

Densidad de población en maíz, coeficiente de atenuación de luz y rendimiento*

Maize population density, light attenuation coefficient and yield

Alejandro Morales Ruiz¹, Edgar Jesús Morales Rosales^{2§}, Omar Franco Mora², Dolores Mariezcurrena Berasaín², Gaspar Estrada Campuzano² y Tomás Héctor Norman Mondragón²

¹Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales- Universidad Autónoma del Estado de México. (botmora@colpos.mx). ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario El Cerrillo Piedras Blancas, Municipio de Toluca, Estado de México, C. P. 50200. Tel. 01 7222965518. Ext. 146. (ofrancom@uaemex.mx; nekkane16@hotmail.com; gaspar@agro.uba.ar; thnm0947@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: ejmoralesr@uaemex.mx.

Resumen

Durante 2008 y 2009 se evaluaron seis cultivares de maíz bajo tres densidades de población en Toluca, México, con el objetivo de conocer su índice de área foliar, coeficiente de atenuación de luz, radiación interceptada, eficiencia en el uso de la radiación y rendimiento de grano. Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, las parcelas grandes correspondieron a las densidades de población (6.9, 7.8 y 8.9 plantas m⁻²) y las subparcelas a los cultivares ('Amarillo', 'Cacahuacintle', 'Jiquipilco', 'Z-60', 'Cóndor' y 'H-50'). El análisis de varianza combinado detectó diferencias significativas entre años, densidades y cultivares para todas las variables, con excepción del coeficiente de atenuación de luz y radiación interceptada entre años. Las interacciones no fueron significativas, excepto en años × densidades en el índice de área foliar y en años × cultivares para rendimiento de grano. Entre años, el rendimiento promedio de los cultivares fue superior en 2008 (1 133 g m⁻²), 16.9% a 2009, debido al mayor número de granos m⁻² (2 826) y a la eficiencia en el uso de la radiación (0.79 g MJ⁻¹). Las mejores densidades de población fueron 7.8 y 8.9 plantas m⁻² (rendimiento promedio de 1 081 y 1 096 g m⁻², respectivamente) equivalente a 13.9% y 15.1% más que con 6.9 plantas m⁻². Lo anterior fue consecuencia de los mejores

Abstract

During 2008 and 2009 six maize cultivars were evaluated under three population densities in Toluca, Mexico to determine leaf area index, light attenuation coefficient, intercepted radiation, radiation-use efficiency and grain yield. A randomized complete block design in a split-plot arrangement was used, large plots corresponded to the population densities (6.9, 7.8 y 8.9 plants m⁻²) and the subplots to cultivars ('Amarillo', 'Cacahuacintle', 'Jiquipilco', 'Z-60', 'Cóndor' and 'H-50'). The combined analysis of variance showed significant differences between years, densities and cultivars for all variables, except for light attenuation coefficient and intercepted radiation between years. The interactions were not significant, except in year × density in leaf area index and year × cultivar for grain yield. Among years, the cultivars average yield was higher in 2008 (1 133 g m⁻²), in 16.9% than 2009, due to the higher number of grains m⁻² (2 826) and the radiation-use efficiency (0.79 g MJ⁻¹). The best population densities were 7.8 and 8.9 plants m⁻² (average of 1 081 and 1 096 g m⁻², respectively) equivalent to 13.9% and 15.1% more than with 6.9 plants m⁻². The above resulted from the best averages for these population

* Recibido: febrero 2014
Aceptado: marzo de 2014

promedios presentados por estas densidades de población en todas las variables bajo estudio. Entre cultivares, 'Jiquipilco', 'Amarillo' y 'Cóndor' presentaron el rendimiento promedio más alto con 1 156, 1 076 y 1 047 g m⁻².

Palabras clave: *Zea mays* L., índice de área foliar, radiación interceptada, eficiencia en el uso de la radiación.

El cultivo del maíz (*Zea mays* L.) en México es el líder entre los granos por la superficie total de siembra y los hábitos de consumo del mexicano. Se cosecha en 7.34 millones de hectáreas, con un rendimiento promedio de 3.3 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2007). Para incrementar el rendimiento de grano de este cereal, es importante incrementar la cantidad de radiación interceptada (RI) la cual depende del cultivar utilizado, la densidad de población y la etapa de desarrollo. Para alcanzar altos niveles de RI es necesario que el maíz genere un alto índice de área foliar (IAF) desde etapas tempranas de desarrollo (Maddonni y Otegui, 1996). Un IAF óptimo es en el que se tiene la máxima producción de materia seca, y se alcanza cuando los estratos inferiores del dosel pueden mantener un balance positivo de carbono, es decir, cuando el cultivo absorbe toda la radiación fotosintéticamente activa (RFA) (Díaz *et al.*, 2011).

El incremento en la densidad de población permite obtener mayores coberturas en forma anticipada dentro del ciclo del cultivo, lo que favorece una mayor producción de biomasa. En general, la relación entre la producción total de materia seca por unidad de área y la densidad de siembra es asintótica porque después de un determinado valor de densidad, el aporte de plantas adicionales causa una reducción en el peso individual de las mismas por el incremento de la competencia entre ellas (Andrade *et al.*, 2002).

Por otro lado, el coeficiente de atenuación de luz (k) indica el grado de disminución de este factor debido a la absorción y distribución de la luz dentro del dosel. En doseles erectófilos el ángulo de inserción de las hojas con respecto al tallo (45°) k varía de 0.3 a 0.5, mientras que en doseles con hojas planófilas k será 0.7, lo que indica que la parte superior del dosel ha absorbido 70% de la radiación incidente. Por último, la eficiencia en el uso de la radiación es la cantidad de materia seca o rendimiento por unidad de radiación interceptada por el cultivo. La RFA interceptada por el cultivo se transforma en biomasa, de forma que la pendiente de la relación lineal entre ambas variables representa la eficiencia en el uso de la radiación (EUR). Cuando la biomasa de interés es el rendimiento de grano de maíz, la EUR varía de 1 a 1.4 g MJ⁻¹ (Birch *et al.*, 1999). Por ello, en la presente investigación se evaluaron en 2008 y 2009 seis cultivares de

densidades en all variables under study. Among cultivars, 'Jiquipilco', 'Amarillo' and 'Cóndor' showed the highest average with 1 156, 1 076 and 1 047 g m⁻².

Keywords: *Zea mays* L., leaf area index, intercepted radiation, radiation-use efficiency.

Maize (*Zea mays* L.) in Mexico is the leader among the grains by the total crop area and consumption habits of Mexican people. Harvested in 7.34 million hectares, with an average yield of 3.3 t ha⁻¹ (González *et al.*, 2007). In order to increase yield of this cereal grain, it is important to increase the amount of intercepted radiation (IR) which depends on the cultivar used, population density and developmental stage. In order to achieve high IR levels it is necessary to generate a high maize leaf area index (LAI) from early developmental stages (Maddonni and Otegui, 1996). An optimum LAI is one with maximum dry matter production, and is reached when the lower canopy strata can maintain a positive carbon balance, *i.e.* when the crop absorbs all the photosynthetically active radiation (PAR) (Díaz *et al.*, 2011).

The increase in population density allows for greater coverage in advance within the crop cycle, which leads to more biomass. In general, the relationship between total dry matter production per area unit and plant density is asymptotic because after a certain density value, the contribution of additional plants causes a reduction in their individual weights by increased competition among them (Andrade *et al.*, 2002).

Furthermore, the light attenuation coefficient (k) indicates the degree of decrease of this factor due to light absorption and distribution of within the canopy. In erectophile canopies, the leaf insertion angle with respect to the stem (45°) k ranges from 0.3 to 0.5, while in canopies with planophile leaves, k will be 0.7, indicating that the upper canopy has absorbed 70% of the incident radiation. Finally, the radiation-use efficiency is the amount of dry matter or yield per unit of radiation intercepted by the crop. The PAR intercepted by the crop becomes biomass, thus the slope of the linear relationship between both variables represents the radiation-use efficiency (RUE). When the biomass of interest is the maize grain yield, the RUE ranges from 1 to 1.4 g MJ⁻¹ (Birch *et al.*, 1999). Therefore, in the present investigation six maize cultivars were evaluated in 2008 and 2009 under three population densities in Toluca, Mexico, in order to determine their leaf area index, light attenuation

maíz bajo tres densidades de población en Toluca, México, con el objeto de conocer su índice de área foliar, coeficiente de atenuación de luz, radiación interceptada, eficiencia en el uso de la radiación y rendimiento de grano, para recomendar cual es el mejor cultivar de maíz para la zona de estudio.

La investigación se efectuó en Toluca, México (19° 24' latitud norte, 99° 54' longitud oeste, 2611 m de altitud). El clima es de tipo C(w₂)(w)bi (García, 2005), que corresponde al templado subhúmedo con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno (5 %). La precipitación media anual es de 900 mm; con temperatura media anual de 12.8 °C; el tipo de suelo, arcilloso (34%); con pH, 6.6 y contenido de materia orgánica de 1.95% (Morales *et al.*, 2011). En ambos años se evaluaron tres maíces criollos de polinización libre de uso común en la región ('Amarillo', 'Cacahuacintle' y 'Jiquipilco') y tres híbridos recomendados para esta zona, de ciclo intermedio (90 a 100 días a floración masculina): 'Z-60', híbrido de cruza simple; 'Cóndor', híbrido trilineal y 'H-50', híbrido de cruza doble (González *et al.*, 2007). Las siembras se realizaron el 9 de abril (2008) y 10 de abril (2009) en forma manual, depositando tres semillas por golpe, aclareándose a una planta cuando tenían cuatro hojas completamente expandidas.

La distancia entre plantas para lograr la densidad adecuada para cada tratamiento (6.9, 7.8 y 8.9 plantas m⁻²) fue de 18, 16 y 14 cm, respectivamente. Para analizar los datos del experimento, se utilizó un arreglo factorial en parcelas divididas, donde las parcelas principales correspondieron a las densidades de población (6.9, 7.8 y 8.9 plantas m⁻²) y las subparcelas a los cultivares ('Amarillo', 'Cacahuacintle', 'Jiquipilco', 'Z-60', 'Cóndor' y 'H-50'). Los tratamientos se distribuyeron mediante un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. La unidad experimental fueron cinco surcos de 5 m de largo, con 80 cm entre surcos; la parcela útil fueron plantas de los tres surcos centrales. A la siembra se aplicó la fórmula 90-90-46 con urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio como fuentes, respectivamente, y 90 kg N ha⁻¹ (urea) en el aporque, 40 días después de la siembra (dds). En ambos años los experimentos se establecieron con un riego en la siembra; el cultivo completó sus necesidades hídricas con la precipitación del periodo de lluvias. Se aplicó herbicida (atrazina 1 L ha⁻¹) en forma post-emergente a los 25 dds.

Las variables que se sometieron a análisis estadístico fueron: 1) área foliar (AF), en cada tratamiento se cortaron cinco plantas de la parcela útil a la floración masculina de cada cultivar, las hojas se midieron con un integrador de área foliar modelo Li-Cor 3100, se determinó su promedio y se expresó en cm²; 2)

coeficiente, intercepted radiation, radiation-use efficiency and grain yield, to recommend the best maize cultivar for the study area.

The research was carried out in Toluca, Mexico (19° 24' north latitude, 99° 54' west longitude, 2611 m altitude). The climate type is C(w₂)(w)bi (García, 2005), corresponding to sub-humid temperate with summer rains and low rainfall in winter (5%). The average annual rainfall is 900 mm, average annual temperature 12.8 °C, the soil type is clayish (34%) with pH 6.6 and organic matter content of 1.95 % (Morales *et al.*, 2011). In both years, three open-pollinated landraces commonly used in the region ('Amarillo', 'Cacahuacintle' and 'Jiquipilco') were evaluated and three hybrids recommended for this area, of intermediate cycle (90 to 100 days to male flowering) single cross hybrid 'Z-60', three-line hybrid 'Cóndor' and double cross hybrid 'H-50' (González *et al.*, 2007). Planting was performed on April 9th (2008) and on April 10th (2009) manually, three seeds per hole, thinning to one plant at the stage of four fully expanded leaves.

The distance between plants to achieve the appropriate density for each treatment (6.9, 7.8 and 8.9 plants m⁻²) was 18, 16 and 14 cm, respectively. For data analysis, a factorial split plot design was used, where the main plots corresponded to the population densities (6.9, 7.8 and 8.9 plants m⁻²) and the subplots to the cultivars ('Amarillo', 'Cacahuacintle', 'Jiquipilco', 'Z-60', 'Cóndor' and 'H-50'). Treatments were distributed through a randomized block design with three replications. The experimental unit consisted of five rows 5 m long, spaced at 80 cm, the useful plot comprised only the three inner rows. After planting the 90-90-46 formula with urea, triple calcium superphosphate and potassium chloride was applied as sources, respectively, and 90 kg N ha⁻¹ (urea) at hilling, 40 days after planting (dap). In both years the experiments were established with irrigation in planting, completing crop water needs with rainfall in the rainy season. Herbicide (atrazine 1 L ha⁻¹) was applied in post-emergence at 25 dap.

Variables subjected to statistical analysis were: 1) leaf area (LA), in each treatment five plants from the useful plot were cut at male flowering of each cultivar, leaves were measured with a Li-Cor 3100 leaf area meter the average was determined and expressed in cm²; 2) Leaf area index by the formula LAI = (LA) (PD) / PA, where PD is plant density and PA is planted area (Morales *et al.*, 2011); 3) number of grains (NG, m⁻²), upon harvest, the number of grains in 10 ears was counted and the average was determined; and 4)

índice de área foliar (IAF), mediante la relación: $IAF = (AF) (DP) / AS$, donde DP es densidad de plantas y AS área sembrada (Morales *et al.*, 2011); 3) número de granos (NG, m^{-2}), a la cosecha, en 10 mazorcas, se contó el número de granos y se determinó su media; y 4) rendimiento de grano (REN, $g m^{-2}$), peso de grano de 10 mazorcas con una humedad 14% y se obtuvo el promedio. De la estación meteorológica de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la UAEMéx, ubicada en el área de estudio, se registró la temperatura máxima ($T_{máx}$), mínima ($T_{mín}$), media (T_m), precipitación pluvial (pp) y radiación global incidente (RGI) durante el periodo de crecimiento de cultivo, de ambos años. La radiación interceptada RI; expresada en (%) por el cultivo se midió en la floración masculina de cada tratamiento con un sensor lineal modelo Li-Cor 191.

Esta variable se midió al mediodía solar a ras del suelo. La eficiencia en el uso de la radiación (EUR) se expresó en $g MJ^{-1}$ interceptados, mediante la fórmula: $EUR = (REN/RFA)(RI)$, donde REN es rendimiento de grano ($g m^{-2}$), RFA es la radiación fotosintéticamente activa acumulada hasta la floración masculina del cultivo ($MJ m^{-2}$), y RI es porcentaje de radiación interceptada por cada tratamiento. El coeficiente de atenuación de luz (k) se determinó al momento de la floración masculina de acuerdo con la ley de Beer: $F = 1 - \exp(-k IAF)$, donde F es la fracción de radiación interceptada, y k es el coeficiente de atenuación de luz. Se realizó un análisis de varianza combinado que integró a los dos años de estudio, a las densidades de población y a los cultivares y comparaciones de medias con la prueba de la diferencia significativa honesta ($p < 0.05$) utilizando el paquete estadístico SAS Proc glm (SAS Institute, 2004).

La temperatura media durante 2008 fue $13.5\text{ }^{\circ}C$ y en 2009 fue $14.6\text{ }^{\circ}C$; en ambos años la temperatura mínima varió de 4.5 a $11\text{ }^{\circ}C$ y la máxima de 18.4 a $26.1\text{ }^{\circ}C$. La precipitación pluvial durante la estación de crecimiento de 2008 fue de 908 mm, de los cuales, 451 mm ocurrieron en la etapa vegetativa y 457 mm de la antesis a madurez fisiológica. En 2009 la precipitación en el ciclo del cultivo fue 789 mm, de los cuales 292 mm (37%) cayeron durante la etapa vegetativa y 497 mm (63%) durante la etapa de llenado de grano. En 2008, llovió 13.1% más que en 2009, por lo que en ese año el rendimiento de grano de maíz fue superior respecto a 2009. Según Tollenaar y Aguilera (1992), el REN es influenciado por las condiciones meteorológicas, ya que pueden presentar variaciones de un ciclo de cultivo a otro.

En el Cuadro 1 se observa que hubo diferencias significativas entre años, densidades y cultivares para todas las variables, con excepción de k y RI entre años. Las interacciones no

grain yield (YLD, $g m^{-2}$), grain weight of 10 ears with 14 % moisture and the average was obtained. At the Weather Station of the Faculty of Agricultural Sciences UAEMex, located in the study area, the maximum temperature (T_{max}), minimum (T_{min}), average (T_{avg}), precipitation (PPT) and incident global radiation (GR) were recorded during the crop growth stage, in both years. The crop intercepted radiation (IR); expressed in (%) was measured at male flowering of each treatment with a Li-Cor 191 linear sensor.

This variable was measured at solar noon at ground level. The radiation-use efficiency (RUE) was expressed in intercepted $g MJ^{-1}$ by the formula: $RUE = (YLD/PAR)(IR)$, where YLD is grain yield ($g m^{-2}$), PAR is photosynthetically active radiation accumulated until crop male flowering ($MJ m^{-2}$) and IR is percentage of radiation intercepted by each treatment. The light attenuation coefficient (k) was determined at male flowering according to Beer's law: $F = 1 - \exp(-k LAI)$, where F is the fraction of intercepted radiation, and k is the light attenuation coefficient. A combined analysis of variance was performed including the two years of study, population densities and cultivars and mean comparisons by the Honest Significant Difference ($p < 0.05$) using the SAS Proc GLM statistical package (SAS Institute, 2004).

The average temperature for 2008 was $13.5\text{ }^{\circ}C$ and in 2009 was $14.6\text{ }^{\circ}C$, in both years the minimum temperature ranged from 4.5 to $11\text{ }^{\circ}C$ and the maximum from 18.4 to $26.1\text{ }^{\circ}C$. Rainfall during the 2008 growing season was 908 mm, of which 451 mm occurred in the vegetative stage and 457 mm from anthesis to physiological maturity. In 2009 rainfall in the growing season was 789 mm, of which 292 mm (37%) fell during the vegetative stage and 497 mm (63%) during the grain filling stage. In 2008, it rained 13.1% more than in 2009, thus in that year maize grain yield was higher compared to 2009. According to Tollenaar and Aguilera (1992), YLD is influenced by weather conditions, which can vary from one crop cycle to the next.

Table 1 shows significant differences between years, densities and cultivars for all variables, except for k and IR between years. Interactions were not significant, except for years by densities ($Y \times D$) in LAI and years by cultivars ($Y \times C$) in YLD. This shows similar cultivar behavior between years and densities. The variation coefficient (%) was 1.9 for k and 17.7 for LAI. Cultivars yield was higher in 2008 ($1\ 133\ g m^{-2}$) 16.9% more than in 2009, probably due to higher average number of grains m^{-2} (2 826) and radiation-use efficiency ($0.79\ g MJ^{-1}$).

fueron significativas, con excepción de años por densidades (A×D) en IAF y de años por cultivares (A×C) en REN. Lo anterior muestra que el comportamiento de los cultivares fue semejante entre años y entre densidades. El coeficiente de variación (%) fue 1.9 para k y 17.7 para IAF. El rendimiento de los cultivares fue superior en 2008 (1 133 g m⁻²) en 16.9% al ejercicio 2009, lo cual probablemente se debió al mayor promedio en las variables número de granos m⁻² (2 826) y eficiencia en el uso de la radiación (0.79 g MJ⁻¹).

The best population densities (PD) were 7.8 and 8.9 plants m⁻² (average yield of 1 081 and 1 096 g m⁻² respectively) equivalent to 13.9 % and 15.1 % more than with 6.9 plants m⁻². This could be based on the best averages shown by these population densities in the LAI, IR, k, NG and RUE variables (Table 1). These results do not agree with Cano *et al.* (2001) since in an experiment where fertilization and population density effect was studied in maize under rainfed conditions, the maximum yield was found with a density of

Cuadro 1. Análisis de varianza y separación de medias de tres densidades de siembra y seis cultivares de maíz evaluado en los años 2008 y 2009.

Table 1. Analysis of variance and mean separation of three planting densities and six maize cultivars evaluated in 2008 and 2009.

Factor	IAF	RI (%)	K	NG (m ²)	REN (g m ⁻²)	EUR (g MJ ⁻¹)
Años (A)	*	ns	ns	**	***	***
2008	3.3b	85.1a	0.44a	2826a	1133a	0.79a
2009	3.5a	86.1a	0.44a	2588b	941b	0.52b
DSH _{0.05}	0.17	2.8	0.05	176.8	55.8	0.03
Densidad (D)	***	***	**	***	***	***
6.9 plantas m ⁻²	2.9c	81.8b	0.43c	2360c	931b	0.59c
7.8 plantas m ⁻²	3.5b	86.3a	0.44b	2720b	1081a	0.64b
8.9 plantas m ⁻²	3.8a	88.6a	0.45a	3040a	1096a	0.73a
DSH _{0.05}	0.27	4.2	0.007	268.3	84.6	0.045
Cultivares (C)	***	*	*	***	***	***
'Jiquipilco'	3.8a	86.4ab	0.45b	2791a	1156a	0.74a
'Amarillo'	3.1bc	85.2ab	0.44bc	3069a	1078ab	0.68ab
'Cacahuacintle'	3.8a	89.9a	0.46a	1845b	990b	0.68ab
'Cóndor'	3.2abc	84.2ab	0.43e	2922a	1047ab	0.61bc
'H-50'	3.6ab	86.1ab	0.43cd	2845a	926b	0.62bc
'Z-60'	3.0c	83.6b	0.44bc	2770a	1016b	0.57c
DSH _{0.05}	0.6	5.9	0.009	416.1	127	0.088
A×D	*	ns	ns	ns	ns	ns
A×G	ns	ns	ns	ns	***	ns
D×C	ns	ns	ns	ns	ns	ns
A×D×C	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	17.7	6.9	1.9	15.7	12.6	15.7

****p*≤0.001, ***p*≤0.01, **p*≤0.05, ns: diferencias no significativas; Columnas con la misma letra en cada factor de estudio son estadísticamente iguales (*p*≤0.05); DSH= diferencia significativa honesta; CV= coeficiente de variación

Las mejores densidades de población (DP) fueron 7.8 y 8.9 plantas m⁻² (rendimiento promedio de 1 081 y 1 096 g m⁻², respectivamente) equivalente a 13.9% y 15.1% más que con 6.9 plantas m⁻². Lo anterior pudo ser consecuencia de los mejores promedios presentados por estas densidades de población en las variables IAF, RI, k, NG y EUR (Cuadro 1). Estos resultados no concuerdan con Cano *et al.* (2001) ya que en un experimento donde estudiaron el efecto de la fertilización y densidad de población en maíz bajo condiciones de temporal, encontraron el máximo rendimiento con una densidad de 6.3 plantas m⁻² (520 a 670 g m⁻²). Sin embargo,

6.3 plants m⁻² (520-670 g m⁻²). However, Soltero *et al.* (2010) reported that maize grain yield increased from 1 464 to 1 534 g m⁻², varying from 7.5 to 10.5 the number of plants m⁻². Results from this study suggest an optimal plant density for these genotypes at about 7.8 plants m⁻².

Concerning k, the lowest population density showed the best average (0.43) (Table 1), the interpretation given to this value is that 43% of the intercepted radiation remains in the upper stratus of the plant and 57% is attenuated in the lower strata (Montemayor *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2011). In our study,

Soltero *et al.* (2010) afirmaron que el rendimiento de grano de maíz aumentó de 1 464 a 1 534 g m⁻², al variar de 7.5 a 10.5 el número de plantas m⁻². Los resultados del presente estudio sugieren que la densidad de plantas óptima para estos genotipos en estudio es cerca de 7.8 plantas m⁻².

Respecto al k, la menor densidad de población mostró el mejor promedio (0.43) (Cuadro 1), la interpretación que se da a este valor es que 43% de la radiación interceptada permanece en el estrato superior de la planta y 57% se atenúa en los estratos inferiores (Montemayor *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2011). En nuestro estudio, en las densidades de población más elevadas el valor promedio de k osciló entre 0.44 y 0.45, por lo que hubo un poco menos de penetración de luz en los estratos medio e inferior respecto a la densidad más baja. Díaz *et al.* (2011) en un experimento donde evaluaron la influencia de fósforo sobre el k en maíz en el valle de Toluca, encontraron valores superiores a los reportados en nuestra investigación para ‘Cacahuacintle’, ‘Amarillo’ y ‘Cóndor’ de 0.57, 0.52, 0.62, respectivamente, con una densidad de 7.2 plantas m⁻², las diferencias en los k se atribuyen a la época de estimación de los mismos, ya que estos autores los calcularon a los 95 días después de la siembra.

Entre los cultivares, el REN de ‘Jiquipilco’ (1 156 g m⁻²) superó a ‘Amarillo’ (1 078 g m⁻²) y a los híbridos incluyendo a ‘Cóndor’ (1 047 g m⁻²). Esto se debió a que este criollo presentó los valores más altos en las variables IAF, EUR (3.8 y 0.74 g MJ⁻¹, respectivamente) y un valor aceptable de RI (86.4%). El REN de ‘Amarillo’ y ‘Cóndor’ fue similar y superó a Z-60 (1 016 g m⁻²), ‘Cacahuacintle’ (990 g m⁻²) y ‘H-50’ (926 g m⁻²). Lo anterior se debió al mayor NG por unidad de superficie (3 069) y EUR (0.68 g MJ⁻¹) de ‘Amarillo’ y, al mejor k (0.43) y NG (2 922 m⁻²) de ‘Cóndor’. En contraste a esta investigación, Martínez *et al.* (2010) encontraron un número inferior de NG en ‘Cóndor’ en condiciones de secano en Toluca, México bajo dos fechas de siembra (11-04-2008 y 01-05-2008) el cual osciló entre 1 670 y 2 150 granos m⁻², respectivamente.

La interacción A×D para IAF muestra que en la densidad 6.9 plantas m⁻² varió de 2.7 (2008) a 3.1 (2009), con 7.8 plantas m⁻² fue el mismo (3.5) en ambos años y con 8.9 plantas m⁻² fluctuó de 3.8 (2008) a 3.9 (2009), esto indica, que con las dos últimas densidades el IAF tuvo un comportamiento similar en ambos ciclos de cultivo (Figura 1).

La interacción significativa A×C de maíz para REN (Figura 2) se debió a que ‘Jiquipilco’ y ‘Cacahuacintle’ tuvieron una marcada respuesta al cambiar del año 2008 al 2009, pues su incremento en rendimiento en 2008 fue superior

at the highest population densities, the k average ranged from 0.44 to 0.45, thus there was a little less light penetration in the middle and lower strata relative to the lowest density. Díaz *et al.* (2011) in an experiment evaluating phosphorus influence on k in maize in the Toluca valley, found higher values than those reported in our research for ‘Cacahuacintle’ ‘Amarillo’ and ‘Cóndor’ of 0.57, 0.52 and 0.62, respectively, with a density of 7.2 plants m⁻², the differences in k are attributed to the estimation time, as these authors calculated them 95 days after planting.

Among the cultivars, the YLD for ‘Jiquipilco’ (1 156 g m⁻²) exceeded ‘Amarillo’ (1 078 g m⁻²) and hybrids including ‘Cóndor’ (1 047 g m⁻²). This was because this landrace showed the highest LAI and RUE values (3.8 and 0.74 g MJ⁻¹, respectively) and an acceptable IR value (86.4%). The YLD for ‘Amarillo’ and ‘Cóndor’ was similar and surpassed Z-60 (1 016 g m⁻²), ‘Cacahuacintle’ (990 g m⁻²) and ‘H-50’ (926 g m⁻²). This was due to higher NG per area unit (3 069) and RUE (0.68 g MJ⁻¹) of ‘Amarillo’ and the best k (0.43) and NG (2 922 m⁻²) of ‘Cóndor’. In contrast to this research, Martínez *et al.* (2010) found a lower NG in ‘Cóndor’ under rainfed conditions in Toluca, Mexico under at two planting dates (11-04-2008 and 01-05-2008) which ranged between 1 670 and 2 150 grains m⁻², respectively.

The Y×D Interaction for LAI shows that in 6.9 plants m⁻² ranged from 2.7 (2008) to 3.1 (2009), and with 7.8 plants m⁻² was the same (3.5) in both years and with 8.9 plants m⁻² ranged from 3.8 (2008) to 3.9 (2009), this indicates that in the last two densities LAI had a similar pattern in both crop cycles (Figure 1).

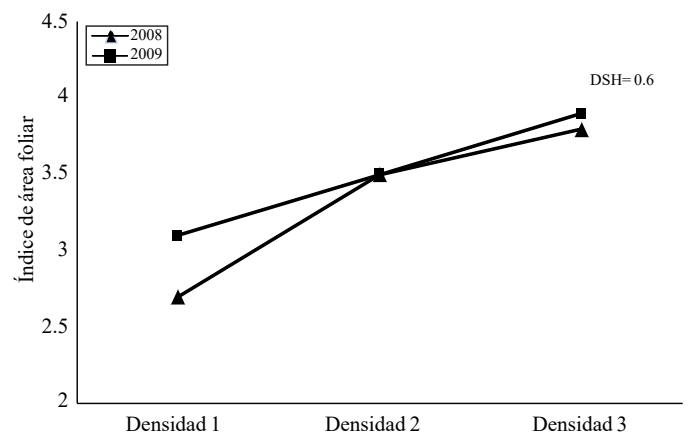


Figura 1. Interacción años × densidad de plantas evaluados en los años 2008 y 2009. Densidad 1, 2 y 3= 6.9, 7.8 y 8.9 plantas m⁻², respectivamente.

Figure 1. Interaction year × plant density evaluated in 2008 and 2009. Density 1, 2 and 3= 6.9, 7.8 and 8.9 plants m⁻², respectively.

al obtenido por ‘Amarillo’, ‘Cóndor’, ‘H-50’ y ‘Z-60’. Sin embargo, en 2009 ‘Cacahuacintle’ bajó ostensiblemente su REN en relación a los demás cultivares. El híbrido ‘Z-60’ fue el que mostró en promedio el potencial de rendimiento más bajo.

En la Figura 2 se aprecia que los materiales criollos redujeron su producción en 2009 (debido principalmente a la menor precipitación pluvial), aunque esta tendencia fue menor en ‘Amarillo’ (1 160.6 g m⁻² en 2008 y 1 054.9 g m⁻² en 2009). Los híbridos tuvieron un comportamiento consistente en ambos años, destacando ‘Cóndor’ con 1 049.3 y 1 033.6 g m⁻² en 2008 y 2009, respectivamente, coincidiendo con lo estudiado por Montemayor *et al.*, 2006.

Literatura citada

- Andrade, F.; L. Echarte, R.; Rizzalli, and Casanovas, M. 2002. Kernel number prediction in maize under nitrogen or water stress. *Crop Sci.* 42:1173-1179.
- Birch, C.; Hammer, G. and Ricker, K. 1999. Dry matter accumulation and distribution in five cultivars of maize (*Zeamays*): relationships and procedures for use in crop modeling. *Aus. J. Agron. Res.* 50:513-527.
- Cano, O.; Tosquy, O. H.; Sierra, M. y Rodríguez, F. A. 2001. Fertilización y densidad de población en genotipos de maíz cultivados bajo condiciones de temporal. *Agron. Mesoam.* 12:199-203.
- Díaz, L. E.; Morales, R. E. J.; Franco, M. O. y Domínguez, L. A. 2011. Coeficiente de atenuación de luz, radiación interceptada, biomasa y rendimiento de maíz en función del fósforo. *Terra Latinoamericana* 29: 65-74.
- García, E. 2005. Modificaciones al sistema de clasificación climática 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, E. 2007. Diversidad fenotípica del maíz Cacahuacintle en el valle de Toluca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29:255-261.
- Maddoni, G. and Otegui, M. 1996. Leaf area, light interception and crop development in maize. *Field Crops Res.* 48:81-87.
- Martínez, R. C. G.; Estrada, C. G.; Beltrán, G. V.; Ortega, R. G.; y Contreras, R. A. 2010. Contenido de agua en el grano y capacidad potencial de demanda en híbridos de maíz para valles altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 33:95-100.
- Montemayor, A.; Zermeño, A.; Olague, A.; Aldaco, R.; Fortis, M.; Salazar, E.; Rodríguez, C. y Vázquez, C. 2006. Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar. *Phyton* 75:47-53.

The Y × C significant interaction in maize for YLD (Figure 2) was due to the ‘Jiquipilco’ and ‘Cacahuacintle’ marked response which changed from 2008 to 2009, as their yield increase in 2008 was higher than in ‘Amarillo’, ‘Cóndor’, ‘H-50’ and ‘Z-60’. However, in 2009 ‘Cacahuacintle’ YLD dropped remarkably with respect to the other cultivars. On average, the ‘Z-60’ hybrid showed the lowest yield potential.

Figure 2 shows that landraces production dropped in 2009 (mainly due to lower rainfall), although this trend was lower in ‘Amarillo’ (1 160.6 gm⁻² in 2008 and 1 054.9 gm⁻² in 2009). Hybrids had a consistent behavior in both years, highlighting ‘Cóndor’ with 1 049.3 to 1 033.6 gm⁻² in 2008 and 2009 respectively, consistent with Montemayor *et al.*, 2006.

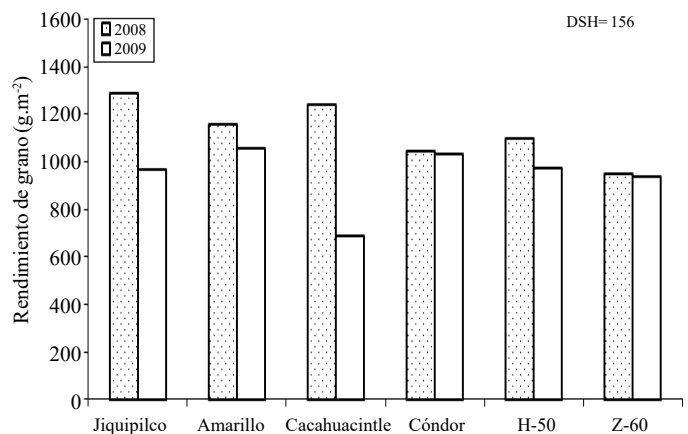


Figura 2. Interacción años × genotipos de maíz evaluados en los años 2008 y 2009.

Figure 2. Interaction year × maize genotype evaluated in 2008 and 2009.

End of the English version



- Morales, R. E. J.; Franco, M. O. and González, H. A. 2011. Snap bean production using sunflowers as living trellises in the central high valleys of Mexico. *Ciencia e Investigación Agraria* 38(1): 53-63.
- Statistical Analysis System (SAS Institute). 2004. *SAS/STAT User's Guide, Version 8.02*. SAS Institute, Inc. Cary NC, USA. 479 p.
- Soltero, D. L.; Garay, L. C. y Ruíz, C. J. A. 2010. Respuesta en rendimiento de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidad de plantas. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1:149-158.
- Tollenaar, M. and Aguilera, A. 1992. Radiation use efficiency of and a new maize hybrid. *Agron. J.* 84:536-541.