . Con P204W se obtuvo 10.0 t ha^{-1} , pero éste no difirió estadísticamente de IC 2010, AS-MJ9082, H-40 y AS-723. El análisis de componentes principales explicó el 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: P. Monnexveux and J.-M. Ribaut, editors, Drought phenotyping in crops: From theory to practice. Consultative Group on International Agricultural Research (CIGAR) Generation Challenge Programme/CIMMYT, Mexico City, Mexico. p. 263–283.
- 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 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.
- 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). *Europe Journal Agronomy*, 16: 151-159.
- Cervantes, O. F.; Cadenas, T. J. L.; Raya, P. J. C.; Andrio, E. E.; Rangel, L. J. A.; Guevara, A. L. P.; Sergio Rodríguez, H. R. S. y Mendoza, E. M. 2015.** Respuesta del *Silk Balling* a humedad edáfica y densidad de población en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1): 231-241.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2013.** 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: 45-59.

- 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 Research*, 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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 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. *Agricultura Técnica en México*, 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. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 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. *Revista Agronomía Costarricense*, 34(2): 129-143.
- Hashemi, A. M.; Herbert, S. J. and Putnam, D. H. 2005.** Yield response of corn to crowding stress. *Agronomy Journal*, 97: 839-846.
- Hashemi, D. A. and Herbert, S. H. 1992.** Intensifying plant density response of corn with artificial shade. *Agronomy Journal*, 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. *American-Eurasian Journal of Agronomic and Environmental Science*, 10(3): 450–457.
- Maddoni, G. A.; Cirilo, A. G.; and Otegui, M. E. 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.
- 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. *Agronomy Journal*, 105: 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: 90-95.
- Oyervides, G. A.; Ortiz, C. J.; Gonzáles, 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.
- Reddy, T. H. and Reddi, G. H. S. 2004.** Principles of Agronomy, In: Plant population, chapter VIII, Kalyani Pub., Hyderabad, India, pp: 193-203.
- Rodríguez, F.I.; González, H. A.; Pérez L. D.J. y Rubi, A. M. 2015.** Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 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 x ambiente en la caracterización de áreas de temporaleras en la producción de trigo. *Agrociencia*, 39(1): 51-64.
- Rossini, M.A.; Maddonni, G.A. and Otegui, M. E. 2012.** Inter-plant variability in maize crops grown under contrasting Nstand density combinations: Links between development, growth and kernel set. *Field Crop Research*, (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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5): 871-882.
- Sánchez, G. J. J. 1995.** El análisis biplot en clasificación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 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 population. *Field Crops Research*, 79: 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? *Agronomy Journal*, 99: 984–991.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2007.** 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. *Agronomy Journal*, 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. *Agronomy Journal*, 80: 930-940.
- Tollenaar, M. 1992.** Is low plant density a stress in maize?. *Maydica*, (37): 305-311.
- Tollenaar, M. and Lee, E. A. 2011.** Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews*, 34: 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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(6): 829-844.
- Turrent, F. A. 2009.** Potencial productivo de maíz. *Revista Ciencias*, 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 Journal Plant Science*, 5: 690-694.
- Van Roekel, R. J. and Coulter J. A. 2011.** Agronomic Responses of Corn to Planting Date and Plant Density. *Agronomy Journal*, 103: 1414–1422
- Van Roekel, R. J. and Coulter J. A. 2012.** Agronomic Responses of Corn Hybrids to Row Width and Plant Density. *Agronomy Journal*, 104: 612–620.
- Velázquez, C. G. A.; Tut, C. C.; Lothrop, J.; Virgen, V. J; Salinas, M. Y. 2005.** H-40. Híbrido de maíz de grano blanco para los Valles Altos de México. Folleto Técnico Núm. 21. SAGARPA-INIFAP-CIRC. Chapingo, Estado de México. 21 p.

Wellhausen. E. J.; Roberts, L. M.; Hernández, X. E. En colaboración con Mangelsdorf, P.C.1951. Razas de maíces en México; su origen, características y distribución. Folleto Técnico No.5. Oficina de Estudios Especiales. Secretaria de Agricultura y Ganadería México, D. F. 237 P.

V. CONCLUSIONES GENERALES

El rendimiento de grano fue afectado por la densidad de planta, la densidad de 104,167 p ha⁻¹ fue la que mostró mayores rendimientos en los cultivares evaluados. Los diez cultivares tuvieron una respuesta positiva a mayores densidades de planta, teniendo una mejor respuesta los materiales mejorados (variedades y líneas) en comparación con los criollos. El número de granos fue el componente numérico más sensible a la densidad de planta. El número de granos por planta explicó en mayor medida el rendimiento de grano en los cultivares de maíz evaluados. Entre cultivares hubo diferencias en el número de granos, y donde los cultivares P204 e ICAMEX 2010 alcanzaron los mayores rendimientos. Entre localidades no hubo diferencias significativas en los rendimientos alcanzados por los cultivares.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abendroth, L.J.; Elmore, R.W.; Boyer, M.J. and Marlay, S.K. 2011.** Corn Growth and Development. Iowa State University. Extension Publication #PMR-1009. <https://store.extension.iastate.edu/Product/Corn-Growth-and-Development>.
- AGRODER, 2012.** Cooperativa de Trabajo Asociado Agro y Derivados (AGRODER). Producción del Maíz, México, 2010. Comparativo Regional de Rendimiento de Maíz. [http://www.agroder.com/Documentos/Publicaciones/ Produccion_de_Maiz_en_Mexico-AgroDer_2012](http://www.agroder.com/Documentos/Publicaciones/Produccion_de_Maiz_en_Mexico-AgroDer_2012).
- Amanullah, R.; Khattak, R.A. and Khalil, S.K. 2009.** Plant density and nitrogen effects on maize phenology and grain yield. *Journal Plant Nutrition*, 32: 246–260.
- Anaus, J.L.; Sanchez, C. and Edmeades. G.O. 2011.** Phenotyping maize for adaptation to drought. In: P. Monnexveux and J.M. Ribaut, editors, *Drought phenotyping in crops: From theory to practice*. Consultative Group on International Agricultural Research (CIGAR) Generation Challenge Programme/CIMMYT, Mexico City, Mexico. pp: 263–283.
- Andrade, F.H.; Vega, C.R.C.; Uhart, S.; Cirilo, A.; Cantarero, M. and Valentinuz, O. 1999.** Kernel number determination in maize. *Crop Science*, 39: 453–459.
- Beck, L.D. 2001.** Research on tropical highland maize. *Maize research highlights*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Estado de México, México. pp: 9-17.

- Begna, S.H.; Hamilton, R.I.; Dwyer, L.M.; Stewart, D.W. and Smith, D.L. 1997.** Effects of population density and planting pattern on yield and yield components of leafy reduced-stature maize in short-season area. *Journal Agronomy Crop Science*, 179: 9-17.
- Borras, L.; Maddonni, G.A. and Otegui, M.E. 2003.** Leaf senescence in maize hybrids: Plant population, row spacing and kernel set effects. *Field Crops Research*, 82: 13–26.
- Brekke, B.; Edwards, J. and Knapp, A. 2011a.** Selection and adaptation to high plant density in the Iowa stiff stalk synthetic maize (*Zea mays* L.) population. *Crop Science*, 51: 1965–1972.
- Brekke, B.; Edwards, J. and Knapp, A. 2011b.** 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.
- Carcova, J. and Otegui, M.E. 2001.** Ear temperature and pollination timing effects on maize kernel set. *Crop Science*, 41: 1809–1815.
- Cervantes, O.F.; Covarrubias, P.J.; Rangel, L.J.A.; Terrón, I.A.D.; Mendoza, E.M. y Preciado, O.R.E. 2013.** Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1): 101-110.
- CIMMYT. 1995.** Manejo de ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos Internacionales de maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 20 p.

- Coulter, J.A.; Nafziger, E.D.; Janssen, M.R. and Pedersen, P. 2010.** Response of Bt and near-isoline corn hybrids to plant density. *Agronomy Journal*, 102: 103–111.
- Duvick, D.N. 1992.** Genetic contributions to advances in yield of U.S maize. *Maydica*, 37: 69-79.
- Duvick, D.N. and Cassman, K.G. 1999.** Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the northcentral United States. *Crop Science*, 39: 1622–1630.
- Duvick, D.N. 2005a.** Genetic progress in yield of United States maize (*Zea mays* L.). *Maydica*, 50: 193–202.
- Duvick, D.N. 2005b.** The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Advances in Agronomy*, 86: 83-145.
- Echarte, L. and Andrade, F.H. 2003.** Harvest index stability of Argentinean maize hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crops Research*, 82: 1-12.
- Echarte, L.; Luque, S.; Andrade, F.H.; Sadras, V.O.; Cirilo, A.G.; Otegui, M.E.; Vega, C.R.C. 2000.** Response of maize kernel number to plant density in Argentinean hybrids released between 1965 and 1993. *Field Crops Research*, 68: 1–8.
- Escorcía, G.N.; Molina, G.J.D.; Castillo, G.F.; Mejía, C.J.A. 2010.** Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruces simples de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33(3): 271-279.
- FAOSTAT, 2013.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Dirección de estadística, 2013. <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>.

- Fasoula, V.A. and Tollenaar, M. 2005.** The impact of plant population density on crop yield and response to selection in maize. *Maydica*, 50: 39–48.
- Fasoula, V.A. and Fasoula, D.A. 2002.** Principles underlying genetic improvement for high and stable crop yield potential. *Field Crops Research*, 75: 191–209.
- FND, 2014.** Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero (FND). Panorama del Maíz [http://www.FinancieraRural.gob.mx/información-sector-rural/Panoramas/Panorama%20Ma%C3%ADz%20\(may%202014\).pdf](http://www.FinancieraRural.gob.mx/información-sector-rural/Panoramas/Panorama%20Ma%C3%ADz%20(may%202014).pdf).
- Gambin, B.L.; Borras, L. and Otegui, M.E. 2006.** Source-sink relations and kernel weight differences in maize temperate hybrids. *Field Crops Research*, 95: 316–326.
- Gámez, V.A.J.; Ávila, P.M.A.; Ángeles, A.H.; Díaz, C.; Ramírez, V.H.; Alejo, J.A. y Terrón, I.A. 1996.** Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. Publicación especial. Núm. 16. INIFAP, SAGAR. Toluca, México. 103 p.
- 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-Atacomulco, México. *Revista Agronomía Costarricense*, 34(2):129-143.
- González, E.A.; Islas, J.; Espinosa, A.; Vázquez, J.A.; y Wood S. 2008.** Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: Híbrido H-48. Publicación Especial No. 25, INIFAP, México, D.F. 88p.

- González, H.A., Vázquez, G.L.M., Sahagún, C.J., Rodríguez, P.J.E. y Pérez, L.D.J. 2007.** Rendimiento de maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Revista Agricultura Técnica en México*, 33(1): 33-42.
- Grassini, P.; Thorburn, J.; Burr, C. and 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.
- Haeghele, 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.; Herbert, S.J. and Putnam, D.H. 2005.** Yield response of corn to crowding stress. *Agronomy Journal*, 97: 839-846.
- ICAMEX, 2004.** Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX). Guía para la producción de maíz en valles altos del Estado de México, Gobierno del Estado de México, México. 9 p.
- INAFED, 1986.** Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Consultado en <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/index.html>.
- Ipsilandis, C.G. and Vafias, B.N. 2005.** Plant density effects on grain yield per plant in maize: Breeding implications. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 4: 31–39.
- Ittersum, M.K.V. and Rabbinge, R. 1997.** Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52: 197-208.

- Jaggard, K.W.; Qi, A. and Ober, E.S. 2010.** Possible changes to arable crop yields by 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological*, 365: 2835-2851.
- Lashkari, M.; Madani, H.; Golzardi M.R.A.F. and Zargari, K. 2011.** Effect of plant density on yield and yield components of different corn (*Zea mays* L.) hybrids. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental. Sciences*, 10: 450–457.
- Lee, E.A., and Tollenaar, M. 2007.** Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield. *Crop Science*, 47: 202–215.
- Lobell, D.B.; Cassman K.G. and Field, C.B. 2009.** Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environmental Resources*, 34: 179–204.
- Maddonni, G.A., and Otegui. M.E. 2006.** Intra-specific competition in maize: Contribution of extreme plant hierarchies to grain yield, grain yield components and kernel composition. *Field Crops Research*, 97: 155–166.
- Maddonni, G.A.; Otegui, M.E. and Cirilo, A.G. 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.
- Magaña, V. y Gay, C. 2002.** Adaptación y vulnerabilidad regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica Instituto Nacional de Ecología*, 65: 7-23.

- Mansfield B.D. and Mumm R.H. 2013.** Survey of plant density Tolerance in U.S. maize germplasm. *Crop Science*, 54: 157-173.
- Martínez, G.A. 1988.** Diseños Experimentales. Métodos y Elemento de Teoría. Trillas, México. 756 p.
- Moose, S.P. and Mumm, R.H. 2008.** Molecular plant breeding as the foundation for the 21st century crop improvement. *Plant Physiology*, 147: 969–977.
- Muñoz, O.A. 2005.** Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, Origen Genético y Geográfico, Glosario Centli-Maíz. 2ª edición. Colegio de Postgraduados, Montecillo México, 211 p.
- Nafziger, E. 2008.** Corn. In: E. Nafziger, editor, Illinois agronomy handbook, 24th ed. University of Illinois Extension, University of Illinois, Urbana, IL. pp: 13–26.
- Nava, P.F.; Mejía, C.J.A.; Castillo, G.F. y Molina, G.J.D. 2000.** Evaluación de maíces precoces e intermedios en Valles Altos Centrales de México. I. Poblaciones sobresalientes. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23(1):119-128.
- 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: 90-95.
- Otegui, M.E. 2007.** Híbridos, densidad y fertilización de maíz: fundamentos, posibilidades y limitantes para la intensificación del cultivo. Servicios y Marketing SEMA. Disponible en línea: www.mundoagro.com.
- Oyervides, G.A.; Ortiz, C.J.; Gonzáles, 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.

- Polanco, J.A.; Flores, T.M. 2008.** Bases para una Política de I&D en Innovación de la Cadena de Valor del Maíz. Foro Consultivo Científico y Tecnológico. México, D. F. 244 p.
- Prior, C.L. and Russell, W.A. 1975.** Yield performance of non-prolific and prolific maize hybrids at six plant densities. *Crop Science*, 15: 482-486.
- Ramírez, D.J.L.; Vidal, M.V.A.; Ledesma, M.A.; Chuela, B.M.; Peña, R.A.; Ruiz, C.J.A. and Ron, P.J. 2013.** Propuesta para integrar un patrón heterótico de maíz grano amarillo para la zona de transición de México. I. Método y formación de poblaciones. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3): 189-199.
- Raya, P.J.C.; Aguirre, M.C.L.; Medina, O.J.G.; Ramírez, P.G.J.; Andrio, E.E.; Castellanos, S.A. y Covarrubias, P.J. 2012.** Calidad física y fisiológica de semilla en función de la densidad de población en dos híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4): 633-641.
- Reyes, C.P. 1990.** Diseño de experimentos aplicados. Ed. Trillas. 3ra edición. 348 p.
- 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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (5): 871-882 p.
- Rodríguez, F.I.; González H.A.; Pérez L.D. y Rubí A.M. 2015.** Evaluación de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8): 1943-1955.

- Rossini, M.A.; Maddonni, G.A. and Otegui, M.E. 2011.** Interplant competition for resources in maize crops grown under contrasting nitrogen supply and density: Variability in plant and ear growth. *Field Crops Research*, 121: 373–380.
- Russell, W.A. 1991.** Genetic improvement of maize yields. *Advances in Agronomy*, Cambridge, 46(1): 245-298.
- SAGARPA, 2011.** Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Perspectivas de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011-2020. http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/escenariobase/perspectivalp_11-20.pdf.
- Sánchez, G.J.J. 1995.** El análisis biplot en clasificación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 18(2): 188-203.
- Sangoi, L. 2000.** Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciencia Rural*, 31(1): 159-168.
- Sangoi, L. and Salvador, R.J. 1998.** Influence of plant height and leaf number on maize production at high plant densities. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33: 297-306.
- Sangoi, L.; Gracietti, M.A.; Rampazzo, C. and Bianchetti, P. 2002.** Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. *Field Crops Research*, 79: 39–51.
- Sarlangue, T.; Andrade, F.H.; Calvino, P.A. and Purcell, L.C. 2007.** Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? *Agronomy Journal*, 99: 984–991.

- SIAP, 2007.** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 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. 2007.** Corn stalk response to plant population and the Bt-European corn borer trait. *Agronomy Journal*, 99: 657–664.
- Tilman, D.; Balzer, C.; Hill, J. and Befort, B.L. 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. and Koutroubas, S.D. 2004.** A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for crop yield stability. *Field Crops Research*, 88: 103–114.
- Tokatlidis, I.S.; Has, V.; Melidis, V.; Has, I.; Mylonas, I.; Evgenidis, G.; Copandean, A.; Ninou, E. and 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.
- Tollenaar, M. and Lee, E.A. 2002.** Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*, 75: 161–169.
- Tollenaar, M. and Lee, E.A. 2011.** Strategies for enhancing grain yield in maize. *Plant Breeding Reviews*, 34: 37–82.
- Tollenaar, M. and Wu, J. 1999.** Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. *Crop Science*, 39:1597–1604.

- 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. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(6): 829-844.
- Turrent, F.A. 2009.** Potencial productivo de maíz. *Revista Ciencias*, 92-93: 126-129.
- Van Roekel, R.J. and Coulter, J.A. 2011.** Agronomic responses of corn to planting date and plant density. *Agronomy Journal*, 103: 1414–1422.
- Van Roekel, R.J. and Coulter, J.A. 2012.** Agronomic responses of corn hybrids to row width and plant density. *Agronomy Journal*, 104: 612–620.
- Vázquez, C.M.G.; Mejía, A.H., Salinas, M.Y. y Santiago, R.D. 2013.** Efecto de la densidad de población en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3): 225-232.
- Westgate, M.E.; Forcella, F.; Reicosky, D.C. and Somsen, J. 1997.** Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: Radiation-use efficiency and grain yield. *Field Crops Research*, 49: 249–258.
- Zamudio, G.B.; Espinosa, C.A.; Tadeo, R.M.; Encastin, D.J.J.; Martínez, R.J.N.; Felix, R.A.; Cárdenas, M.A.L. y Turrent, F.A. 2015.** Producción de híbridos y variedades de maíz para grano en siembra a doble hilera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(7): 1491-1505.

VI. ANEXOS




México
ISSN 2007-0634

Texcoco, Estado de México, 12 de octubre de 2016
Ref.: 223-16

Dra. Delfina de Jesús Pérez López
Universidad Autónoma del Estado de México
Presente:

Por medio de la presente se hace constar que el manuscrito titulado: "Densidad de plantas en cultivos de maíz en dos localidades del Centro del Estado de México." del cual son autores (as) Jorge Quiroz Mercado, Delfina de Jesús Pérez López, Andrés González Huerta, Omar Franco Mora, Martín Rubí Arriaga y Francisco Gutiérrez Rodríguez, fue aceptado para ser publicado en el Vol. 8 Núm. 3, 2017 en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

Atentamente



DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

000 * Archivo
KYRPlw



Texcoco, Estado de México, 10 de marzo de 2017
 Núm. Ref.: 336-17

Dra. Delfina de Jesús Pérez López
Universidad Autónoma del Estado de México
Presente

Por este medio le agradezco y acuso de recibido su manuscrito intitulado "Respuesta de diez cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexiquense" cuyos autores (as) son: Jorge Quiroz Mercado, Delfina de Jesús Pérez López, Andrés González Huerta, Martín Rubí Arriaga, Francisco Gutiérrez Rodríguez, José Ramón Pascual Franco Martínez y José Francisco Ramírez Dávila, que fue enviado para su posible publicación a la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Le notificamos que el texto inicial del manuscrito, autores(as) principal y los coautores(as), autor(a) para correspondencia no podrán alterarse y quedarán como se envía en esta versión.

Asimismo, me permito informarle que su contribución será sometida a revisión técnica por los árbitros que se designen en caso de ser aceptado, se le notificará sobre las observaciones correspondientes.

Agradezco su colaboración y le envío un cordial saludo.

Atentamente

DRA. DORA MA. SANGERMAN-JARQUÍN
EDITORA EN JEFA DE LA REVISTA
MEXICANA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

c.c.p. * Archivo
 DMSJchl