

Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, México*

Effect of five densities in eight maize cultivars planted in three locations in the Valley of Toluca, Mexico

Irene Rodríguez Flores, Andrés González Huerta[§], Delfina de Jesús Pérez López y Martín Rubí Arriaga

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario El Cerrillo. Toluca, México. A. P. 435. Tel: 01 (722) 2965518. Ext. 148. (ireneflores21@hotmail.com; djperezl@uaemex.mx; mrubia@uaemex.mx). [§]Autor para correspondencia: agonzalez@uaemex.mx.

Resumen

Para mejorar el rendimiento de grano (RG) podrían identificarse variedades e híbridos de maíz con estabilidad en producción de grano por planta o mazorca (RGP o RGM) en altas densidades de población (DP) y ambientes contrastantes. En este estudio fueron evaluados ocho cultivares de maíz en cinco DP en tres localidades del Valle de Toluca, México, para estudiar sus efectos en el RG y en las dimensiones de planta y mazorca. Los tres experimentos se establecieron en 2013 en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por sitio usando un arreglo de parcelas divididas en una serie de experimentos en espacio. Los resultados más sobresalientes mostraron lo siguiente: a) la mejor localidad fue San Andrés (9.86 t ha⁻¹); b) la diferencia en RG entre la mayor y la menor DP fue de 1.01 t ha⁻¹ pero entre 54 524, 69 444 y 104 167 plantas no hubo diferencias significativas; c) los mejores cultivares fueron AS-722 y San Andrés (9.60 y 9.25 t ha⁻¹); d) en los análisis multivariados se observaron tres grupos de variables (mazorcas enfermas - índice de prolificidad y peso volumétrico del grano - RG, dimensiones de planta y mazorca, ciclo vegetativo y acame) o de cultivares (San Andrés y San Cristóbal - HC8 - resto de híbridos). Así, el PGM y el índice de prolificidad podrían emplearse como criterio de selección indirecto en programas de

Abstract

In order to improve grain yield (GY) maize varieties and hybrids could be identified with stable grain production on plants or cobs (GYP or GYC) in high population densities (PD) and contrasting environments. In this study, eight maize cultivars in five PD were evaluated in three locations in the Valley of Toluca, Mexico, to study their effects on the GY and dimensions of plant and ear cob. The three experiments were established in 2013, in an experimental randomized complete block design with three replicates per site, using a split plot arrangement in a series of experiments in space. The most outstanding results showed that: a) the best location was "San Andrés" (9.86 t ha⁻¹); b) the GY difference between the highest and the lowest PD was 1.01 t ha⁻¹, but from 54 524, 69 444 and 104 167 plants, there were no significant differences; c) the best cultivars were AS-722 and "San Andrés" (9.60 and 9.25 t ha⁻¹); d) in the multivariate analyses, three groups of variables were observed (sick pods - prolificacy index and volumetric weight of the grain - GY, plant and ear cob dimensions, vegetative cycle and lodging) or cultivars ("San Andrés" and "San Cristobal" - HC8 - other hybrids). Thus, the PGM and the prolificacy index could be used as indirect selection criteria in breeding programs and two outstanding maize used to generate, validate and apply technology in this region.

* Recibido: julio de 2015

Aceptado: noviembre de 2015

fitomejoramiento y ambos maíces sobresalientes utilizarse para generar, validar y aplicar tecnología en esta región mexiquense.

Palabras clave: *Zea mays*, análisis multivariados, cultivares de maíz, densidades de población, México, Valle de Toluca.

Introducción

De las gramíneas, el maíz (*Zea mays* L.) probablemente sea la especie con mayor potencial para producir grano y en los últimos 75 años ha sido uno de los cultivos donde se han registrado los mayores rendimientos por unidad de superficie. Para explorar y explotar eficientemente su capacidad para transformar radiación solar en grano es necesario entender cómo interactúan las plantas morfológica y fisiológicamente e identificar las prácticas de manejo que permitan usar adecuadamente los recursos disponibles (Sangoi, 2000). A nivel mundial es el tercer cereal de mayor importancia en la nutrición humana; México es su mercado más grande con 11% y un consumo *per capita* de 123 kg, superior al promedio mundial de 16.8 kg (Agroder, 2012).

Tollenaar y Lee (2011) comentaron que los incrementos en la producción de grano que se han logrado en los últimos 60 años se atribuyen principalmente al fitomejoramiento (60%) y a la aplicación de mejoras tecnológicas (40%), como empleo de más fertilizantes, eficiente control de malezas, incrementos en la densidad de población, surcos más estrechos, y utilización de híbridos superiores. En los ensayos de rendimiento se han evaluado de 5.5 a 16.0 plantas m⁻² y los RG variaron de 1.6 a 11.6 t ha⁻¹ (Sangoi *et al.*, 2002; Widdicombe y Thelen, 2002; Paszkiewicz y Butzen, 2007; Sarlangue *et al.*, 2007; Soltero *et al.*, 2010; Abuzar *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2014; Haegele *et al.*, 2014).

La densidad de población (DP) es una de las prácticas culturales más importantes que influyen en el rendimiento de grano y otros componentes del rendimiento (Sangoi, 2000), y éstos últimos dependen estrechamente del ambiente, del genotipo, del manejo agronómico y de sus interacciones (Rodríguez *et al.*, 2002; González *et al.*, 2008; De la Cruz *et al.*, 2009; González *et al.*, 2010; Tollenaar y Lee, 2011; Reynoso *et al.*, 2014). La DP está condicionada principalmente por el cultivar, la duración del ciclo de cultivo, la fecha de siembra, la disponibilidad de agua, la

Keywords: *Zea mays*, densities, maize cultivars, Mexico, multivariate analysis, Valle de Toluca, .

Introduction

Of the true grasses, maize (*Zea mays* L.) is probably the species with the greatest potential to produce grain and over the last 75 years has been one of the crops which have seen higher yields per unit area. In order to explore and exploit its ability to efficiently convert solar radiation into grain is necessary to understand how to interact morphologically and physiologically plants and identify management practices that adequately using available resources (Sangoi, 2000). Globally, it is the third most important cereal in human nutrition, Mexico is the largest market with 11% and per capita consumption of 123 kg, higher than the world average of 16.8 kg (Agroder, 2012).

Tollenaar and Lee (2011) commented that, the increases in grain production have been achieved in the last 60 years are mainly attributed to breeding (60%) and the application of technological improvements (40%) and using more fertilizers, efficient weed control increases in population density, narrower grooves, and use of superior hybrids. In yield tests have been evaluated from 5.5 to 16.0 plants m⁻² and GY ranged from 1.6 to 11.6 t ha⁻¹ (Sangoi *et al.*, 2002; Widdicombe and Thelen, 2002; Paszkiewicz and Butzen, 2007; Sarlangue *et al.*, 2007; Single *et al.*, 2010; Abuzar *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2014; Haegele *et al.*, 2014).

The population density (PD) is one of the most important cultural practices that affect grain yield and other yield components (Sangoi, 2000), and the latter highly dependent on the environment, genotype, agronomic management and its interactions (Rodríguez *et al.*, 2002; González *et al.*, 2008; De la Cruz *et al.*, 2009; González *et al.*, 2010; Tollenaar and Lee, 2011; Reynoso *et al.*, 2014). The PD is conditioned mainly by the cultivar, the length of the growing season, planting date, availability of water, the groove width and fertilization (Sangoi, 2000). The choice of the PD is available to farmers in an easy and economical way and their analysis will define the relationship between the amount of optimum plants per unit area and the largest grain yield in different environments (Sangoi *et al.*, 2002).

Although, in other countries such as China, Argentina, Canada and Italy (4.57, 5.65, 6.63 and 9.53 t ha⁻¹) occurs more grain than in Mexico (3.99 t ha⁻¹), the Valley of Toluca, in the State of Mexico, Mexico, is a region with high potential for the

anchura del surco y la dosis de fertilización (Sangoi, 2000). La elección de la DP está al alcance del agricultor de una manera fácil y económica y su análisis permitirá definir las relaciones entre la cantidad de plantas óptima por unidad de superficie y el mayor rendimiento de grano en diversos ambientes (Sangoi *et al.*, 2002).

Aun cuando en otros países como China, Argentina, Canadá e Italia (4.57, 5.65, 6.63 y 9.53 t ha⁻¹) se produce más grano que en México (3.99 t ha⁻¹), el Valle de Toluca, en el Estado de México, México, es una región con gran potencial para la siembra de híbridos y variedades de alto rendimiento; la media es de 4.39 t ha⁻¹ (SIAP, 2013), pero experimentalmente se han obtenido de 4.01 a 11.56 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; Morales *et al.*, 2014). En las últimas décadas se han liberado híbridos sobresalientes pero se desconoce su respuesta al incremento en la DP cuando se aplica un solo tratamiento de fertilización en varias localidades. Así, el objetivo principal del presente estudio fue evaluar cinco densidades de población sobre el rendimiento de grano y otros componentes del rendimiento de ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades de este Valle.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

Este estudio se hizo en 2013 en tres localidades del Valle de Toluca, México: El Cerrillo Piedras Blancas (CPB), San Andrés Cuexcontitlán (SA) y San Mateo Oztzacatipán (SM). El CPB está ubicado a 19° 22' 29.2" latitud norte y 99° 35' 13.2" longitud oeste, a una altitud de 2 632 m; los suelos franco arcillosos son predominantes y su pH es de 6.1. SA está localizado a 19° 22' 27.5" latitud norte y 99° 35' 11.4" longitud oeste, a 2 532 msnm, el suelo más común es el franco, y su pH es de 5.86. SM está situada a 19° 21' 30" latitud norte y 99° 36' 06.8" longitud oeste, a 2 632 msnm, el suelo más frecuente es franco arenoso con pH de 4.7. El clima del Valle de Toluca es templado sub-húmedo, con temperatura media anual de 13.7 °C y precipitación pluvial entre 1 000 y 1 200 mm, con heladas de 80-140 días en la época de octubre a marzo (García, 2005).

Material genético

Se utilizaron H-40, AS-722, AZ-60, HC-8, HID-17, HIT-11, San Cristóbal y San Andrés.

planting of hybrid and high yielding varieties; the average is 4.39 t ha⁻¹ (SIAP, 2013), but have been obtained experimentally from 4.01 to 11.56 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; Morales *et al.*, 2014). In recent decades they have released hybrid outstanding but the response to the increase in PD is unknown when one fertility treatment at various locations is applied. Thus, the main objective of this study was to evaluate five densities on grain yield components and other eight cultivars of maize grown in three locations in the Valley.

Materials and methods

Description of the study area

This study was done in 2013, in three towns of the Valley of Toluca, Mexico: "El Cerrillo Piedras Blancas" (CPB), "San Andrés Cuexcontitlán" (SA) and "San Mateo Oztzacatipán" (SM). The CPB is located at 19° 22' 29.2" N and 99° 35' 13.2" west longitude at an altitude of 2 632 m; the clay loam soils are predominant and its pH is 6.1. SA is located at 19° 22' 27.5" N and 99° 35' 11.4" west longitude at 2 532 meters, the most common soil is franc, and its pH it is 5.86. SM is located at 19° 21' 30" north latitude and 99° 36' 06.8 west longitude at 2 632 meters, the most common soil is sandy loam with a pH of 4.7. The climate of the Toluca Valley is temperate sub-humid, with an annual average temperature of 13.7 °C and rainfall between 1 000 and 1 200 mm, 80-140 frost days in the period from October to March (García, 2005).

Genetic material

We used H-40, AS-722, AZ-60, HC-8, HID-17 HIT-11, "San Cristobal" and "San Andrés".

Experimental design and size of the parcel a series of experiments in space was used in a randomized complete block with three replicates per location in divided plots: in the largest plot, the PD were assigned and, the cultivars in the small one. The plot consisted of three rows of 6 x 0.80 m; the middle row was the used unit (UEU= 4.8 m²).

Agronomic management

In CPB, irrigation was applied on pre-planting and in SA and SM there are residual moisture soils. Mechanical preparation consisted of fallow land and two steps of drag. CPB planting took place on April 11 in SA on April 24 and May 2 SM. 250 kg of urea were applied, 150 kg of 18N-46P-00K and

Diseño experimental y tamaño de la parcela

Se empleó una serie de experimentos en espacio en bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad en parcelas divididas: en la parcela grande se asignaron las DP y en la chica los cultivares. La parcela constó de tres surcos de 6 x 0.80 m; la hilera central fue la unidad útil (UEU= 4.8 m²).

Manejo agronómico

En CPB se aplicó riego de presiembra y en SA y SM hay suelos de humedad residual. La preparación mecánica del suelo consistió en barbecho y dos pasos de rastra. La siembra en CPB se efectuó el 11 de abril, en SA el 24 de abril y en SM el 2 de mayo. Se aplicaron 250 kg de urea, 150 kg de 18N-46P-00K y 50 kg de cloruro de potasio (140N-69P-30K); 1/3 parte del nitrógeno y todo el fósforo y el potasio al sembrar y el resto del N en la etapa V8 (27 de mayo, 4 y 7 de junio). Se realizaron dos escardas en CPB y SA y una en SM. En CPB la maleza se controló con 1.0 kg de atrazina 90 y 1 L de 2,4 D amina; en una segunda aplicación se emplearon 2 L de atrazina 6-cloro-N2-etil-isopropil 1,3,5-2,4 diamina y 1 L de dicamba+ atrazina; éstos dos, en las mismas dosis, se aplicaron en las otras dos localidades el 18 y 30 de junio y 4 de julio. La cosecha se efectuó el 16, 18 y 26 de diciembre de 2013.

50 kg of potassium chloride (140N-69P-30K); 1/3 of the nitrogen and all phosphorus and potassium at planting and the rest of N in the V8 stage (May 27, June 4 and 7). Two weedings were made in CBS and SA and one in SM. In CPB, the weeds were controlled with 1.0 kg of atrazine 90 and 1 L of 2,4-D amine; in a second application we used 2 L of atrazine 6-chloro-N2-ethyl-isopropyl 1,3,5-2,4 diamine and 1 L dicamba + atrazine; these two, in the same doses were applied in the other two locations on June 18 and 30 and July 4. The harvest took place on December 16, 18 and 26 2013.

Cuadro 1. Factores y niveles de estudio.

Table 1. Factors and study levels.

Factores de estudio	Niveles
Densidades de población (plantas ha ⁻¹)	1) 104 167 2) 83 333 3) 69 444 4) 59 529 5) 52 083
Cultivares	1) H-40 2) AS-722 3) AZ-60 4) HC-8 5) HID-17 6) HIT-11 7) Criollo San Cristóbal 8) Criollo San Andrés

Cuadro 2. Análisis de suelos realizados en 2013 en El Cerrillo Piedras Blancas (CPB), San Andrés Cuexcontitlán (SA) y San Mateo Oztzacatipán (SM).

Table 2. Soil analysis conducted in 2013 in El Cerrillo Piedras Blancas (CPB), "San Andrés Cuexcontitlán" (SA) and "San Mateo Oztzacatipán" (SM).

Componente	CPB Clasificación	SA Clasificación	SM Clasificación
Ph	Ligeramente ácido	Moderadamente ácido	Ácido
CIC	Medio	Muy bajo	Medio
Carbono orgánico	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Materia orgánica	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Conductividad eléctrica	Normal	Normal	Normal
Nitrógeno	Bajo	Bajo	Bajo
Fósforo	Medio	Medio	Bajo
Potasio	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Carbono/nitrógeno	Deficiente	Deficiente	Medio
Calcio	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Magnesio	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Sodio	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Densidad aparente	Bajo	Bajo	Bajo
Textura	Franco arcilloso	Franco	Franco arenoso

Variables registradas

Floraciones masculina y femenina (FM y FF, días transcurridos desde la siembra hasta que 50% de las plantas liberaron polen o emitieron estigmas), 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 espiga), acame de tallo y raíz (AC, porcentaje de plantas con tallos rotos o inclinación mayor a 45°), mazorcas enfermas (ME, en %), longitud de mazorca (LM, medida en cm de la base a su punta), diámetro de mazorca (DM, cm de su parte media), hileras de grano de la mazorca (HM), pesos del olote y de grano por mazorca (POM y PGM, en g), rendimiento de grano (RG, t ha⁻¹), peso volumétrico del grano (PVG, kg L⁻¹) e índice de prolificidad (IP; cociente entre mazorcas cosechadas y plantas de la UEU). Cinco plantas de la UEU fueron empleadas para calcular AM, AP, LM, DM, HM, POM, PGM, PVG; para el resto se utilizaron todos los datos (González *et al.*, 2008).

Análisis estadístico

Se obtuvieron las salidas del análisis de varianza combinando y de la prueba de Tukey ($p=0.05$). Los procedimientos aritméticos y el Programa para SAS (Statistical Analysis System ver. 6.01) fueron descritos por Martínez (1988). También se emplearon los análisis de componentes principales y de conglomerados, descritos por Sánchez (1995) y Reynoso *et al.* (2014). El biplot se elaboró en Microsoft Excel ver. 1997-2003 (González *et al.*, 2010).

Resultados y discusión

Los resultados que se muestran en el Cuadro 3 indican que los sitios de evaluación (A), los cultivares (G) y la interacción G x A deben ser estudiados con mayor detalle en relación a las densidades de población (DP) o las interacciones A x DP y A x DP x G. González *et al.* (2006), González *et al.* (2008) y Reynoso *et al.* (2014) concluyeron que las localidades del Valle Toluca-Atlaconulco son muy heterogéneas; también hay variabilidad genética importante para desarrollar nuevos programas de fitomejoramiento pero debe considerarse que la interacción genotipo x ambiente significativa, muy común en esta región mexiquense, enmascara el verdadero potencial del material genético (Rodríguez *et al.*, 2002; Torres *et al.*, 2011).

Variables registered

Male and female blooms (FM and FF, days from planting to 50% of the plants pollen released or issued stigmata), ear and plant heights (AM and AP measured in cm from the ground to the insertion of ear ligule main or tang), root and stalk lodging (AC, percentage of plants with broken stems or steeper than 45°), diseased pods (ME, in%), ear length (LM, measured in cm Based on its tip), ear diameter (DM, cm middle part), rows of grain from the cob (HM), cob weight and grain per ear (POM and PGM, g), grain yield (GY, t ha⁻¹), volumetric grain weight (PVG, kg L⁻¹) and prolificacy index (IP; ratio of harvested ears and plants UEU). UEU five plants were used to calculate AM, AP, LM, DM, HM, POM, PGM, PVG; for the rest all data were used (González *et al.*, 2008).

Statistical analysis

Outputs combined analysis of variance and Tukey test ($p=0.05$) were obtained. The arithmetic procedures and the Programme for SAS (Statistical Analysis System view. 6.01) were described by Martínez (1988). The main component analysis and cluster analysis, described by Sánchez (1995) and Reynoso *et al.* (2014) were also used. The biplot was developed in Microsoft Excel view. 1997-2003 (González *et al.*, 2010).

Results and discussion

The results shown in Table 3 indicate that evaluation sites (A), cultivars (G) and G x E interaction should be studied in more detail in relation to population densities (PD) or interactions A x PD and A x PD x G. González *et al.* (2006), González *et al.* (2008) and Reynoso *et al.* (2014) concluded that, the localities in Toluca-Atlaconulco Valley are quite heterogeneous; there is also an important genetic variability for developing new breeding programs, but should also be considered the significant interaction genotype x environment, quite common in this region, hiding the true potential of the genetic material (Rodríguez *et al.*, 2002; Torres *et al.*, 2011).

The CPB, SA and SM differ statistically in all variables except AC (Table 4). These results show that the towns of Toluca are quite contrasting, even when the distance

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para el análisis de varianza combinado.
Table 3. Mean squares and statistical significance of the values of F for the combined analysis of variance.

FV	GL	FM	FF	AM	AP	LM	DM	HM
Localidades (L)	2	5419.43 **	4395.78 **	10996.88 **	27704.02 **	218.83 **	2.02 **	13.78 **
Repeticiones/L	6	84.76 **	89.6 **	543.34 **	1046.95 **	2.49 **	0.09 **	0.17 ns
Densidades (DP)	4	42.28 ns	163.39 **	1333.2 **	1343.71 *	15.84 **	0.09 *	0.82 ns
Variedades (V)	7	147.71 **	120.13 **	35178.81 **	36455.21 **	56.17 **	2.06 **	17.66 **
L x DP	8	24.8 **	25.28 **	189.44 ns	236.54 ns	1.54 ns	0.04 ns	0.73 ns
DP x Rep	24	35.29	27.4	265.12	420.4	1.44	0.02	0.68
DP x V	28	5.51 ns	7.82 ns	85.92 ns	124.08 ns	1.03 ns	0.03 ns	0.55 ns
LxV	14	32.92 **	41.43 **	279.11 **	264.97 *	2.13 **	0.04 ns	0.8 ns
Lx DPx V	56	8.44 ns	10.38 ns	126.87 ns	141.63 ns	0.62 ns	0.03 ns	0.58 ns
Error combinado	210	7.71	8.54	109.17	122.42	0.85	0.02	0.47
Media		103.82	107.48	127.03	234.31	14.99	4.71	14.66
CV (%)		2.97	2.72	8.22	4.72	6.15	3.57	4.69

*Significativo al 0.05; ** significativo al 0.01; ns= no significativo; GL= grados de libertad.

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

Table 3. Mean squares and statistical significance of the values of F for the combined analysis of variance (Continuation).

FV	GL	AC	ME	POM	PGM	REND	PVG	IP
Localidades (L)	2	122.92 ns	33279.36 **	216.98 **	10910.43**	277.17 **	0.0034 **	2.2 **
Repeticiones/L	6	171.17 **	284.73 **	19.85 ns	1078.59 **	8.46 *	0.009 **	0.06 ns
Densidades (DP)	4	148.92 ns	143.32 ns	81.12 ns	4118.69 **	14.89 ns	0.0012 ns	0.23 **
Variedades (V)	7	2513.41 **	1335.75 **	231.44 **	16510.41 **	44.71 **	0.0056 **	0.2 **
L x DP	8	137.65 **	318.39 **	25.37 ns	717.57 **	5.99 ns	0.0004 **	0.05 ns
DP x Rep	24	70.78	142.34	31.74	503.8	5.65	0.0005	0.03
DP x V	28	54.35 ns	109.89 ns	30.81 ns	303.22 ns	2.93 ns	0.0000 ns	0.03 ns
L x V	14	95.75 *	774.01 **	17.15 ns	273.61 ns	7.59 **	0.0002 *	0.12 **
L x DP x V	56	38.24 ns	63.32 ns	22.72 ns	264.37 ns	2.20 ns	0.0001 ns	0.03 ns
Error	210	50.12	72.1	20.17	215.97	3.05	0.0001	0.03
Media		6.56	23.45	19.24	145.83	8.23	0.753	1.05
CV (%)		107.89	36.19	23.33	10.07	21.2	1.63	17.12

*Significativo al 0.05; ** significativo al 0.01; ns= no significativo; GL= grados de libertad.

El CPB, SA y SM difirieron estadísticamente en todas las variables, excepto en AC (Cuadro 4). Estos resultados muestran que las localidades del Valle de Toluca son muy contrastantes aun cuando la distancia entre éstas sea inferior a 20 km. Este hecho fue destacado al considerar localidades de los municipios de Calimaya, Metepec, Toluca, Zinacantepec, Temascaltepec, Almoloya de Juárez y San Felipe del Progreso; el clima, la precipitación pluvial, la altitud, su ubicación geográfica, y el tipo de suelo son sus principales componentes (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2011; Reynoso *et al.*, 2014; Pérez *et al.*, 2014); también los años originan variabilidad temporal importante (Morales *et al.*, 2014).

between them is less than 20 km. This was highlighted when considering locations in the municipalities of "Calimaya", "Metepec", "Toluca", "Zinacantepec", "Temascaltepec", "Almoloya de Juárez" and "San Felipe"; climate, rainfall, elevation, geographic location, and the type of soil are the main components (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2011; Reynoso *et al.*, 2014; Pérez *et al.*, 2014); also the years originate important temporal variability (Morales *et al.*, 2014).

In SA, he had the highest GY, (9.86 t ha⁻¹), lower growth cycle and higher values in AP, AM, PVG, IP, DM and HM was recorded. In CPB a higher vegetative cycle and lower

Cuadro 4. Comparación de medias entre localidades (Tukey, $p=0.05$).**Table 4. Comparison of means between localities (Tukey, $p=0.05$).**

Localidades	FM	FF	AM	AP	LM	DM	HM
El Cerrillo	111.05 a	114.21 a	117.35 c	218.86 c	16.11 a	4.75 b	14.49 b
San Andrés	97.77 c	102.5 c	136.49 a	249.24 a	15.38 b	4.81 a	15.05 a
San Mateo	102.64 b	105.72 b	127.26 b	234.84 b	13.49 c	4.56 c	14.45 b
DMSH	0.84	0.89	3.18	3.37	0.28	0.05	0.21

FM y FF= floraciones masculina y femenina; AM y AP= alturas de mazorca y de planta; LM, DM y HM= longitud, diámetro y número de hileras en la mazorca.

Cuadro 4. Comparación de medias entre localidades (Tukey, $p=0.05$) (Continuación).**Table 4. Comparison of means between localities (Tukey, $p=0.05$) (Continuation).**

Localidades	AC	ME	POM	PGM	RG	PVG	IP
El Cerrillo	7.22 a	6.8 c	20.78 a	153.95 a	7.99 b	0.752 b	1.134 a
San Andrés	7.06 a	23.44 b	18.63 b	148.22 b	9.86 a	0.758 a	1.136 a
San Mateo	5.39 a	40.11 a	18.31 b	135.33 c	6.85 c	0.748 c	0.9 b
DMSH	2.15	2.58	1.36	4.47	0.53	0.003	0.05

AC= acame; ME= mazorcas enfermas; POM, PGM= pesos de olote y de grano por mazorca; RG, rendimiento de grano, PVG, peso volumétrico del grano; IP= índice de prolificidad.

En SA se registró mayor RG (9.86 t ha⁻¹), menor ciclo vegetativo y mayores valores en AP, AM, PVG, IP, DM y HM. En El CPB se registró mayor ciclo vegetativo, menores promedios en AP y AM, ME y RG, pero hubo mayores dimensiones en LM, POM y PGM. El menor RG que se registró en SM se explica por los menores promedios en LM, DM, NH, POM, PGM, IP y más ME (Cuadro 5); sus suelos franco arenoso tienen pH más ácido que los de El CPB (franco arcilloso) y SA (franco) y son más pobres en fósforo (Cuadro 2). Sotelo *et al.* (2010) y García (2005) los clasificaron como Feozem, vertisol y Feozem, con lluvias de 780, 824 y 810 mm, respectivamente. Los suelos ácidos favorecen la pudrición de raíces, tallos y mazorcas causados por *Fusarium* spp. Esto explica porque en SM se registraron más ME (40.11%) cuando hubo menos AC (5.39%).

ME y HM no fueron afectadas significativamente al variar de 52 083 a 104 167 plantas (Cuadro 5), pero la pudrición de mazorca es muy común en el Valle de Toluca y dependió más del cultivar que de la DP (Cuadro 4). González *et al.* (2007) observaron que Palomero Toluqueño, Cónico, Chalqueño y Cacahuacintle presentaron infecciones de 8.67, 18.06, 3.73 y 6.33%, respectivamente. Los híbridos de Cónico-Chalqueño o del Centro Internacional en Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) fueron más resistentes (3.01 y 4.75%). HM no está influenciada por el ambiente y depende del cultivar (González *et al.*, 2006).

averages AP AM, ME and GY was recorded, but we had the largest LM, POM and PGM. The lower GY recorded in SM is explained by lower averages in LM, DM, NH, POM, PGM, IP and more ME (Table 5); its sandy loam soils have more acidic pH than the CPB (clay loam) and SA (FR) and are poorer in phosphorus (Table 2). Sotelo *et al.* (2010) and García (2005) classified them as Feozem, vertisol and Feozem, with rainfall of 780, 824 and 810 mm, respectively. Acidic soils favour root rot, stalk and cobs caused by *Fusarium* spp. This explains why more SM were recorded in ME (40.11%) when there was less AC (5.39%).

ME and HM were not affected significantly varying from 52 083 to 104 167 plants (Table 5), but ear rot is common in the Toluca Valley and relied more on cultivar than PD (Table 4). González *et al.* (2007) observed that Palomero Toluqueño, Cónico, Chalqueño and Cacahuacintle developed infections and 8.67, 18.06, 3.73 and 6.33%, respectively. The hybrids of Conical-Chalqueño or in the International Centre for Maize and Wheat Improvement (CIMMYT) were more resistant (3.01 and 4.75%). HM is not influenced by the environment and depends on the cultivar (González *et al.*, 2006).

Additionally, the increase in PD resulted in a significant increase in the vegetative stage in AP and AM, and GY and, significantly decreased LM, DM, POM, PGM, PVG and IP (Table 5). These results partially coincide with those published by De la Cruz *et al.* (2009) and Hokmalipour *et al.* (2010).

Cuadro 5. Comparación de medias entre densidades de población (Tukey, $p=0.05$). Las variables fueron definidas en el Cuadro 4.**Table 5. Comparison of means between population densities (Tukey, $p=0.05$). The variables were defined in Table 4.**

Densidades ha ⁻¹	FM	FF	AM	AP	LM	DM	HM
104 167	104.38 a	109.12 a	132.48 a	238.54 a	14.31 c	4.67 b	14.83 a
83 333	103.8 ab	108.12 a	129.34 a	237.34 a	14.91 b	4.69 b	14.58 a
69 444	104.77 a	108.38 a	127.95 ab	235.69 ab	15.04 b	4.71 ab	14.68 a
54 524	103.04 b	105.98 b	123.18 bc	232.05 bc	15.09 b	4.7 ab	14.67 a
52 083	103.11 b	105.77 b	122.2 c	227.94 c	15.62 a	4.77 a	14.56 a
DMSH	1.27	1.34	4.79	5.07	0.42	0.07	0.31

Cuadro 5. Comparación de medias entre densidades de población (Tukey, $p=0.05$). Las variables fueron definidas en el Cuadro 4 (Continuación).**Table 5. Comparison of means between population densities (Tukey, $p=0.05$). The variables were defined in Table 4 (Continuation).**

Densidades ha ⁻¹	AC	ME	POM	PGM	RG	PVG	IP
104 167	8.44 a	23.85 a	17.97 b	136.23 d	8.7 a	0.748 c	1 c
83 333	7.45 ab	24.86 a	18.67 ab	141.96 cd	7.87 bc	0.753 abc	1.02 bc
69 444	5.17 b	24.52 a	18.89 ab	145.12 bc	8.5 ab	0.75 bc	1.02 bc
54 524	6.57 ab	22.52 a	20.18 a	149.74 ab	8.46 ab	0.754 ab	1.1 ab
52 083	5.14 b	21.5 a	20.49 a	156.11 a	7.64 c	0.759 a	1.13 a
DMSH	3.24	3.89	2.05	6.73	0.8	0.005	0.08

Adicionalmente, el incremento en la DP originó un aumento significativo en el ciclo vegetativo, en AP y AM, y en RG y disminuyó significativamente LM, DM, POM, PGM, PVG e IP (Cuadro 5). Estos resultados coinciden parcialmente con los publicados por De la Cruz *et al.* (2009) y Hokmalipour *et al.* (2010).

Las 52 084 plantas que se originan de la menor y mayor DP contribuyeron a una diferencia de 1.06 t ha⁻¹ (Cuadro 5). Este resultado es relevante ya que sólo se aplicó un tratamiento de fertilización (140N-69K-30K). La diferencia entre la mejor y la peor localidad fue de 3.01 t ha⁻¹ por lo que se concluye que sus efectos fueron estadísticamente mayores que los causados por las DP o por los cultivares de maíz y se sugiere dar mayor importancia a los ensayos conducidos en tiempo y espacio, como lo indicaron Reynoso *et al.* (2014), Torres *et al.* (2011) y Morales *et al.* (2014).

En este estudio se observó que la DP que originó el mayor RG fue 10.41 plantas m⁻² (Cuadro 5) pero en otros varió de 7.4 a 14.8 plantas m⁻² (Widdicombe y Thelen, 2002; Paszkiewicz y Butzen, 2007; Sarlengue *et al.*, 2007; Soltero *et al.*, 2010; Morales *et al.*, 2014); en la región Toluca-Atacomulco era de 5.5 plantas m⁻² para criollos y de 7.5 plantas m⁻² para híbridos (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Torres *et al.*,

The 52 084 plants originating from the lower and higher PD contributed to a difference of 1.06 t ha⁻¹ (Table 5). This result is relevant as only the fertility treatment was applied (140N-69K-30K). The difference between the best and worst city was 3.01 t ha⁻¹ for which it is concluded that the effects were statistically higher than those caused by the PD or maize cultivars and suggested a larger emphasis on the tests conducted in time and space, as indicated by Reynoso *et al.*, (2014), Torres *et al.* (2011) and Morales *et al.* (2014).

In this study we observed that the PD that originated the higher GY was 10.41 plants m⁻² (Table 5) but in others ranged from 7.4 to 14.8 plants m⁻² (Widdicombe and Thelen, 2002; Paszkiewicz and Butzen, 2007; Sarlengue *et al.*, 2007; Single *et al.*, 2010; Morales *et al.*, 2014); in the region Toluca-Atacomulco was 5.5 plants m⁻² for landraces and 7.5 plants m⁻² for hybrids (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2011; Reynoso *et al.*, 2014). These results suggested that, the commercially desirable in the high valleys of Central Mexico hybrids are more competitive in high PD.

However, it should be considered that most of the plants have competition among plants for light, water and nutrients increases and, decreases the GY when stimulated apical dominance, female sterility and reducing the cobs and grains

2011; Reynoso *et al.*, 2014). Estos resultados sugieren que los híbridos recomendables comercialmente en los Valles Altos del Centro de México son más competitivos en altas DP.

Sin embargo, debe considerarse que con más plantas por ha se incrementa la competencia entre plantas por luz, agua y nutrientes y disminuye el RG al estimularse la dominancia apical, la esterilidad femenina y al reducir las mazorcas y los granos por planta. La disminución en el PGM en las densidades más altas, el principal componente del peso de grano por planta y del RG, se atribuye a problemas de luz y a otros factores ambientales y de manejo agronómico que son limitativos dos a tres semanas antes de la emisión de estigmas o una o dos semanas de iniciado el llenado de grano; el retraso en la emisión de los estigmas, la esterilidad de flores o al aborto de granos también contribuyen a este problema (Sangoi, 2000; Tokatlidis y Koutroubas, 2004; Abuzar *et al.*, 2011).

Motto y Moll (1983) comentaron que se ha incrementado el interés por implementar estrategias de selección indirecta o a través de índices de selección que involucre componentes del rendimiento, como las características de mazorca que son consideradas en el presente estudio, u otras variables bioquímicas y fisiológicas, como un intento por mejorar el RG. El número de mazorcas por planta y la prolificidad podrían emplearse con este propósito debido a que generalmente tienen mayores heredabilidades (H^2) que el RG. Sin embargo, en el Valle de Toluca, en el Estado de México, existen pocos estudios sobre este tema (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014).

En el presente estudio el material genético más sobresaliente fue AS-722 y San Andrés (9.60 y 9.25 t ha⁻¹, Cuadro 6); la superioridad del primero se atribuye a su ciclo vegetativo intermedio, características de mazorca y planta aceptables y resistencia al AC. González *et al.* (2008) concluyeron que AS-722 produjo 7.33 t ha⁻¹ y otros criollos de Cónico y Chalqueño rindieron 6.55 y 7.50 t ha⁻¹, pero Morales *et al.* (2014) identificaron cultivares como Jiquipilco, Amarillo y Cándor con 11.56, 10.76 y 10.47 t ha⁻¹. El criollo San Andrés (Cuadro 7) tuvo mayores dimensiones en AP, AM, LM, HM y PGM; además, al tener más AC y menos ME se infiere que es tolerante a *Fusarium* spp. Su excelente adaptación al área de estudio, obtenida por selección masal visual que practicó el agricultor por más de 15 años y por su ciclo biológico intermedio es recomendable para siembras en punta de riego, humedad residual o seco.

per plant. The decrease in the PGM in the higher densities, the main component of the grain weight per plant and GY is attributed to problems of light and other environmental and agricultural management limiting factors that are two to three weeks before issuance stigmas or one or two weeks into the grain filling; the delay in the issuance of the stigmata, the sterility of flowers or abortion of grains also contribute to this problem (Sangoi, 2000; Tokatlidis and Koutroubas, 2004; Abuzar *et al.*, 2011).

Motto and Moll (1983) commented that has increased the interest in implementing strategies of indirect selection or through selection indexes involving yield components and characteristics of cob that are considered in this study, or other biochemical and physiological variables as an attempt to improve the GY. The number of ears per plant and litter could be used for this purpose because they generally have higher heritability (H^2) than the GY. However, in the Valley of Toluca, State of Mexico, there are few studies on this subject (González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014.)

In the present study, the most outstanding genetic material was AS-722 and "San Andrés" (9.60 and 9.25 t ha⁻¹, Table 6); the superiority of the first one is attributed to its intermediate vegetative cycle, characteristics of the cobs and acceptable plants and resistant to AC. González *et al.* (2008) concluded that AS-722 produced 7.33 t ha⁻¹ and other landraces of Cónico and Chalqueño yielding 6.55 and 7.50 t ha⁻¹; however, Morales *et al.* (2014) identified cultivars as "Jiquipilco", "Amarillo" and "Cándor" with 11.56, 10.76 and 10.47 t ha⁻¹. The landrace "San Andrés" (Table 7) was larger in AP, AM, LM, HM and PGM; also by having more AC and less ME is inferred that is tolerant to *Fusarium* spp. Its excellent adaptation to the area of study, obtained by visual mass selection practiced by farmers over 15 years and, through life cycle is recommended for planting in irrigated tip, residual moisture or dry.

The main components (ACP) 1 and 2 explained 73.3% of the original variation (Figure 1) so that the correlations observed in the biplot can be reliably interpreted (Sánchez, 1995). The 14 variables were grouped into: a) IP and PVG, b) ME, c) GY and other features. These results are partly similar to those of by Li *et al.* (2013); AP, AM, number and internode length, stem diameter and ear height ratio were correlated significantly with GY, tolerance to high densities and AC.

Cuadro 6. Comparación de medias entre cultivares de maíz (Tukey, $p=0.05$). Las variables fueron definidas en el Cuadro 4.
Table 6. Comparison of means between maize cultivars (Tukey, $p=0.05$). The variables were defined in Table 4.

Varietades	FM	FF	AM	AP	LM	DM	HM
H-40 (V1)	105.15 abc	107.22 c	116.75 de	220.28 e	14.26 de	4.86 ab	15.17 a
AS-722 (V2)	101.73 d	105.15 d	120.28 d	225.57 de	14.13 de	4.85 ab	14.34 b
AZ-60 (V3)	104.15 bc	107.37 bc	112.2 e	221.24 e	14.68 cd	4.59 d	14.9 a
HC-8 (V4)	105.64 ab	106.6 cd	82.22 f	186.95 f	14.91 bc	4.25 e	13.56 c
HID-17 (V5)	106.28 a	110.42 a	137.8 c	249 c	15.13 bc	4.77 bc	15.28 a
HIT-11 (V6)	102 d	107 cd	118.15 de	230.02 d	14.01 e	4.7 cd	14.84 a
SnCristóbal(V7)	101.82 d	106.82 cd	157.33 b	263.68 b	15.35 b	4.93 a	14.02 b
San Andrés (V8)	103.8 c	109.24 ab	171.53 a	277.75a	17.49 a	4.72 c	15.2 a
DMSH	1.79	1.88	6.74	7.14	0.59	0.1	0.44

Cuadro 6. Comparación de medias entre cultivares de maíz (Tukey, $p=0.05$). Las variables fueron definidas en el Cuadro 4 (Continuación).

Table 6. Comparison of means between maize cultivars (Tukey, $p=0.05$). The variables were defined in Table 4 (Continuation).

Varietades	AC	ME	POM	PGM	RG	PVG	IP
H-40 (V1)	2.37 c	21.20 cd	19.29 ab	142.97 bc	8.59 abc	0.76 ab	1.08 ab
AS-722 (V2)	2.81 c	23.57 bc	22.08 a	146.95 b	9.6 a	0.748 cd	1.04 abc
AZ-60 (V3)	1.66 c	27.98 ab	17.69 b	137.6 bc	8.15 bc	0.764 a	1.09 ab
HC-8 (V4)	1.06 c	18.83 cd	17.01 b	113.52 d	6.99 d	0.758 ab	1.16 a
HID-17 (V5)	3.98 c	18.69 cd	21.71 a	144.66 bc	8.68 abc	0.752 bc	1.07 ab
HIT-11 (V6)	4.09 c	30.23 a	16.90 b	137.07 c	6.83 d	0.765 a	1.05 ab
Sn Cristóbal (V7)	15.15 b	30.35 a	17.54 b	173.36 a	7.77 cd	0.733 e	0.93 c
San Andrés (V8)	21.35 a	16.77 d	21.72 a	170.55 a	9.25 ab	0.743 d	0.99 bc
DMSH	4.56	5.48	2.89	9.48	1.12	0.007	0.11

Los componentes principales (ACP) 1 y 2 explicaron 73.3% de la variación original (Figura 1) por lo que las correlaciones que se observan en el biplot pueden interpretarse confiablemente (Sánchez, 1995). Las 14 variables se agruparon en: a) IP y PVG, b) ME, y c) RG y las otras características. Estos resultados son parcialmente similares a los de Li *et al.* (2013); AP, AM, número y longitud de entrenudos, diámetro del tallo y coeficiente de altura de mazorca estuvieron correlacionados significativamente con RG, tolerancia a altas densidades y AC.

El PGM es el principal componente del peso de grano por planta (PGP) y del peso promedio del grano. Los hechos anteriores también sugieren que PGM y IP podrían emplearse como criterio de selección indirecto para incrementar el RG (Motto y Moll, 1983; González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014) aun cuando la mejora en el RG en híbridos de reciente liberación se atribuye más al aumento en el intervalo de DP óptimas. La tolerancia a altas DP y la

The PGM is the main component of the grain weight per plant (PGP) and average grain weight. These facts also suggest that PGM and IP could be used as indirect selection criteria to increase the GY (Motto and Moll, 1983; González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014) even though GY improved in recent release hybrids attributed more to the increase in the range of optimal PD. PD tolerance and high efficiency in the capture and use of resources are some of the causes (Tokatlidis and Koutroubas, 2003; De la Cruz *et al.*, 2009; Tollenaar and Lee, 2011). Thus, an important strategy for improving grain production would choose varieties and hybrids with small differences in GYP, or IP GYC when the PD increased the contrasting environments.

The eight cultivars were grouped as follows: HC-8 (G1); AZ-60, HIT-11, H-40, HID-17 and AS-722 (G2) and both landraces (G3). In G2 and G3 there was a higher grain yield and better plant and ear dimensions (Figure 1). The superiority of AS-722, "San Andrés" HID-17 and H-40 is

eficiencia en la captura y uso de los recursos son algunas de las causas (Tokatlidis y Koutroubas, 2003; De la Cruz *et al.*, 2009; Tollenaar y Lee, 2011). Así, una estrategia importante para mejorar la producción de grano sería elegir variedades e híbridos con diferencias pequeñas en RGP, RGM o IP cuando se incrementan las DP en ambientes contrastantes.

Los ocho cultivares se agruparon así: HC-8 (G1); AZ-60, HIT-11, H-40, HID-17 y AS-722 (G2) y ambos criollos (G3). En G2 y G3 hubo mayor rendimiento de grano y mejores dimensiones en planta y mazorca (Figura 1). La superioridad de AS-722, San Andrés, HID-17 y H-40 se atribuye a la correlación positiva y significativa que hubo entre RG con LM, DM, HM, POM, PGM, AP y AM, pero González *et al.* (2008) concluyeron que las mayores dimensiones en planta, mazorca y acame disminuyeron el RG. La respuesta favorable que mostró este material genético podría estar relacionada con la mayor estabilidad que tienen los nuevos híbridos en tiempo y espacio, y específicamente, en altas DP; sus componentes son el potencial de rendimiento por planta, las tolerancias a sequía, exceso de agua, bajo nitrógeno, acame de tallo y raíz, muerte prematura, insectos, maleza y esterilidad femenina, así como una mejor respuesta al incremento en la aplicación de insumos (Sangoi *et al.*, 2002; Tokatlidis y Loutroubas, 2004).

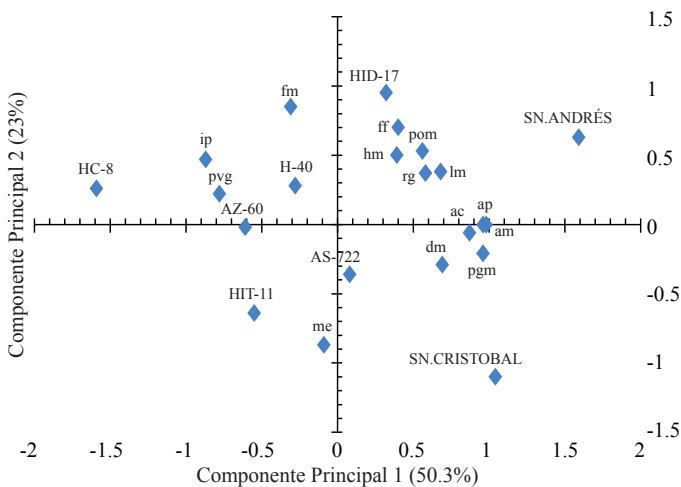


Figura 1. Biplot entre ocho cultivares de maíz (en mayúsculas) y 14 variables agronómicas (en minúscula). Método genotipo x variable.

Figure 1. Biplot between eight cultivars of maize (in capital letters) and 14 agronomic variables (lowercase). Genotype x variable method.

En el dendrograma de la Figura 2 se detectó un arreglo de cultivares idéntico al observado en el ACP. Por su ubicación geográfica y por sus valores en RG, PGM, AC, AM, AP, ME,

attributed to the positive and significant correlation existed between GY with LM, DM, HM, POM, PGM, AP and AM, but González *et al.* (2008) concluded that the higher dimensions in plant, ear and lodging decreased GY. The favourable response showed this genetic material that could be related to the higher stability with the new hybrids in time and space, and specifically at high PD; its components are the potential yield per plant, the tolerances to drought, excess water under nitrogen and root stalk lodging, premature death, insects, weeds and female sterility and a better response to the increased application of inputs (Sangoi *et al.*, 2002; Tokatlidis and Loutroubas, 2004).

In the dendrogram of Figure 2 an arrangement identical to that observed in cultivars ACP was detected. Due to its geographical location and its values in GY, PGM, AC, AM, AP, ME, LM and DM (Table 6) both natives could belong to the race Cónico (González *et al.*, 2008). Progenitors of H-40, HIT-11 and HID-17 are (CML246 x CML242) x M39, (CML246 x CML242) x IML2 and (CML239 x CML242) x (L10 x L52), respectively; so, these and the other two hybrids could be formed with CIMMYT germplasm, as suggested for other studies by González *et al.* (2008) and Torres *et al.* (2011).

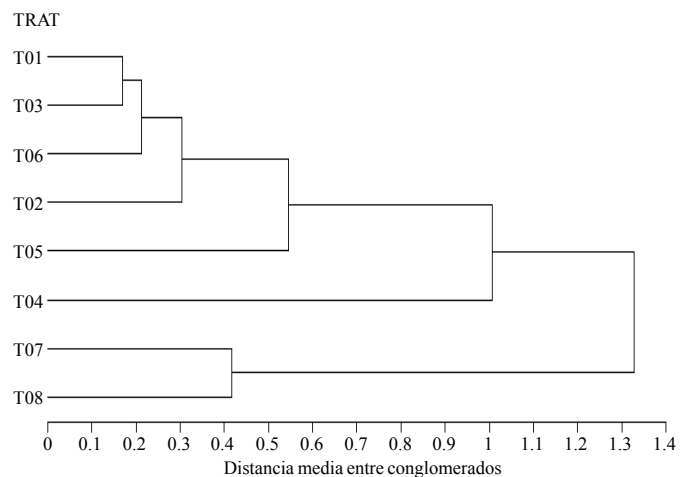


Figura 2. Agrupación de ocho cultivares de maíz usando el método de ligamiento promedio.

Figure 2. Grouping eight maize cultivars using the average linkage method.

Conclusions

The best location was "San Andrés" (9.86 t ha⁻¹). The difference between 104 166 and 52 082 plants was 1.01 t ha⁻¹ but in 54 524 and 69 444 plants, we had yields statistically

LM y DM (Cuadro 6) ambos criollos podrían pertenecer a la raza Cónico (González *et al.*, 2008). Los progenitores de H-40, HIT-11 y HID-17 son (CML246 x CML242) x M39, (CML246 x CML242) x IML2 y (CML239 x CML242) x (L10 x L52), respectivamente; así, éstos y los otros dos híbridos podrían estar formados con germoplasma del CIMMYT, como lo sugirieron para otros estudios González *et al.* (2008) y Torres *et al.* (2011).

Conclusiones

La mejor localidad fue San Andrés (9.86 t ha⁻¹). La diferencia entre 104 166 y 52 082 plantas fue de 1.01 t ha⁻¹ pero en 54 524 y 69 444 plantas hubo rendimientos estadísticamente iguales que en la primera densidad. Los cultivares más sobresalientes fueron AS-722 y San Andrés (9.60 y 9.25 t ha⁻¹). En los análisis multivariados se observaron tres grupos de variables (mazorca enfermas - índice de prolificidad y peso volumétrico del grano - dimensiones de planta y mazorca, ciclo vegetativo y acame) o de cultivares (San Andrés y San Cristobal - HC8 - resto de híbridos); la diferencia entre los grupos de mayor y menor RG fue de casi 1.50 t ha⁻¹. d) el peso de grano por mazorca o el índice de prolificidad podrían emplearse como criterio de selección indirecto en nuevos programas de fitomejoramiento y ambos cultivares superiores usarse en la generación, aplicación y validación de tecnología.

Literatura citada

- Aguzar, M. R.; Sadozai, G. U.; Batach, A. A.; Shah, I. H.; Javaid, T.; and Hussain, N. 2011. Effect of plant population densities on yield of maize. *J. Animal Plant Sci.* 21(4):692-695.
- Agroder. 2012. Producción de maíz en México. 2010. Comparativo regional de rendimiento de maíz. http://www.agroder.com/documentos/publicaciones/produccion_de_maiz_en_mexico-agroder_2012.pdf.
- De la Cruz, L. E.; Córdova, O. H.; Estrada, B. M. A.; Mendoza, P. J. D.; Gómez, V. A. y Brito, M. N. P. 2009. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y Ciencia.* 25(1):93-98.
- García, E. 2005. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Talleres Larios. México, D. F. 220 p.
- González, H. A.; Sahagún, C. J.; Pérez, L. D. J.; Domínguez, L. A.; Serrato, C. R.; Landeros, F. V. y Dorantes, C. E. 2006. Diversidad fenotípica del maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(3):255-261.
- 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. *Agríc. Téc. Méx.* 33(1):33-42.
- the same as in the first density. The most outstanding cultivars were AS-722 and "San Andrés" (9.60 and 9.25 t ha⁻¹). In the multivariate analysis, three groups of variables were observed (diseased ear cobs - prolificacy index and volumetric weight of the grain - dimensions of plant an ear cobs, vegetative cycle and lodging) or cultivars (San Andrés and San Cristobal - HC8 - rest of the hybrids); the difference between the groups of higher and lower GY were almost 1.50 t ha⁻¹. d) the weight of grain per ear cob or the prolificacy index could be used as an indirect criteria in new inbreeding programs and both superior cultivars to be used in the generation, application and validation of technology.

End of the English version



- 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-Atlaconulco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(1):67-76.
- González, A.; Pérez, L. D.; Sahagún, J.; Franco, O.; Morales, E. J.; Rubí, M.; Gutiérrez, F. y Balbuena, A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca-Atlaconulco, México. *Agron. Costarricense.* 34(2):129-143.
- Haeghele, J. W.; Becker, R. J.; Henninger, A. S. and Below, F. E. 2014. Row arrangement, phosphorus fertility, and hybrid contributions to managing increase plant density of maize. *Agron. J.* 106(5):1838-1846.
- Hokmalipour, S.; Seyedsherifi, R.; Jamaati, S.; Hassanzadeh, M.; Shiri, M. and Zabini, R. 2010. Evaluation of plant density and nitrogen fertilizer on yield, yield components and growth of maize. *World Appl. Sci. J.* 8(9):1157-1162.
- Li, Z.; Jong, Ch.; Ding, L.; Jian, Z.; Ya, H.; Yong, Z.; Zhan, S. and Zhi, L. 2013. QTL mapping for stalk related traits in maize (*Zea mays* L.) under different densities. *J. Integrative Agric.* 12(2):218-228.
- Martínez, G. A. 1988. Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Trillas, México. 756 p.
- Morales, R. A.; Morales, R. E. J.; Franco, M. O.; Mariezcurrena, B. D.; Estrada, C. G. y Norman, M. T. H. 2014. Densidad de población en maíz, coeficiente de atenuación de luz y rendimiento. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8:1425-1431.
- Motto, M. and Moll, R. H. 1983. Prolificacy in maize: a review. *Maydica.* 28:53-76.
- Pazzkiewicz, S. and Butzen, S. 2007. Corn hybrids response to plant population. *Crop Insights.* 17:1-4.
- Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Rubí, A. M.; Ramírez, D. J. F.; Castañeda, V. A. y Aquino, M. J. G. 2014. Aplicación de métodos multivariados para identificar cultivares sobresalientes de haba para el Estado de México, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(2):265-278.
- Reynoso, Q. C. A.; González, H. A.; Pérez, L. D. J.; Franco, M. O.; Torres, F. J. L.; Velázquez, C. G. A.; Breton, L. C.; Balbuena, M. A. y Mercado, V. O. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(5):871-882.

- Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J.; Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. Rev. Fitotec. Mex. 25(2):143-151.
- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. Rev. Fitotec. Mex. 18:188-203.
- 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.; Gracietti, M. A.; Rampazzo, C. and Bianchetti, P. 2002. Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density. Field Crops Res. 79:39-51.
- Sarlengue, T.; Andrade, H. F.; Calviño, A. P. and Purcell, C. L. 2007. Why do maize hybrids respond differently to variations in plant density? Agron. J. 99:984-991.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2013. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Cierre de producción por estado. Producción nacional de maíz grano. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.
- Soltero, D. L.; Garay, L. C. y Ruiz, C. J. A. 2010. Respuesta en rendimiento de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidades de plantas. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 1(2):147-156.
- Sotelo, R. E. S.; González, H. A.; Cruz, B. G. M.; Moreno, S. F. y Ochoa, E. S. 2010. Clasificación FAO-WRB y los suelos del Estado de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Libro técnico Núm. 14. 159 p.
- 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 Res. 88:103-114.
- Tollenaar, M. and Lee, E. A. 2011. Plant breeding reviews. (Ed.). Janick, J. and Blackwell, W. 94:37-81.
- Torres, F. J. L.; Morales, R. E. J.; González, H. A.; Laguna, C. A. y Córdova, O. H. 2011. Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en valles altos del centro de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc. 2(6):829-844.
- Widdicombe, W. D. and Thelen, K. D. 2002. Row width and plant density effects on corn grain production in the northern Corn Belt. Agron. J. 94:1023-1023.