

RENDIMIENTO DE GRANO DE GENOTIPOS DE MAÍZ SEMBRADOS BAJO TRES DENSIDADES DE POBLACIÓN

Grain yield of maize genotypes grown at three population densities

E de la Cruz-Lázaro ✉, H Córdova-Orellana, MA Estrada-Botello, JD Mendoza-Palacios, A Gómez-Vázquez, NP Brito-Manzano

(ECL) (MAEB) (JDMP) (AGV) (NPBM) División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Kilómetro 25 Carretera Villahermosa-Teapa, Centro, Tabasco, México. efraín.delacruz@daca.ujat.mx
(HCO) Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Apartado postal 6-641, Código Postal 06600, Distrito Federal, México

Artículo recibido: 20 de diciembre de 2007, **aceptado:** 8 de septiembre de 2008

RESUMEN. Con el objetivo de determinar el efecto de la densidad de población sobre el rendimiento de grano de nueve genotipos de maíz (*Zea mays* L.) tropical, se condujo en 2005 un estudio en el campo experimental de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco en el municipio de Centro, Tabasco. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones. En las parcelas grandes se establecieron las densidades de población de 44 289, 53 200 y 66 500 plantas ha⁻¹, y en la parcela chica se establecieron las poblaciones de maíz: población 21, 22, 23, 25, 32, 43, 49, híbrido HS-3G y variedad VS-536. Hubo diferencias significativas entre densidades sólo para rendimiento de grano ($p < 0.01$), en genotipos para altura de planta ($p < 0.01$), altura de mazorca ($p < 0.01$), días a floración ($p < 0.01$) y rendimiento de grano ($p < 0.01$). La densidad de 66 500 plantas ha⁻¹ presentó el mayor rendimiento de grano ($p < 0.05$). La interacción entre población y densidad no fue significativa. Los genotipos de mayor rendimiento de grano fueron: población 21, 23, 25, 43 y HS-3G.

Palabras clave: *Zea mays* L., poblaciones, días a floración.

ABSTRACT. The objective of this study was to determine the effect of the population density on the grain yield of nine tropical maize genotypes (*Zea mays* L.). A study was conducted in 2005 at the experimental station of the Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Centro municipality, Tabasco. A randomized complete block experimental design with four replicates and a split plot arrangement was used. The big plots contained population densities of 44 289, 53 200 and 66 500 plants ha⁻¹, and the small plot contained population densities of 21, 22, 23, 25, 32, 43, 49, the HS-3G hybrid and the VS-536 variety. Significant differences among densities were recorded only for grain yield ($p < 0.01$), genotypes for plant height ($p < 0.01$), ear height ($p < 0.01$), and days to flowering ($p < 0.01$). The density of 66 500 plants ha⁻¹ presented the greatest grain yield ($p < 0.05$). The interaction between population and density was non significant. The genotypes with the best grain yield were populations 21, 23, 25, 43 and HS-3G.

Key words: *Zea mays* L., populations, days to flowering.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura mesoamericana de milpa, los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) tienen densidades entre 30 000 y 60 000 plantas ha⁻¹ (van Der-Wal *et al.* 2006). En el trópico húmedo mexicano se siembran más de tres millones de hectáreas de maíz, de las cuales en el estado de Tabasco se ha registrado una superficie de siembra de aproximadamente

100 000 ha con un rendimiento medio de 1 800 kg ha⁻¹ (Tinoco *et al.* 2002). Esta baja productividad se ha asociado con el reducido uso de semilla mejorada, ya que la producción en más del 70 % de la superficie es de autoconsumo (Barrón 2006). Otro factor que afecta la producción es la baja densidad de población utilizada para la siembra de variedades criollas (43 000 plantas ha⁻¹) y para variedades mejoradas de porte bajo e intermedio (62 500 plantas

ha⁻¹) (Tinoco *et al.* 2002).

La densidad de población, es considerada como el factor controlable más importante para obtener mayores rendimientos en los cultivos. En el maíz ejerce alta influencia sobre el rendimiento de grano y las características agronómicas, pues el rendimiento de grano se incrementa con la densidad de población, hasta llegar a un punto máximo y disminuye cuando la densidad se incrementa más allá de este punto (Sangoi 2000). La densidad de población es uno de los factores que frecuentemente modifica el productor para incrementar el rendimiento de grano, pero no siempre establece la densidad adecuada. Si el productor utiliza una densidad de población mayor que la óptima, incrementa la competencia por luz, agua y nutrimentos, lo que ocasiona reducción en el volumen radical, número de mazorcas, cantidad y la calidad del grano por planta, e incrementa la frecuencia de pudriciones de raíz y tallo, lo que propicia acame (Maya & Ramírez 2002). Por el contrario, las densidades de población bajas provocan problemas con maleza o de desperdicio de suelo (Njoka *et al.* 2005).

La relación entre la producción de grano y la densidad de población es compleja, ya que la mejor respuesta en rendimiento de grano varía de acuerdo a la condición de suelo, clima, prácticas culturales y genotipo (Pinter *et al.* 1994; Sangoi 2000). El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) sugiere densidades óptimas de siembra de 65 000 plantas ha⁻¹ para genotipos tropicales de maíz que tengan una altura de planta superior a los 2.4 m (Violic 2001). Trabajos realizados sobre densidades de población en híbridos de maíz bajo temporal en el trópico húmedo demostraron que al aumentar la densidad de 50 000 a 62 500 plantas ha⁻¹ obtuvieron el mayor rendimiento de grano, ya que el rendimiento se incrementó en 0.30 t ha⁻¹ (Cano *et al.* 2001). También, Carrera & Cervantes (2006) reportaron que el rendimiento aumentó 0.6 t ha⁻¹ al incrementar la densidad de población de 60 000 a 70 000 plantas ha⁻¹. Varios estudios indicaron que el maíz difirió en su respuesta a la densidad de población en función del genotipo y de las condiciones ambientales (Sener *et al.* 2004). Sin embargo, la respuesta de las poblaciones de maíz tropical a

la densidad de población cuando son sembradas bajo temporal en el trópico húmedo tabasqueño es un hueco a resolver. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la densidad de población sobre el rendimiento de grano de poblaciones tropicales de maíz, lo cual permitirá identificar la densidad y el genotipo idóneo para obtener el mayor rendimiento de grano bajo condiciones de temporal en el trópico húmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el ciclo primavera - verano de 2005, en el campo experimental de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicada a una altitud de 19.7 m en el kilómetro 25 de la carretera Villahermosa-Teapa, del Municipio del Centro, Tabasco (92° 57' 15" y 92° 57' 30" O - 17° 47' 30" y 17° 47' 15" N). El suelo del área de estudio es un luvisol crómico con clima Am(f)'(i)g, con altas precipitaciones en verano (García 1970) y precipitación y temperatura media anual de 2500 a 3000 mm y de 24 a 25 °C, respectivamente.

Nueve genotipos de maíz fueron utilizados, de los cuales siete son poblaciones tropicales del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y dos genotipos comerciales como testigos. Las poblaciones fueron: 21, 22, 23, 25, 32, 43 y 49, las cuales están descritas en la lista de germoplasma de maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (Anónimo 1998). La variedad comercial VS-536 del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el híbrido HS-3G de la empresa Cristiani Burkard fueron los testigos.

La preparación del área de siembra se realizó por medio de chapeo, un paso de arado, y dos pasos de rastra para desmoronar los terrones grandes y facilitar la siembra. La siembra se realizó el 11 de junio de 2005, bajo condiciones de temporal. Los nueve genotipos fueron evaluados bajo un diseño experimental de bloques completo al azar con cuatro repeticiones, en arreglo de parcelas divididas, donde la parcela mayor correspondió a las densidades y la menor a los genotipos. El tamaño de la parcela ex-

Tabla 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de nueve genotipos tropicales de maíz sembrados bajo tres densidades de población. REND = rendimiento de grano, AP = altura de planta, AM = altura de mazorca, DF = días a floración, CV = coeficiente de variación, * ($p \leq 0.05$), ** ($p \leq 0.01$).

Table 1. Mean square values for the analysis of variance of nine tropical maize genotypes grown at three population densities. REND = grain yield, AP = plant height, AM = ear height, DF = days to flowering, CV = coefficient of variation, *($p \leq 0.05$), **($p \leq 0.01$).

F V	REND	AP	AM	DF
Densidad	8 269 971.70**	145.89	91.81	4.15
Genotipo	2 020 606.83**	2 641.34**	1 292.71**	30.23**
Densidad × genotipo	470 549.28	97.55	33.97	2.35
CV	17	3.70	6.40	2.40

perimental fue de cuatro surcos de 4 m de longitud espaciados a 0.75 m, con distancias entre plantas de 0.2, 0.25 y 0.3 m, que equivalen a densidades de 66 500, 53 200 y 44 289 plantas ha^{-1} . Como parcela útil se utilizaron los dos surcos centrales de cada unidad experimental.

El control de malezas y aporque se realizó de forma manual a los 35 días después de la siembra. A los 25 días después de la siembra se aplicó Lorsban*480 EM con dosis de 0.75 L ha^{-1} para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). La fertilización se realizó con la fórmula 120 - 60 - 30 (N, P y K, respectivamente). La mitad del nitrógeno y del potasio, y todo el fósforo se aplicó a los 25 días después de la siembra, mientras que la mitad restante del nitrógeno y del potasio se aplicó a los 30 días después de la primera aplicación. Como fuente de nitrógeno, se usó urea (46 - 00 - 00); de fósforo, el fosfato diamónico (18 - 46 - 00); y de potasio, el cloruro de potasio (00 - 00 - 60).

Las variables medidas en 10 plantas de la parcela útil fueron: altura de planta (AP), distancia en metros desde la superficie del suelo al punto superior de la espiga, altura de mazorca (AM), distancia en metros desde la superficie del suelo al nudo de inserción de la mazorca principal. Los días a floración (DF) se determinaron con base en los días transcurridos desde la siembra, hasta que el 50 % de las plantas se encontraron en anthesis. El rendimiento de grano por hectárea (REND) se calculó con base en el rendimiento por parcela, al multiplicar el peso de grano de las mazorcas cosechadas en la parcela útil, por su respectivo factor de superficie y ajustar al 15 % de humedad (Mejía & Molina 1999). El peso

del grano de las mazorcas cosechadas en la parcela útil se midió con una balanza marca Ohaus modelo Scout Pro SP6000 con precisión de ± 1 g. Los datos se analizaron con el paquete estadístico SAS de acuerdo al diseño experimental utilizado y la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey (0.05).

RESULTADOS

La precipitación pluvial fue de 806 mm, de la cual 409 mm se registraron durante la fase vegetativa, 271 mm durante la fase reproductiva y 126 mm durante la fase de llenado de grano. La densidad de población afectó significativamente el rendimiento de grano ($p < 0.01$). Para la fuente de variación genotipo se estimaron diferencias estadísticas ($p < 0.01$) para las cuatro variables evaluadas. Mientras que la interacción densidad × genotipo no presentó diferencias estadísticas en ninguna de las variables evaluadas (Tabla 1).

El rendimiento de grano osciló entre 3 072 y 4 253 $kg ha^{-1}$. Los mayores rendimientos de grano se obtuvieron en los genotipos población 43, testigo (HS-3G), población 21, población 25 y población 23 (Tukey; $p < 0.05$). Mientras que el menor rendimiento lo presentó la variedad testigo VS-536. La altura de mazorca varió entre 0.92 y 1.23 m. La mayor altura de mazorca se registró en la variedad testigo VS-536. Mientras, que la menor altura de planta y de mazorca la presentó la población 49. La floración osciló entre 52 y 57 días. La mayor precocidad se presentó en el testigo híbrido HS-3G. En tanto, que el genotipo más tardío fue la población

21 con 57 días a floración (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio de nueve genotipos tropicales de maíz sembrados bajo tres densidades de población. REND = rendimiento de grano, AP = altura de planta, AM = altura de mazorca, DF = días a floración. Promedios con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales (Tukey; $p < 0.05$).

Table 2. Average values of nine tropical maize genotypes grown at three population densities. REND = grain yield, AP = plant height, AM = ear height, DF = days to flowering. Averages followed by the same letter in the columns are statistically equal (Tukey; $p < 0.05$).

Genotipo	REND	AP	AM	DF
Población 43	4 253 ^a	2.83 ^a	1.18 ^{ab}	55 ^b
HS-3G	4 206 ^a	2.77 ^{ab}	1.21 ^a	52 ^d
Población 21	3 978 ^{ab}	2.51 ^d	1.06 ^{cde}	57 ^a
Población 25	3 900 ^{abc}	2.58 ^{cd}	0.99 ^{ef}	53 ^{cd}
Población 23	3 890 ^{abc}	2.75 ^{ab}	1.15 ^{abc}	54 ^{bc}
Población 49	3 490 ^{bcd}	2.35 ^e	0.92 ^f	54 ^{bc}
Población 22	3 403 ^{cd}	2.61 ^{cd}	1.11 ^{bcd}	54 ^{bc}
Población 32	3 366 ^d	2.57 ^{cd}	1.05 ^{de}	55 ^b
VS536	3 072 ^d	2.69 ^{ab}	1.23 ^a	55 ^b
Media	3 729	2.63	1.10	54

El rendimiento de grano fue la única variable que registró diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$) entre densidades de población (Tabla 3), el cual presentó el rendimiento de grano máximo en la densidad de 66 500 plantas ha^{-1} con 4 251 $kg ha^{-1}$. Este rendimiento resultó significativamente diferente (Tukey; $p < 0.05$) a los rendimientos obtenidos en las otras dos densidades de población. Mientras que las variables altura de planta, altura de mazorca y días a floración no presentaron diferencias significativas entre densidades de población (Tabla 3).

DISCUSIÓN

La precipitación pluvial registrada durante el desarrollo del cultivo (806 mm) está dentro del intervalo adecuado (500 a 1 000 mm) para el cultivo de maíz en el trópico húmedo (Norman et al. 1995; Tinoco et al. 2002). Bajo las condiciones del presente estudio, el incremento en densidad de 44 289 a 66 500 plantas ha^{-1} aumentó el rendimiento de grano en 941 $kg ha^{-1}$ (28.4%). Este incremento fue similar al encontrado en otros estudios, en los cuales se observaron aumentos del rendimiento de grano en densidades superiores a 50 000 plantas ha^{-1} (Cano

et al. 2001; Violic 2001; Carrera & Cervantes 2006). Aunque en este estudio, los incrementos resultaron superiores a los 300 y 600 $kg ha^{-1}$ mencionados por Cano et al. (2001) y Carrera & Cervantes (2006). La carencia de respuesta de la altura de planta y mazorca, así como días a floración al aumento de densidad de población resultó similar a la reportada por Khan et al. (2003).

Los mayores rendimientos se obtuvieron en los genotipos población 43, testigo (HS-3G), población 21, población 25 y población 23, con rendimientos de 4 253 a 3 890 $kg ha^{-1}$. Los resultados indicaron que las poblaciones sobresalientes obtuvieron rendimientos estadísticamente iguales al híbrido HS-3G y superiores a la variedad comercial VS-536. Asimismo, los rendimientos fueron similares a los obtenidos por 14 híbridos trilineales evaluados bajo condiciones de temporal en el Campo Experimental Huamanguillo, Tabasco del INIFAP (Sierra et al. 2005). Lo anterior reflejó el alto potencial de rendimiento que tienen las poblaciones 21, 23, 25 y 43, y su ventaja respecto a los híbridos y a la variedad comercial, ya que por su condición genética no se requiere realizar la compra de semilla en cada ciclo de cultivo.

Tabla 3. Efecto de la densidad de población sobre las características de rendimiento de grano de nueve genotipos tropicales de maíz. REND = rendimiento de grano, AP = altura de planta, AM = altura de mazorca, DF = días a floración. Promedios con la misma letra en columnas son estadísticamente iguales (Tukey; $p < 0.05$).

Table 3. Population density effect on grain yield characteristics in nine tropical maize genotypes. REND = grain yield, AP = plant height, AM = ear height, DF = days to flowering. Averages followed by the same letter in the columns are statistically equal (Tukey; $p < 0.05$).

Densidad	REND	AP	AM	DF
44 289	3 310 ^b	262 ^a	110 ^a	55 ^a
53 200	3 622 ^b	262 ^a	109 ^a	55 ^a
66 500	4 251 ^a	265 ^a	112 ^a	54 ^a

Para la variable días a floración, se detectó que solamente la población 25 fue estadísticamente igual al híbrido HS-3G con 52 días. Las poblaciones 21, 23 y 43 fueron más tardías que el híbrido HS-3G de 2 a 5 días. Sin embargo, todos los genotipos evaluados tuvieron una precocidad menor de 60 días a floración, lo que es deseable para el trópico húmedo

(Tosquy *et al.* 2005).

En la evaluación de genotipos de maíz es importante considerar, además del rendimiento de grano, la altura de planta y mazorca. Los genotipos evaluados tuvieron altura de planta y de mazorca media de 2.63 y de 1.10 m, respectivamente, las cuales están dentro de los valores reportados por Tosquy *et al.* (2005) en las siembras realizadas en el ciclo primavera - verano. Entre los genotipos sobresalientes en rendimiento de grano hubo diferencias significativas con alturas de planta de 2.51 a 2.83 m y de 0.99 a 1.18 m en altura de mazorca, lo cual indica que estas características agronómicas tuvieron poca relación con el rendimiento de grano en este estudio.

Debido a que no se presentó una disminución del rendimiento de grano con el aumento de la den-

sidad de población, no se determinó en el presente estudio la densidad de población óptima. Lo que infiere que los genotipos evaluados han sido mejorados para soportar mayores densidades de población. Por ello, se sugiere realizar una exploración más amplia de densidad de población en próximos estudios con las poblaciones sobresalientes.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por el financiamiento parcial otorgado a través del proyecto con clave PROMEP/103.5/04/2582 y al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo por aportar las poblaciones que se utilizaron en el presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Anónimo (1998) Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Maize germoplasm listing. Disponible en: <http://www.cimmyt.org/research/maize/germplamlist/htm/gerplamslist.htm>. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2006.
- Barrón FS (2006) Evaluación agronómica de híbridos y variedades de maíz con riegos de auxilio en el ciclo tonalmil en Huimanguillo, Tabasco. En: Báez RUA, Sánchez DD, López AN, Báez CFA (eds) Memoria XIX Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria Tabasco 2006. Publicación Especial. INIFAP. Villahermosa. 530 pp.
- Cano O, Tosquy OH, Sierra M, Rodríguez FA (2001) Fertilización y densidad de población en genotipos de maíz cultivados bajo condiciones de temporal. *Agronomía Mesoamericana* 12: 199-2003.
- Carrera VJA, Cervantes ST (2006) Respuesta de la densidad de población de cruza de maíz tropical y subtropical adaptadas a valles altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 331 - 338.
- García E (1970) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía, UNAM, México. 235 pp.
- Khan K, Idbal M, Shah Z, Ahmad B, Azim A, Sher H (2003) Grain and stover yield of corn with varying times of plant density reduction. *Pak. J. Biol. Sci.* 6: 1641-1643.
- Maya LJB, Ramírez DJL (2002) Respuesta de híbridos de maíz a la aplicación de potasio en diferentes densidades de población. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(4): 333-338.
- Mejía CJA, Molina GJD (1999) Comparación de procedimientos para la conversión a rendimiento por hectárea en la evaluación de variedades tropicales de maíz. *Agrociencia* 33: 159-163.
- Njoka EM, Muraya M, Okumo M (2005) Plant density and thinning regime effect on maize (*Zea mays*) grain and fodder yield. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 44: 1215-1219.
- Norman MJT, Pearson CJ, Searle PGE (1995) The ecology of tropical food crops. Cambridge University Press. New York, NY. 430 pp.

- Pinter L, Afoldi Z, Burucs Z, Paldi E (1994) Feed value of forage maize hybrids varying in tolerance to plant density. *Agron. J.* 86: 799-804.
- Sangoi L (2000) Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciencia Rural, Santa Maria.* 31(1): 159-158.
- Sener O, Gozubenli H, Konuskan O, Kiline M (2004) The effects of intra-row spacings on the grain yield and some agronomic characteristics of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Asian J. of Plant Sci.* 3: 429-432.
- Sierra MM, Palafox CA, Espinosa CA, Caballero HF, Rodríguez MF, Barrón FS, Valdivia BR (2005) Adaptabilidad de híbridos triples de maíz y de sus progenitores para la región tropical del sureste de México. *Agronomía Mesoamericana* 16: 13-18
- Tinoco ACA; Rodríguez MFA; Sandoval RJA; Barrón FS; Palafox CA; Esqueda EVA; Sierra MM; Romero MJ (2002) Manual para la Producción de Maíz para los Estados de Veracruz y Tabasco. Libro Técnico Núm. 9. Campo Experimental Papaloapan. INIFAP. CIRGOC. Veracruz, México. 113 pp.
- Tosquy VOH, Palafox CA, Sierra MM, Zambada MA, Martínez MC, Granados RG (2005) Comportamiento agronómico de híbridos de maíz en dos municipios de Veracruz, México. *Agron. Mesoam.* 16: 7-12.
- Van Der-Wal H, Golicher JD, Caudillo-Caudillo S, Vargas-Domínguez M (2006) Plant densities, yields and area demands for maize under shifting cultivation in the Chinantla, México. *Agrociencia* 40: 449-460.
- Violic AD (2001) Manejo integrado de cultivos. En: *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción.* Paliwal RL, Granados G, Lafitte HR, Violic AD (eds) FAO, Roma. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s22.htm#P0_0. Fecha de consulta: 14 de febrero de 2008.