



COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DEL MAÍZ TROPICAL DOSMESANO NATIVO DE TABASCO, MÉXICO BAJO DIFERENTES DENSIDADES DE SIEMBRA

AGRONOMIC PERFORMANCE OF BIMONTHLY TROPICAL MAIZE NATIVE TO TABASCO, MEXICO UNDER DIFFERENT POPULATION DENSITIES

Juan S. Ramírez-Gómez¹, Roberto de la Rosa-Santamaría^{2*},
 Salvador Miranda-Colín¹, J. Jesús García-Zavala¹, José A. Mejía-Contreras³,
 Armando García-Velázquez¹ y Luis M. Vargas-Villamil²

¹Colegio de Postgraduados (CP), Campus Montecillo, PREGEP-Genética, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ²CP, Campus Tabasco, Producción Agroalimentaria en el Trópico, H. Cárdenas, Tabasco, México. ³CP, Campus Montecillo, PREGEP-Producción de Semillas, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia (robodelarosas@colpos.mx)

RESUMEN

El maíz dosmesano (*Zea mays* L.) es un tipo de maíz nativo utilizado en el sistema milpa de Tabasco, México, apreciado por su calidad de tortilla y por su gran adaptación a las condiciones del trópico mexicano. Es necesario generar recomendaciones de manejo agronómico para mejorar su aprovechamiento. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial productivo del maíz tropical dosmesano nativo de Tabasco, México bajo diferentes densidades de población, generadas con variantes de arreglos topológicos de distancia entre surcos (0.8 y 1.0 m), distancia entre matas (0.20 y 0.25 m) y número de semillas por mata (una y dos); adicionalmente, se incluyeron un testigo regional (TR) a 1.0 m entre surcos, 1.0 m entre matas y cuatro semillas/mata, y otro modificado (TRM) con 0.8 m entre surcos, 1.0 m entre matas, cuatro semillas/mata. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, con arreglo factorial de tratamientos. Se registraron las variables días después de la siembra a 50 % de floración masculina (50 % FM) y 50 % de floración femenina (50 % FM), altura de mazorca (AM, cm), altura de planta (AP, cm), relación AP/AM, porcentaje de acame (PA), relación (AP/AM)/PA, porcentaje de plantas jorras (PPJ), porcentaje de prolificidad (PP) y rendimiento de grano (RG, kg ha⁻¹). Se detectó interacción significativa de distancia entre surcos × número de semillas/mata para RG ($P \leq 0.01$) y PPJ ($P \leq 0.01$). El mayor RG (3869 kg ha⁻¹) se observó en 1.0 m de distancia entre surcos y dos semillas por mata, con 80,000 plantas ha⁻¹, y superó a TR que rindió 2198 kg ha⁻¹. El mayor PPJ, 73 %, se observó en distancia entre surcos de 0.8 m y dos semillas por mata. Hubo triple interacción significativa en AP ($P \leq 0.01$) y AM ($P \leq 0.01$), ambas con distancia entre surcos de 0.8 m, distancia entre matas de 0.2 m y una semilla por mata, con media de 2.67 y 1.26 m, respectivamente. Existió efecto simple significativo del número de semillas por mata para PP ($P \leq 0.05$), con 17 y 4 %, con una y dos semillas por mata, respectivamente. No se detectaron efectos significativos para 50 % FM, 50 % FF, PA, en la relación AP/AM y (AP/AM)/PA ($P > 0.05$). El RG observado indica alto potencial del cultivo bajo alta densidad poblacional, en comparación con el sistema tradicional de siembra.

Palabras clave: *Zea mays*, densidad poblacional, interacción, maíz nativo tropical, rendimiento de grano.

SUMMARY

Bimonthly maize (*Zea mays* L.) is a type of native maize used in the milpa system of Tabasco, Mexico. This maize is appreciated for its tortilla quality and great adaptation to the conditions of the Mexican tropics. Recommendations

for its agronomic management need to be created to improve its use. This study evaluated the productive potential of bimonthly tropical maize native to Tabasco, Mexico at different populations densities created by alteration of the distance between rows (0.8 and 1.0 m), the distance between hills (0.20 and 0.25 m) and the number of seeds per hill (one and two). A regional control (RC) at 1.0 m between rows, 1.0 m between hills and four seeds per hill, as well as a modified control at 0.8 m between rows, 1.0 m between hills and four seeds per hill were included. A randomized complete block experimental design with three replications was used, with a factorial arrangement of treatments. The recorded traits were days to 50 % anthesis (50 % A) and 50 % silking (50 % S) after planting, ear height (EH, cm), plant height (PH, cm), PH/EH ratio, lodging percentage (LP), (PH/EH)/LP ratio, barren plants percentage (BPP), prolificacy percentage (PP) and grain yield (GY, kg ha⁻¹). A significant interaction of distance between rows × seeds per hill was detected for GY ($P \leq 0.01$) and BPP ($P \leq 0.01$). The highest GY, 3836 kg ha⁻¹, was observed at 1.0 m distance between rows and two seeds per hill, with 80,000 plants ha⁻¹, which exceeded RT controls yield of 2198 kg ha⁻¹. The highest BPP, 73 %, was observed in rows at 0.80 m and two seeds per hill. There was significant triple interaction for PH ($P \leq 0.01$) and EH ($P \leq 0.05$), both in rows at 0.80 m, 0.20 m between plants, and one seed per hill, with mean 2.67 and 1.26 m, respectively. There was a significant simple effect of seed number per hill for PP ($P \leq 0.05$), with 17 and 4 % for one and two seeds per hill, respectively. No significant effects were detected for 50 % A, 50 % S, LP, and the PH/EH and (PH/EH)/LP ratios ($P > 0.05$). The observed GY indicates a high potential for the crop under high population density, compared to the traditional planting system.

Index words: *Zea mays*, grain yield, interaction, native tropical maize, population density.

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento para incrementar el rendimiento de grano en variedades comerciales de maíz (*Zea mays* L.) es atribuido en gran parte a su tolerancia al estrés, donde la capacidad para desarrollarse entre elevadas densidades poblacionales se ha convertido en un factor clave para incrementar su productividad (Testa et al., 2016; Tollenaar y Wu, 1999; Troyer y Rosenbrook, 1983). Esto ha sido acompañado por un sistema de selección que incluye tolerancia al acame, reducción en la altura de planta y

mazorca, así como reducción en el ángulo de inserción foliar, con diferentes efectos, principalmente al incrementar la capacidad del dosel del cultivo para capturar recursos que incluyen radiación solar (Jia et al., 2018); en contraste, la alta densidad poblacional incrementa también la competencia entre plantas por luz, agua y nutrientes, estimula la dominancia apical e induce la presencia de plantas jorras (Abuzar et al., 2011; Subedi et al., 2006), lo cual reduce el rendimiento de grano por planta (Jia et al., 2018; Testa et al., 2016; Tollenaar y Wu, 1999); no obstante, dicho rendimiento se compensa con el mayor número de plantas bajo cultivo (Testa et al., 2016).

Mientras en el escenario mundial existe la tendencia hacia sistemas de alta productividad de maíz con genotipos adaptados a mayores densidades poblacionales y optimización de insumos, en los sistemas tradicionales de producción de la región cálido húmeda, donde se ubica el estado de Tabasco, México, persiste el cultivo de maíz con bajas densidades con base en variedades nativas que son utilizadas en el sistema milpa, dependiente de la lluvia, y donde se combinan diferentes especies hortícolas, frutales y forestales. En estos agrosistemas el maíz enfrenta factores de estrés que obligan a diseñar esquemas de mejoramiento del sistema de siembra y del cultivo que respondan a las condiciones locales de producción, cuyos rendimientos oscilan alrededor de 1.90 t ha⁻¹ (SIAP, 2019).

El maíz dosmesano es uno de los tipos nativos utilizados en el sistema milpa de Tabasco, el cual es apreciado por su calidad de tortilla (Jiménez-Juárez et al., 2012), su tolerancia a los excesos de humedad durante la época de lluvias y nortes, y su tolerancia al estrés por las altas temperaturas y la escasez de agua durante la época de sequía; además, alberga gran diversidad genética y fenotípica, destaca la tolerancia a enfermedades causadas por hongos y otros patógenos del maíz, y la competencia por luz que se genera en los sistemas agroforestales donde se cultiva. También presenta plantas que producen más de una mazorca y plantas de porte alto con potencial forrajero debido a su abundante follaje, característica que ha sido observada en otros estudios con maíces nativos (Sánchez-Hernández et al., 2011; Subedi et al., 2006).

La arquitectura de la planta del maíz dosmesano difiere de los híbridos y ofrece amplio potencial de rendimiento. Como ocurre en los maíces nativos, un incremento en el ángulo foliar resulta en una distribución más uniforme de la radiación solar sobre el dosel del cultivo (Crosbie y Mock, 1981; Duvick, 1997) y una rápida cobertura de la superficie del suelo, que favorece la captación y uso más eficiente de la luz. La situación anterior obliga a estudiar el arreglo topológico del cultivo mediante evaluaciones del efecto de la densidad poblacional sobre el desarrollo y productividad

de éste. Una densidad poblacional menor a la óptima retrasará el cierre del cultivo y disminuirá la intercepción de la radiación solar durante la época de crecimiento, por lo que un rápido desarrollo del dosel y cierre del cultivo puede ser crucial para optimizar la captura de la radiación solar (Westgate et al., 1997).

El presente estudio se planteó con el objetivo de evaluar el comportamiento agronómico de una población de maíz nativo tropical en diferentes densidades de siembra y arreglos topológicos, para conocer su potencial de rendimiento y de integración en un sistema de alta productividad, que eventualmente puede ser optimizado mediante un proceso de mejoramiento genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

La investigación se llevó a cabo en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en las coordenadas geográficas de 17° 99' N y 93° 63' O. El clima predominante es Am, con temperatura media anual de 26 1°C, precipitación media anual de 2277 mm (García, 2004), con altitud de 19 msnm (INEGI, 2016) y suelo cambisol serie gamas (Palma-López et al., 2017).

Material genético

El germoplasma utilizado en la presente investigación es conocido en la subregión de la Chontalpa, Tabasco, como dosmesano debido a que puede iniciar la producción de elote dos meses después de la siembra. La semilla se colectó con un productor cooperante, como grano, en enero de 2016; de color blanco y con olate delgado, con características de mazorca que podrían relacionarlo con la raza Tuxpeño; sin embargo, no se identificó formalmente el grupo racial al que pertenece.

Previo al desarrollo del estudio, la semilla fue reproducida durante tres ciclos en lotes de 800 a 1000 m², bajo una densidad de población de 62,500 plantas por hectárea, polinizadas libremente. En cada ciclo, se seleccionaron visualmente de 2000 a 2500 mazorcas sanas y productivas como progenitores de la siguiente generación.

Diseño de tratamientos

Los tratamientos se estudiaron como un diseño factorial 2³, que derivó de las combinaciones de tres factores de variación cada uno con dos niveles: distancia entre surcos (0.8 y 1.0 m), distancia entre matas (0.2 y 0.25 m) y número de semillas por mata (una y dos); adicionalmente, se incluyó un testigo regional (TR) y un testigo regional modificado

(TRM). El TR es la manera tradicional en la que el cultivo es sembrado en la región de estudio, consiste en sembrar a una distancia de 1.0 m entre surcos y 1.0 m entre matas, con cuatro semillas por mata; el TRM consistió en sembrar a una distancia de 0.8 m entre surcos, 1.0 m entre matas y cuatro semillas por mata (Cuadro 1).

Diseño experimental

Los tratamientos se establecieron en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones; la unidad experimental consistió en cuatro surcos con una longitud de 5 m y la parcela útil fueron los dos surcos centrales, en los que no se contabilizó la planta de cada extremo; la distancia entre surcos y entre matas se ajustó según el tratamiento, para obtener la densidad poblacional correspondiente.

Establecimiento y manejo agronómico del experimento

La preparación del terreno consistió en dos pasos de rastra, el segundo perpendicular al primero a una profundidad de 20 cm. La siembra se realizó manualmente el 22 de febrero de 2016, en una época que depende de la humedad residual y de la lluvia que se presenta en el área (Ruiz-Álvarez *et al.*, 2012). La semilla se colocó a una profundidad de 5 a 10 cm.

A los 15 días después de la siembra (dds) se aplicaron 5 kg de la mezcla 1:1 de urea y triple 17 en la base del surco, con aspersora de mochila, diluidos en 20 L de agua. Durante el desarrollo vegetativo se fertilizó tres veces vía foliar con Polyfeed 17-17-17®, en una proporción de 500 g por cada 100 L de agua, y con purín líquido obtenido de la fermentación de estiércol de bovino en proporción

2:20 purín:agua. A los 40 dds se aplicó Paraquat para controlar la maleza en dosis de 150 mL diluido en 20 L de agua. El control del gusano cogollero se efectuó con Engeo® (Thiametoxam + Lambda cyalotrina) a los 15 dds, se aplicaron 20 mL del producto en 20 L de agua y se asperjó el follaje del cultivo mediante aspersora de mochila. En la etapa de madurez fisiológica se practicó la dobla, consistente en doblar el tallo de la planta en el nudo inferior al nudo donde se encontraba la mazorca principal para su deshidratación durante cuatro semanas mediante la exposición a la radiación solar; después de la cosecha, las mazorcas se expusieron al sol durante una semana para uniformizar su deshidratación.

VARIABLES EVALUADAS

Los caracteres evaluados fueron días a floración masculina (50 % FM), registrado como días después de la siembra cuando el 50 % de espigas de cada parcela útil presentó liberación de polen, días a floración femenina (50 % FF), registrado como días después de la siembra cuando el 50 % de plantas de la parcela útil tenía estigmas expuestos, altura de planta (AP) y altura de mazorca (AM), medidas en cm desde el suelo hasta la punta de la espiga y hasta el nudo de inserción de la mazorca principal, respectivamente; porcentaje de acame (PA), porcentaje de plantas jorras (PJ) y porcentaje de prolificidad (PP). También se evaluó la relación entre altura de la planta y la altura de la mazorca (AP/AM), relación de AP/AM con porcentaje de acame (AP/AM)/PA y rendimiento de grano (RG), este último se ajustó de acuerdo con el número de plantas productivas en la parcela útil y se transformó a kg ha⁻¹, multiplicando el promedio en g por planta obtenido en cada tratamiento por su respectivo número de plantas fértiles estimada en una hectárea de cultivo.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados de maíz nativo tropical dosmesano con diferentes arreglos topológicos y densidades de población. Cárdenas, Tabasco, México, 2016.

Tratamiento	Distancia entre surcos (m)	Distancia entre matas (m)	Semillas por mata	Densidad de población (plantas ha ⁻¹)
T ₁	1.0	0.25	1	40,000
T ₂	1.0	0.25	2	80,000
T ₃	1.0	0.20	1	50,000
T ₄	1.0	0.20	2	100,000
T ₅	0.8	0.25	1	50,000
T ₆	0.8	0.25	2	100,000
T ₇	0.8	0.20	1	62,500
T ₈	0.8	0.20	2	125,000
T ₉	1.0	1.0	4	40,000
T ₁₀	0.8	1.0	4	50,000

Análisis estadístico

Se realizó un primer análisis con los ocho tratamientos del arreglo factorial para detectar la posible interacción entre los factores de estudio bajo el modelo estadístico siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + ds + dm + ns + ds \times dm + ds \times ns + dm \times ns + dm \times ds \times ns + \beta_j + \varepsilon_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} : k -ésimo valor observado del i -ésimo tratamiento, en el j -ésimo bloque; μ : media general; ds : efecto de distancia entre surcos; dm : efecto de distancia entre matas; ns : efecto de número de semillas por mata; $ds \times dm$: efecto de la interacción distancia entre surcos \times distancia entre matas; $ds \times ns$: efecto de la interacción distancia entre surcos \times número de semillas por mata; $dm \times ns$: efecto de la interacción distancia entre matas \times número de semillas por mata; $dm \times ds \times ns$: efecto de la interacción distancia entre matas \times distancia entre surcos \times número de semillas por mata; β_j : efecto del j -ésimo bloque; ε_{ijk} : error experimental en la k -ésima observación del i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque

Cuando la triple interacción no tuvo efectos estadísticamente significativos, su componente se eliminó del modelo y se procedió a un segundo análisis con un modelo ajustado; tal fue el caso de rendimiento de grano (RG). Si la doble interacción no resultó con efectos significativos, la discusión se basó sobre los efectos principales de los factores de estudio.

Un segundo análisis incluyó la serie de tratamientos factoriales más los dos testigos, regional y regional modificado. En este segundo caso, los datos de porcentaje de prolificidad y acame se transformaron con la finalidad de que se ajustaran a una distribución normal. Para su transformación se usó una escala de 1 a 5 incluyendo el cero, que tomó el valor de 1, mientras que los siguientes valores fueron obtenidos mediante la división de los datos en los intervalos siguientes: 2) 1-25, 3) 26-50, 4) 51-75, y 5) 76-100. Al detectarse diferencias significativas en ambos tipos de análisis, se procedió a la comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$); así mismo, se realizaron análisis de correlación entre AP/AM y (AP/AM)/PA; en cada caso se usó PROC MIXED y PROC GLM de SAS® 9.0 (SAS Institute, 2002). La comparación de medias de RG en este segundo análisis se hizo mediante la prueba de Dunnett ($P \leq 0.10$) con el tratamiento 9 como testigo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los análisis estadísticos se detectó significancia en la interacción de distancia entre surcos \times número de semillas por mata sobre RG ($P \leq 0.01$) (Cuadro 2; Figura 1) y PPJ ($P \leq 0.01$); así mismo, se encontraron efectos significativos de la triple interacción sobre AM ($P \leq 0.05$) y AP ($P \leq 0.01$), y de efectos simples sobre PP ($P \leq 0.05$) (Cuadro 2). En contraste, no se presentaron diferencias significativas para 50 % FM, 50 % FF y PA ($P > 0.05$).

Los mayores RG, de 3869 y 3804 kg ha⁻¹, se observaron en T2 y T4, con surcos de 1.0 m de separación y dos semillas por mata, a 25 y 20 cm entre matas, respectivamente. Estos RG se asociaron también con un incremento considerable en la densidad de siembra, y fue posible aumentar la densidad poblacional de 40 mil plantas ha⁻¹ utilizada en sistemas tradicionales de cultivo de maíz nativo en Tabasco, México, a 80 o 100 mil plantas ha⁻¹, que se asemejan a las densidades poblacionales utilizadas en sistemas de alta productividad con híbridos comerciales.

Mientras la arquitectura de los híbridos de maíz ha sido modificada para un menor ángulo de inserción foliar que facilite las altas densidades de siembra (Testa et al., 2016; Tollenaar y Wu, 1999), el maíz nativo tropical dosmesano presenta un arquetipo con ángulo de inserción foliar expandido, comparado con el de los híbridos comerciales; es posible que esta característica, común en genotipos nativos (Duvick, 1997), y la mayor distancia entre surcos, hayan permitido al cultivo disponer de espacio suficiente para un mejor crecimiento y desarrollo al captar mayor radiación solar (Paliwal et al., 2001) que se reflejó en mayor productividad, aún con dos semillas por mata.

La maduración progresiva de las hojas favoreció la captación y uso óptimo de la radiación solar, con efectos positivos sobre la formación de las estructuras reproductivas, cuyo inicio ocurre entre las etapas V₅ y V₆ (Abendroth et al., 2011). En los diferentes tratamientos se encontraron valores individuales que alcanzaron 180 g de grano seco por planta, lo que sugirió la posibilidad de ser seleccionadas para mayor rendimiento en estas densidades e incrementar la productividad del material estudiado.

La ausencia de efectos significativos de distancia entre matas para RG ha sido reportada en otros estudios con híbridos comerciales de maíz (Guevara-Escobar et al., 2005; Liu et al., 2004; Subedi et al., 2006, Testa et al., 2016). Tales híbridos han sido mejorados para tolerar altas densidades de población mediante cambios en la arquitectura de la planta y la reducción del ángulo de

Cuadro 2. Cuadrados medios y nivel de significancia de los factores de variación para ocho variables evaluadas en diferentes densidades de población. Cárdenas, Tabasco, México. 2016.

FV	GL	RG	PPJ	AM	AP	50% FM	50% FF	PA	PP
Bloques	2	2,627,317 *	61	2461*	11,062 *	28 *	21	2614	42
ds	1	546,892	267	1109	700	7	6	2114	44
dm	1	55,613	24	1067	7	7	0.1	509	37
ns	1	1,741,132	1908	928	9	7	28	271	933*
ds × dm	1	1997	48	6869	30,917 **	18	14	199	214
ds × ns	1	9,942,462 **	1411 **	7238	9959 *	0.3	4	611	193
ds × dm × ns	2	94,346	26	1539 *	4083 **	2	5	665	72
Error		14	14	230	230	14	14	12	7
CV (%)		25	20	18	12	3	4	35	33
Total		23	23	239	239	23	23	21	16

FV: fuente de variación, GL: grados de libertad, RG: rendimiento de grano, PPJ: porcentaje de plantas jorras, AM: altura de mazorca, AP: altura de planta, 50 % FM: días después de la siembra a 50 % de floración masculina, 50 % FF: días después de la siembra a 50 % de floración femenina, PA: porcentaje de acame, PP: porcentaje de prolificidad, ds: distancia entre surcos, dm: distancia entre matas, ns: número de semillas por mata, CV: coeficiente de variación, *: P ≤ 0.05, **: P ≤ 0.01.

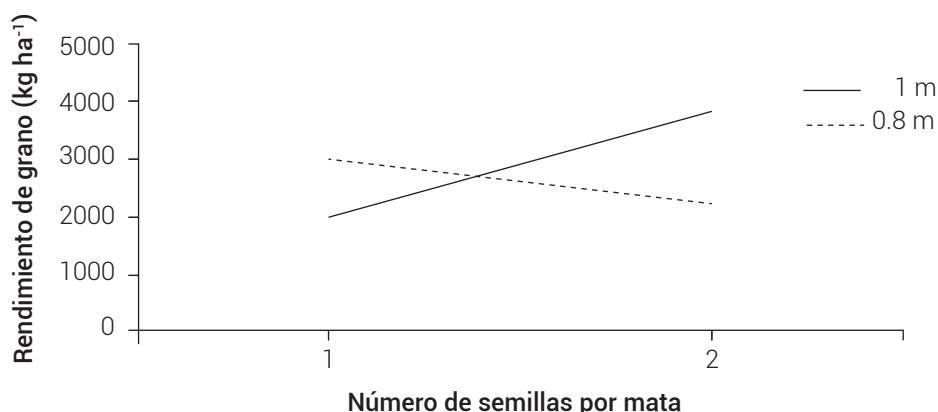


Figura 1. Interacción distancia entre surcos × número de semillas por mata sobre rendimiento de grano en maíz nativo tropical dosmesano. Cárdenas, Tabasco, México, 2016.

inserción foliar como principal componente, además de una eficiente tasa de asimilación de nutrientes y agua del suelo (Tollenar y Wu, 1999). Con esos cultivares, los mayores rendimientos se logran al reducir la distancia entre surcos (Testa *et al.*, 2016; Tollenar y Wu, 1999), lo que en consecuencia, aumenta la densidad poblacional.

De los resultados obtenidos, resalta el efecto del incremento en RG asociado con el aumento en la distancia entre surcos, al pasar de 0.8 a 1.0 m, y la ausencia de efectos significativos al sembrarse a 0.20 o 0.25 m entre matas. Las implicaciones prácticas de la distancia entre matas deben valorarse, pues en siembras manuales como las usuales en la región de estudio se requerirán alrededor de 18 a 20 jornales por hectárea, mientras que en el

sistema tradicional se ocupan entre 8 y 10 jornales; así mismo, es recomendable la evaluación de siembras con una semilla por mata y a distancias más reducidas entre ellas, que permitan optimizar los RG, como el tratamiento 7 (Cuadro 1), cuya densidad de siembra aumentó a 62,500 plantas por hectárea y permitió un RG similar al del testigo regional (Cuadro 4) con 40 mil plantas por hectárea.

Lo anterior favorecería la siembra mecanizada de este material genético que está adaptado a las condiciones de la zona de estudio, como la temperatura máxima que alcanza valores de 38 a 40 °C (García, 2004) y el estrés por falta de agua, que se presentó en la época de siembra cuando se llevó a cabo este trabajo; tales condiciones definen la estación de cultivo como de alto riesgo (Ruiz-Álvarez

et al., 2012) por ser de secano y estar fuera de los ciclos típicos de primavera-verano y otoño-invierno (SAGARPA, 2015); así mismo, la optimización de estas densidades poblacionales en el cultivo de maíz dosmesano podrían favorecer el ciclo de cultivo marceño que se practica en las zonas bajas y humedales del estado de Tabasco, cuyo nivel de expansión podría ser hasta de 18 % de la superficie estatal (Peraza-Villarreal et al., 2019).

Los mayores valores de PPJ, 69 y 78 %, se observaron en T6 y T8 con surcos, separados por 0.8 m con dos semillas por mata, que arrojaron densidades poblacionales de 100 y 125 mil plantas ha^{-1} , respectivamente. Se ha documentado que las altas densidades de población inducen esterilidad (Abuzar et al., 2011; Cervantes et al., 2014; Subedi et al., 2006) debido a la competencia intra-parcela por agua, luz y nutrientes; sin embargo, Kresovic et al. (1997) encontraron que en híbridos comerciales este incremento poblacional llega a impactar notablemente en el rendimiento, ya que de una densidad de 49,300 a 59,500 plantas ha^{-1} el RG se incrementó de 11 a 15 t ha^{-1} ; este incremento en RG se observó en el maíz nativo tropical dosmesano, con respuesta positiva hasta 80 y 100 mil plantas por hectárea, con el arreglo topológico definido por T2 y T4, mientras que a 125 mil plantas ha^{-1} el RG disminuyó, lo cual puede ser atribuido al efecto de la reducción en la distancia entre surcos que, combinada con dos semillas por mata, propició mayor competencia entre plantas en un ambiente para el cual el maíz dosmesano no ha sido seleccionado.

El segundo análisis de varianza, que incluyó a TR y TRM, detectó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 3) para RG ($P \leq 0.1$) y PPJ, AM y AP ($P \leq 0.05$), no así para 50 % FM, 50 % FF, PP ni para PA ($P > 0.05$). Aunque el número de plantas en T1 fue el mismo que en T9 (TR) y T3 igual a T10 (TRM) (Cuadro 1), estos tratamientos tuvieron diferente arreglo topológico con base en la distancia entre matas y presentaron distinto comportamiento agronómico (Cuadro 4) en las variables evaluadas. Los mayores RG, de 3869 y 3804 kg ha^{-1} , observados en T2 y T4 con 80 y 100 mil plantas ha^{-1} , respectivamente, son diferentes

estadísticamente de TR (Dunnett, $P \leq 0.10$) (Cuadro 4), con valores absolutos de dichas diferencias de 1671 y 1606 kg ha^{-1} , respectivamente. El primero implica un incremento de 76 % mayor con respecto al RG del testigo regional, y el segundo de 73 %; estos valores podrían resultar relevantes en la agricultura de subsistencia, como la que se practica en el área donde se llevó a cabo el estudio.

Resalta también el valor medio de PPJ de 51 % observado en T2, el cual no es estadísticamente diferente del 37 % observado en TR (Cuadro 4), por lo que el mayor rendimiento se atribuye a la compensación que se obtuvo por el mayor número de plantas por hectárea, como ha sido observado en otros estudios (Testa et al., 2016). Se encontró una triple interacción significativa de la distancia entre surcos \times distancia entre matas \times número de semillas para AP ($P \leq 0.01$) y AM ($P \leq 0.05$). La combinación de surcos a 0.80 m, matas a 0.20 m y una semilla por mata produjo AM con valores mínimos y máximos de 101 y 126 cm, respectivamente; mientras que AP varió de 224 a 267 cm. Estos valores son similares a los encontrados en materiales criollos, con 231 cm de AP cultivados a 83,000 plantas ha^{-1} (Sánchez-Hernández et al., 2011), y superan a los observados con híbridos de maíz, cuya AP ha sido de hasta 215 cm (Palafox-Caballero et al., 2006).

El acame correlaciona usualmente con AP, AM y la relación AP/AM (Cai et al., 2012); sin embargo, en el presente estudio no se detectaron correlaciones significativas entre estas variables ($P > 0.05$). La AP observada favorece el potencial de uso forrajero del material evaluado para la producción ganadera regional, como ha sido señalado en otros estudios con maíz nativo (Sánchez-Hernández et al., 2011), mientras que la AM registrada favorece la cosecha manual del maíz dosmesano, sobre todo cuando se cultiva en zonas bajas del área de estudio, que presentan riesgos de inundación.

Se detectaron efectos significativos del factor principal número de semillas por planta para PP ($P \leq 0.05$), con valores medios de 17 y 4 %, con una y dos semillas, respectivamente

Cuadro 3. Cuadrados medios de ocho variables de maíz dosmesano evaluado en diferentes densidades de población. Cárdenas, Tabasco, México. 2016.

FV	GL	RG	PPJ	AM	AP	50 % FM	50 % FF	PA	PP
Reps	2	2,934,292	75	4632	17160	26	26	2762	184
Trats	9	1,599,144*	490*	2910*	6745*	5	8	1102	224
Error	18	442,545	120	472	899	4	7	681	143
CV (%)		25	21	20	12	3	4	35	33

FV: fuentes de variación, GL: grados de libertad, RG: rendimiento de grano, PPJ: porcentaje de plantas jorras, AM: altura de mazorca, AP: altura de planta, 50 % FM: días después de la siembra a 50 % de floración masculina, 50 % FF: días después de la siembra a 50 % de floración femenina, PA: porcentaje de acame, PP: porcentaje de prolificidad, Reps: repeticiones, Trats: tratamientos, CV: coeficiente de variación, *: $P \leq 0.05$.

Cuadro 4. Medias de variables evaluadas en el comportamiento agronómico del maíz nativo tropical dosmesano en diferentes densidades de población. Cárdenas, Tabasco, México, 2016.

Tratamientos	RG ($t\ ha^{-1}$)	PPJ (%)	AM (cm)	AP (cm)	50 % FM	50 % FF	PA (%)	PP (%)
T1	1900	49 ab	110 ab	257 abc	59	60	3	2
T2	3869 [†]	51 ab	124 ab	259 ab	60	63	4	2
T3	2121	48 ab	103 c	224 d	62	63	4	2
T4	3804 [†]	51 ab	119 abc	248 abcd	63	63	4	2
T5	2835	40 b	10 c	232 cd	62	63	2	2
T6	2293	69 ab	104 c	232 cd	62	65	2	2
T7	3156	40 b	126 a	267 a	60	60	3	1
T8	2201	78 a	109 ab	243 abc	63	65	2	1
T9	2198	37 b	105 c	241 bcd	62	65	5	1
T10	2088	49 ab	98 d	225 d	60	63	2	1
I	1969	41	28	43	4	5	3	1
DSH	1424	32	18	25	6	8	3	2

Medias de RG sin [†] no son estadísticamente diferentes del testigo regional T9 (Dunnett, $P \leq 0.10$). En el resto de caracteres, medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). PPJ: porcentaje de plantas jorras, AM: altura de mazorca, AP: altura de planta, 50 % FM: días después de la siembra a 50 % de floración masculina, 50 % FF: días después de la siembra a 50 % de floración femenina, PA: porcentaje de acame, PP: porcentaje de prolificidad, I: intervalo, DSH: diferencia significativa honesta.

(Cuadro 5); la prolificidad es una característica de selección para incrementar la productividad (De León *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.*, 2015) que persiste en el maíz y que se conserva como rasgo derivado del teocintle (Wills *et al.*, 2013).

Cuadro 5. Efecto del factor principal número de semillas por mata sobre porcentaje de prolificidad (PP) en maíz nativo tropical dosmesano. Cárdenas, Tabasco, México, 2016.

No. de semillas por mata	Porcentaje de prolificidad
1	17 a
2	4 b
DSH (0.05)	7

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

No se detectaron efectos significativos de los factores evaluados para días a 50 % FM ($P > 0.05$), ni días a 50 % FF ($P > 0.05$).

La floración masculina ocurrió de los 59 a los 62 dds; sin embargo, algunas plantas entre la población presentaron 50 % de anteras y liberaron polen a los 45 días después de siembra. La floración femenina se presentó entre 60 y 65 dds; no obstante, hubo plantas que florecieron a los 47 días después de siembra, por lo que a los 60 d estaban en llenado de grano; lo anterior sugirió la posibilidad de

seleccionar para precocidad en el material bajo estudio.

Los valores de floración observados del maíz dosmesano en el presente estudio difieren con lo reportado por otros autores para días a floración femenina (DFF) y masculina (DFM) en maíces criollos, pues se han encontrado intervalos de 72 a 84 y de 80 a 85 d, para floración femenina y floración masculina, respectivamente (Hernández-Vázquez *et al.*, 2018; Mejía y Molina, 2002; Ramírez, 2013; Sánchez-Hernández *et al.*, 2011). En contraste, Sánchez-Hernández *et al.* (2011) encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre híbridos, con 65 DFM y 69 DFF, después de la siembra. Con base en los días a floración masculina y femenina observados en el maíz dosmesano, existe en éste una tendencia hacia un comportamiento intermedio.

CONCLUSIONES

El rendimiento de grano del maíz nativo tropical dosmesano está influenciado por la interacción entre distancia de surcos y número de semillas por mata. Los mayores rendimientos observados se obtuvieron con 80 y 100 mil plantas ha^{-1} , respectivamente, con surcos a 1.0 m de separación y dos semillas por mata. No existieron efectos de distancia entre matas dentro de surcos, separadas a 0.20 ó 0.25 m. Ambas distancias entre matas superaron estadísticamente al rendimiento del sistema regional, donde se establecen 40 mil plantas por hectárea.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor, con número de becario 1146093, agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para cursar estudios doctorales en el Colegio de Postgraduados.

BIBLIOGRAFÍA

- Abendroth L. J., R. W. Elmore, M. J. Boyer and S. K. Marlay (2011) Corn Growth and Development. Iowa State University. Ames, Iowa. 49 p.
- Abuzar M. R., G. U. Sadozai, M. S. Baloch, A. A. Baloch, I. H. Shah, T. Javaid and N. Hussain (2011) Effect of plant population densities on yield of maize. *Journal of Animal and Plant Sciences* 21:692-695.
- Cai H., Q. Chu, R. Gu, L. Yuan, J. Liu, X. Zhang, ... and F. Zhang (2012) Identification of QTLs for plant height, ear height and grain yield in maize (*Zea mays* L.) in response to nitrogen and phosphorus supply. *Plant Breeding* 131:502-510, <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.2012.01963.x>
- Cervantes O. F., M. T. Gasca O., E. Andrio E., M. Mendoza E., L. P. Guevara A., F. Vázquez M. y S. Rodríguez H. (2014) Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronómicos y de rendimiento en genotipos de maíz. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México* 2:9-16.
- Crosbie T. M. and J. J. Mock (1981) Changes in physiological traits associated with grain yield improvement in three maize breeding programs. *Crop Science* 21:255-259, <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100020013x>
- De León N., J. G. Coors, S. M. Kaepller and G. J. M. Rosa (2005) Genetic control of prolificacy and related traits in the golden glow maize population: I. Phenotypic evaluation. *Crop Science* 45:1361-1369, <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.0486>
- Duvick D. N. (1997) What is yield? In: Developing Drought- and Low N-Tolerant Maize. Proceedings of a Symposium. G. O. Edmeades, M. Bänziger, H. R. Mickelson and C. B. Peña-Valdivia (eds.). March 25-29, 1996. CIMMYT. El Batán, México. pp:332-335.
- García E. (2004) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana). Quinta edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 90 p.
- Guevara-Escobar A., G. Barcenas-Huante, F. R. Salazar-Martínez, E. González-Sosa y H. Suzán-Azpíri (2005) Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. *Agrociencia* 39:431-439.
- Hernández-Vázquez B., M. C. Mendoza-Castillo, F. Castillo-González, J. A. Pecina-Martínez, A. Delgado-Alvarado, R. Lobato-Ortiz y J. J. García-Zavala (2018) Valoración agromorfológica de germoplasmade maíz amarillo en Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:393-402, <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4.393-402>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2016) Anuario Estadístico y Geográfico de Tabasco 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 461 p.
- Jia Q., L. Sun, H. Mou, S. Ali, D. Liu, Y. Zhang, ... and Z. Jia (2018) Effects of planting patterns and sowing densities on grain-filling, radiation use efficiency and yield of maize (*Zea mays* L.) in semi-arid regions. *Agricultural Water Management* 201:287-298, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.11.025>
- Jiménez-Juárez J. A., G. Arambula-Villa, E. de la Cruz-Lázaro y M. A. Aparicio-Trápala (2012) Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y Ciencia* 28:145-152.
- Kresovic B., M. Tolimir and Z. Pajic (1997) Growing of sweet corn as a second or stubble crop. *Journal of Scientific Agricultural Research* 48:23-30.
- Liu W., M. Tollenaar, G. Stewart and W. Deen (2004) Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. *Agronomy Journal* 96:27-280, <https://doi.org/10.2134/agronj2004.2750>
- Mejía C. J. A. y J. D. Molina G. (2002) Respuesta a la selección en variedades tropicales de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:305-310.
- Palafox-Caballero A., O. H. Tosquy-Valle, M. Sierra-Macías, A. Zambada-Martínez y H. Córdova-Orellana (2006) Híbridos trilineales de maíz comunes y de alta calidad de proteína para Veracruz, México. *Agronomía Mesoamericana* 17:201-206.
- Paliwal R. L., G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic (2001) El Maíz en los Trópicos: Mejoramiento y Producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 392 p.
- Palma-López D. J., R. Jiménez R., J. Zavala-Cruz, F. Bautista-Zúñiga, F. Gavi R. y D. Y. Palma-Cancino (2017) Actualización de la clasificación de suelos de Tabasco, México. *Agroproductividad* 10:29-35.
- Peraza-Villarreal H., A. Casas, R. Lindig-Cisneros and A. Orozco-Segovia (2019) The marceño agroecosystem: traditional maize production and wetland management in Tabasco, Mexico. *Sustainability* 11:1978, <https://doi.org/10.3390/su11071978>
- Ramírez C. A. (2013) Selección de maíces criollos de ciclo corto como estrategia frente al cambio climático en Michoacán. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17:7-21.
- Rodríguez F. I., A. González H., D. J. Pérez L. y M. Rubí A. (2015) Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrados en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1943-1955, <https://doi.org/10.29312/remexica.v6i8.531>
- Ruiz-Álvarez O., R. Arteaga-Ramírez, M. A. Vázquez-Peña, R. E. Ontiveros-Capurata y R. López-López (2012) Inicio de la estación de crecimiento y periodos secos en Tabasco, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 3:85-102.
- SAGARPA, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (2015) Agenda Técnica Agrícola Tabasco. Segunda edición. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Ciudad de México. 117 p.
- Sánchez-Hernández M. Á., C. U. Aguilar-Martínez, N. Valenzuela-Jiménez, C. Sánchez-Hernández, M. C. Jiménez-Rojas y C. Villanueva-Verduzco (2011) Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. *Agronomía Mesoamericana* 22:281-295.
- SAS Institute (2002) SAS/STAT 9.0 User's Guide. 6th edition, SAS Institute. Cary, North Carolina, USA. 112 p.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2019) Anuario estadístico de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Junio 2020).
- Subedi K. D., B. L. Ma and D. L. Smith (2006) Response of a leafy and non-leafy maize hybrid to population densities and fertilizer nitrogen levels. *Crop Science* 46:1860-1869, <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0141>
- Testa G., A. Reyneri and M. Blandino (2016) Maize grain yield enhancement through high plant density cultivation with different inter-row and intra-row spacings. *European Journal of Agronomy* 72:28-37, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.09.006>
- Tollenaar M. and J. Wu (1999) Yield improvement in temperate maize is attributable to greater stress tolerance. *Crop Science* 39:1597-1604, <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961597x>
- Troyer A. F. and R. W. Rosenbrook (1983) Utility of higher plant densities for corn performance testing. *Crop Science* 23:863-867, <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300050011x>
- Westgate M. E., F. Forcella, D. C. Reicosky and J. Somsen (1997) Rapid canopy closure for maize production in the northern US corn belt: radiation use efficiency and grain yield. *Field Crops Research* 49:249-258, [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(96\)01055-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(96)01055-6)
- Wills D. M., C. J. Whipple, S. Takuno, L. E. Kurzel, L. M. Shannon, J. Ross-Ibarra and J. F. Doebley (2013) From many, one: genetic control of prolificacy during maize domestication. *PLOS Genetics* 9:1-13, <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1003604>