



SINGLE PARENTAL CROSSES AND TRILINEAR HYBRID OF MAIZE H-53 AE: DENSITIES AND PRODUCTIVITY †

[CRUZAS SIMPLES PROGENITORAS E HÍBRIDO TRILINEAL DE MAÍZ H-53 AE: DENSIDADES Y PRODUCTIVIDAD]

Francisco Sebastián Martínez-Díaz¹, Margarita Tadeo-Robledo^{*1},
Alejandro Espinosa-Calderón², Homero Alonso-Sánchez¹,
Consuelo López-López¹ and Joob Anastacio Zaragoza-Esparza¹

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores
Cuautitlán (FESC, UNAM), Ingeniería Agrícola, Carretera Cuautitlán –
Teoloyucán, km 2.5, C.P. 54714. Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

Email: francisco.martinez@hotmail.com; tadeorobledo@yahoo.com.mx;
lopez8con@gmail.com; alonso_m77@hotmail.com;
jzaragozaseccionprod@gmail.com

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Campo
Experimental Valle de México, (INIFAP-CEVAMEX), Km 13.5 Carretera Los
Reyes – Texcoco. C.P. 56250, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México.

Email: espinoale@yahoo.com.mx

Corresponding author

SUMMARY

Background. The use of improved seeds in Mexico is limited. To increase its use and improve its supply, it is necessary to promote the generation of micro-enterprises; for this, the Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) and Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) work in a coordinated manner on the development of new varieties. **Objective.** To determine the seed productivity by effect of the population density of the trilinear hybrid of H-53 AE maize and its simple progenitor crosses in two environments of Valles Altos. **Methodology.** In the spring-summer cycle of 2014, in Cuautitlán Izcalli and Texcoco, State of Mexico, three genotypes were evaluated: the simple female cross androsterile (M53AE x M59) and fertile version (M53F x M59), as well as the trilinear hybrid H-53 AE. Population densities were 55,000, 70,000, and 85,000 ha⁻¹ plants, respectively. The variables evaluated were male and female flowering, plant and ear height, volumetric weight, weight of 200 grains, ear length, grains per row, dry matter percentage, and grain percentage. The experimental design employed a factorial design with random complete blocks, and the Tukey method was used for mean comparison. **Results.** The simple crosses, androsterile and fertile, exceeded the performance of the hybrid trilinear H-53 AE (7280 Kg ha⁻¹). The population density where genotypes expressed a higher yield was 70,000 ha⁻¹ plants, with 8602 Kg ha⁻¹, significantly different to 7813 Kg ha⁻¹, and 7748 Kg ha⁻¹ for 85,000 and 55,000 ha⁻¹ plants, respectively. **Implications.** Further analysis of other environmental factors should be carried out to strengthen the recommendation of the evaluated trilinear hybrid. **Conclusion.** The best responses were presented in the population density of 70,000 plants ha⁻¹, and the highest average yield of three genotypes and three population densities with 8768 Kg ha⁻¹ was in the FESC environment (Cuautitlán Izcalli).

Keywords: male sterility; planting densities; yield seed; Zea mays L.

RESUMEN

Antecedentes. El uso de semillas mejoradas en México es limitado. Para elevar su uso y mejorar su abastecimiento conviene promover la generación de microempresas; para ello, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) trabajan de manera coordinada en el desarrollo de nuevas variedades. **Objetivo.** Determinar la productividad de semilla por efecto de la densidad de población del híbrido trilineal de maíz H-53 AE y sus cruas simples progenitoras en dos ambientes

† Submitted August 30, 2023 – Accepted May 17, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5134>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
ISSN: 1870-0462.

ORCID = F.S. Martínez-Díaz: <https://orcid.org/0000-0002-1504-1601>; M. Tadeo-Robledo: <https://orcid.org/0000-0002-9801-8721>; A. Espinosa-Calderón: <https://orcid.org/0000-0002-7128-4712>; H. Alonso-Sánchez: <https://orcid.org/0000-0003-8416-8753>; C. López-López: <https://orcid.org/0000-0003-4484-9105>; J.A. Zaragoza-Esparza: <https://orcid.org/0000-0002-2814-7827>

de Valles Altos. **Metodología.** En el ciclo primavera-verano de 2014, en Cuautitlán Izcalli y Texcoco, Estado de México, se evaluaron tres genotipos, la cruza simple hembra androestéril (M53AE x M59) y versión fértil (M53F x M59), así como el híbrido trilineal H-53 AE. Las densidades de población fueron 55,000, 70,000 y 85,000 plantas ha⁻¹. Las variables evaluadas fueron floración masculina y femenina, la altura de planta y mazorca, peso volumétrico, peso de 200 granos, longitud de mazorca, granos por hilera, porcentaje de materia seca y porcentaje de grano. El diseño experimental fue factorial en bloques completos al azar y la comparación de medias por el método de Tukey. **Resultados.** Las cruza simples androestéril y fértil superaron el rendimiento del híbrido trilineal H-53 AE (7280 Kg ha⁻¹). La densidad de población en donde los genotipos expresaron un mayor rendimiento fue a 70,000 plantas ha⁻¹, con 8602 Kg ha⁻¹, diferente significativamente a 7813 Kg ha⁻¹, y 7748 Kg ha⁻¹ para 85,000 y 55,000 plantas ha⁻¹ respectivamente. **Implicaciones.** Se deben de seguir realizando análisis con otros factores ambientales, para fortalecer la recomendación del híbrido trilineal evaluado. **Conclusión.** Las respuestas mejores se presentaron en la densidad de población de 70,000 plantas ha⁻¹ y el rendimiento en promedio mayor de tres genotipos y tres densidades de población con 8768 Kg ha⁻¹ fue en el ambiente de la FESC, UNAM (Cuautitlán Izcalli).

Palabras clave: androesterilidad; densidades de siembra; rendimiento de semilla; *Zea mays* L.

INTRODUCCIÓN

La producción de maíz en México es de 24.1 millones de toneladas, mientras que el volumen de importación es alrededor de 18 millones de toneladas cada año (González, 2020). Esta situación evoca la urgencia de elevar la producción del grano en el país (Espinosa-Calderón *et al.*, 2019). Una alternativa es el empleo de semillas certificadas de maíz en México, donde sólo se utilizan en el 25% de la superficie sembrada.

El empleo de semillas certificadas de maíz en el país se concentra en compañías privadas, lo cual tuvo un incremento cuando se cerró la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), y con la promulgación de la Ley de Semillas en México, en junio del 2007. El uso de estas semillas representa el 25% de la superficie sembrada de maíz (Espinosa-Calderón *et al.*, 2014; Luna-Mena *et al.*, 2012; Ortiz *et al.*, 2007). En la superficie restante (75%), se usan semillas de variedades nativas, que se generan de las propias siembras de las y los productores, o se consiguen mediante la práctica de intercambio de éstas, a nivel local o regional.

Una opción para elevar el empleo de semillas desarrolladas por instituciones públicas de investigación en universidades como la Nacional Autónoma de México (UNAM), la Autónoma de Chapingo (UACH), o el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por mencionar algunas, es la promoción de microempresas de semillas, labor que han hecho las y los investigadores para establecer mecanismos de difusión y uso extensivo de maíces mejorados desarrollados por fitomejoradores. Desde el año 2000, la PRONASE operativamente dejó de funcionar, se desatendió el apoyo al mejoramiento genético y el sector de las semillas de maíz en México (Turrent-Fernández *et al.*, 2017; Turrent-

Fernández *et al.*, 2014). Se pretendía utilizar tecnología y asesoría externa al país, en una decisión equívoca en el campo mexicano, lo que propició la distorsión del sistema de semillas (Donnet *et al.*, 2020; Espinosa-Calderón *et al.*, 2003). Una estrategia alternativa sustentable de abastecimiento de semillas, es a través de la organización de productoras de maíz independientes, lo que se promovió desde el año 2000, hasta que se logró posicionar a las variedades generadas en el INIFAP y también de la UNAM, dando difusión de sus variedades y que estas estuvieran al alcance de las y los productores de maíz (Espinosa-Calderón *et al.*, 2014; Luna-Mena *et al.*, 2012).

Con la disponibilidad de más de 200 variedades mejoradas generadas por el INIFAP y más de 100 variedades e híbridos generados por instituciones con recursos públicos, es necesario mejorar la disponibilidad de semillas certificadas, como ya ocurre con las más de 60 microempresas de semillas de maíz en los Valles Altos de México, así como otras en el sur del país, las cuales compiten con las empresas transnacionales (Espinosa-Calderón *et al.*, 2014).

Es importante destacar la generación de información sobre el manejo agronómico y la respuesta de las semillas de los híbridos y sus progenitores bajo diferentes densidades de población, en aras de optimizar el rendimiento de grano y ofrecer la tecnología de producción de semilla para aprovecharlas de manera adecuada (Virgen-Vargas *et al.*, 2016; Cervantes-Ortiz *et al.*, 2013). Lo anterior permite generar paquetes tecnológicos eficientes para las condiciones ambientales y económicas de producción de las y los productores de semilla y grano de maíz.

Dentro de este manejo, la densidad de población tiene un papel determinante en la disponibilidad de

nutrientes para el cultivo, asegurando su crecimiento y su desarrollo (García *et al.*, 2012; Virgen-Vargas *et al.*, 2010); lo que indica que se pueden producir plantas sanas, robustas, lozanas y productivas. La fertilidad puede ser natural o inducida mediante el manejo apropiado de suelo y la aplicación de fertilizantes orgánicos o inorgánicos que conserven permanentemente la fertilidad del suelo (Castillo-Tovar, 2015; Álvarez-Solís *et al.*, 2010).

La demanda de información técnica para las y los productores de semilla justifica las investigaciones, que mediante el manejo agronómico puedan mejorar la cantidad y calidad de semillas tan escasas y necesarias para mejorar la soberanía en la producción de maíz. El objetivo de esta investigación fue determinar la productividad de semilla por el efecto de la densidad de población del híbrido trilineal de maíz H-53 AE y sus cruza simples progenitoras en dos ambientes de Valles Altos del centro de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de estudio

Los ensayos se establecieron en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México (FESC, UNAM), así como en el Campo Experimental del Valle de México del Instituto de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP), durante el ciclo primavera-verano (junio a diciembre) del 2014. La FESC, UNAM está ubicada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México (19° 41' LN, 99° 11' LO, a 2,252 m de altitud), con suelo de textura franco-arcillosa y clima templado subhúmedo clasificado como C (w0) (w) b (i'') (García, 2004). La otra localidad correspondió a Santa Lucía de Prías, Coatlinchán, Municipio de Texcoco, Estado de México (19° 27' LN, 98° 51' LO, a 2,260 m de altitud), con suelo de textura franco-arenosa y un clima templado con lluvias en verano, el cual se clasifica como C (Wo) (w) b (i) g (García, 2004).

Genotipos

Se utilizaron tres genotipos, dos de ellos corresponden a la cruza simple hembra, progenitora del híbrido trilineal H-53 AE, en la versión androestéril (M53AE x M59) y la versión fértil de la misma cruza simple progenitora (M53F x M59), el tercer genotipo correspondió al híbrido trilineal H-53 AE. Este híbrido se inscribió en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales en el año 2015 por el INIFAP y obtuvo, el número de registro 3152-MAZ-1658-300615/C, también cuenta con Título de Obtentor (1533), de fecha 23 de junio de 2016, ante

la Unión Internacional para la Protección de Obtenciones Vegetales.

Densidad de siembra

El híbrido trilineal de maíz H-53 AE y sus progenitores (cruzas simples), se establecieron en tres densidades de población, 55,000, 70,000, y 85,000 plantas ha⁻¹.

Diseño experimental

El estudio en ambas localidades se realizó utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres repeticiones. Las unidades experimentales consistieron en un surco de 5 m de largo por 0.80 m de ancho.

Manejo del experimento

En las dos localidades se preparó el terreno de forma mecánica, se pasó el arado y la rastra, además se niveló y surcó a 0.80 m. Previo a la siembra se fertilizó con la dosis 80-40-00 en ambos ambientes. Esta última se llevó a cabo el 6 de junio de 2024 en el CEVAMEX-INIFAP (Texcoco, Estado de México), mientras que, en la FESC, UNAM (Cuautitlán) se realizó el día 16 de junio de 2014. En ambas localidades se depositaron dos semillas cada 25 cm, y posteriormente se realizó un aclareo a los 35 días, para obtener las tres densidades de población propuestas. En FESC, UNAM se estableció el experimento en condiciones de secano, es decir, con la precipitación pluvial, en cambio, en CEVAMEX-INIFAP, la siembra se estableció y se aplicó riego. El control de arvenses consistió en aplicar herbicida a los 15 días después de la siembra (dds) utilizando una mezcla de 2 L de 2 4-D amina y 3 Kg de atrazina por hectárea. La misma dosis incluyó 3 L de nicosulfuron, que se aplicó 30 dds.

Cosecha

La cosecha se efectuó de forma manual el día 10 de diciembre de 2014 en la FESC, UNAM y el 16 de diciembre en el CEVAMEX-INIFAP.

Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron: 1) peso de grano (g), obtenido al pesar el grano de cinco mazorcas por cada parcela útil. 2) Floración masculina y 3) femenina (días), se contabilizó el número de días que le tomó a la planta iniciar la floración a partir de la fecha de siembra, para la floración masculina cuando el 50% de las plantas exhibieron la panícula. Para la floración femenina, cuando el 50% de las plantas

mostraron los estigmas con longitud de 2 a 3 cm. 4) Longitud de mazorca (cm), se determinó con el promedio de la longitud de cinco mazorcas por parcela útil, medidas desde la base hasta la punta. 5) Hileras por mazorca, se obtuvo al contar las hileras de las cinco mazorcas cosechadas, y se calculó el promedio. 6) Altura de mazorca (cm), se midieron las cinco plantas desde la base del tallo hasta el nudo de la mazorca más alta, posteriormente se promedió el valor.

Las variables en laboratorio se identificaron a partir de una muestra al azar de cinco mazorcas de cada unidad experimental, las cuales se desgranaron de manera manual para tener la cantidad de grano para poder tomar las siguientes determinaciones. 7) Humedad de grano (%), a través del determinador de humedad eléctrico tipo DICKEY-Jhon modelo GAC 2100. 8) Granos por hilera, contando las hileras de las cinco mazorcas seleccionadas, así como el número de granos desde la base hasta la punta de la mazorca, posteriormente se calculó el promedio. 9) Rendimiento (Kg ha^{-1}): se determinó como lo describieron López *et al.*, (2017).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó de forma factorial, en donde se consideraron los factores de variación ambientes (A), genotipos (G), densidades de

población (DP), así como las interacciones ambientes x genotipos, ambientes x densidades de población, genotipos x densidades de población, ambientes x genotipos x densidades de población. El análisis de varianza realizado fue combinado, el cual determina el efecto fijo de los genotipos y el efecto aleatorio del ambiente. Asimismo, se realizaron análisis estadísticos individuales para cada localidad con el propósito de conocer la respuesta de los genotipos. Los análisis se realizaron con el programa estadístico de SAS versión 9.0 (SAS Institute Inc., 2002). La comparación de medias se realizó con el método de Tukey, al 5% de significancia para las variables respuesta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de grano

El análisis de varianza combinado para rendimiento de grano detectó diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre ambientes, entre genotipos, entre densidades de población, así como en la interacción del ambiente con la densidad de población. En el resto de los factores de variación, para esta variable, no presentó diferencias significativas. El rendimiento fue de 8054 Kg ha^{-1} , y un coeficiente de variación de 19.1% el cual es adecuado para las condiciones en las que se llevó a cabo esta investigación (Tabla 1).

Tabla 1. Cuadrados medios y significancia estadística obtenidos de variables evaluadas en las cruzas simples progenitoras (M53AE x M59) y (M53F x M59) así como el híbrido trilineal comercial de maíz H-53AE en las localidades de Valles Altos FESC, UNAM y CEVAMEX-INIFAP Ciclo primavera-verano, México, 2014.

Variables	AMB	GEN	DP	AMB x GEN	AMB x DP	GEN x DP	AMB x DP x GEN	CV (%)
REND	82701089**	24346209**	12212911**	2627186	77734513**	684275	983652	19
FM	3698**	212**	69**	29**	100**	7	15*	3
FF	3481 *	172**	105**	16	153**	17	35**	4
AP	67508**	2906**	561	1156*	36	198	209	7
AM	3872**	1800**	219	492	48	219	64	11
PV	18475**	4317**	312	1919*	397	86	310	3
P200G	648**	160*	208*	305**	358**	30	21	9
LM	39**	14**	4	8**	2	1	1	8
GH	186**	76**	25*	13	1	1	1	8
% MS	144**	2	0	4**	0	0	1	1
% G	27**	40**	0	1	4	2	1	2

** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; REND= rendimiento; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; AM= altura de mazorca; PV= peso volumétrico; P200G= peso de 200 granos; LM= longitud de mazorca; GH= granos por hilera; % MS= porcentaje de materia seca; % G= porcentaje de grano; AMB= ambientes; GEN= genotipos; DP= densidad de población; AMB x GEN= ambientes x genotipos; AMB x DP; ambientes x densidad de población; GEN x DP= genotipos x densidad de población; AMB x DP x GEN= ambientes x densidad de población x genotipos.

En el factor de variación ambiente se presentaron diferencias altamente significativas para rendimiento, así como para floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, peso volumétrico, peso de 200 granos, longitud de mazorca, granos por hilera, porcentaje de materia seca y porcentaje de grano. Entre genotipos se detectaron diferencias altamente significativas para floración masculina y femenina, altura de planta y mazorca, peso volumétrico, longitud de mazorca, granos/hilera y porcentaje de grano, mientras que la variable peso de 200 granos no mostró diferencia significativa. Entre las densidades de población hubo diferencias altamente significativas en el rendimiento, floración masculina y femenina.

Para el peso de 200 granos, se encontró diferencia significativa al 5% de probabilidad. Para la interacción del ambiente x genotipo se detectaron diferencias altamente significativas en floración masculina, peso de 200 granos, longitud de mazorca y porcentaje de materia seca. Para la altura de planta y peso volumétrico hubo diferencia al 5% de probabilidad. Lo anterior, indica que hay una respuesta diferencial de los genotipos en los ambientes de prueba.

El rendimiento entre densidades de población, mostró dos agrupamientos de significancia, el rendimiento promedio mayor se obtuvo en la densidad de población de 70,000 plantas ha^{-1} seguido de la densidad de 85,000 plantas ha^{-1} , por último 55 000 plantas ha^{-1} (Tabla 2). El rendimiento fue afectado de forma favorable por la densidad de 70, 000 plantas por hectárea.

Floración masculina

La floración masculina mostró dos grupos de significancia donde las plantas establecidas en la densidad de 55,000 plantas ha^{-1} mostraron ser más precoces con 81 días, en comparación a la floración con la densidad de 70,000 y 85,000 plantas ha^{-1} ambas con 83 días. De igual forma, para la variable peso de 200 granos, se definieron dos grupos de significancia donde los valores más altos correspondieron a las densidades 55,000 y 70,000 plantas ha^{-1} con 73,10 y 72,60 g, respectivamente.

Granos por hilera

En lo que respecta a la variable granos/hilera, se definieron dos grupos de significancia, donde el valor más alto fue de 31 granos correspondiente a la densidad de 55,000 plantas ha^{-1} , seguida de las densidades 70,000 plantas ha^{-1} y 85,000 plantas ha^{-1} ambas con 29 granos.

Granos por mazorca

En relación con los granos/mazorca, se definieron dos grupos de diferencia estadística, donde los valores más altos correspondieron a la densidad de 55,000 plantas ha^{-1} con 500 granos/mazorca, seguido de la densidad 70,000 plantas ha^{-1} con 472 granos/mazorca, y la densidad de 85,000 plantas ha^{-1} con 470 granos/ mazorca, las cuales fueron similares estadísticamente, pero menores con respecto a la densidad más baja (Tabla 2).

Los genotipos evaluados en este trabajo mostraron ciclo intermedio, se ubicaron en los límites de la expresión de la precocidad para las floraciones. Las condiciones del clima que prevalecieron durante el desarrollo de los experimentos repercutieron para que en el CEVAMEX-INIFAP se presentara una floración con 10 días de diferencia en comparación a las plantas que se ubicaron en el ambiente de la FESC, UNAM; respuesta similar expresaron otras variables. En el ambiente de la FESC, UNAM, las condiciones fueron favorables, por la combinación de fecha de siembra, disponibilidad de humedad por precipitación y tipo de suelo que propiciaron rendimiento mayor y expresiones de floración femenina tardía. El ambiente de la FESC, UNAM resultó superior en comparación con el ambiente del CEVAMEX-INIFAP para el porcentaje de materia seca y porcentaje de grano (Tabla 3).

La comparación de medias para genotipos mostró dos grupos de significancia para rendimiento, donde el genotipo con rendimiento mayor fue la cruz simple progenitora hembra androestéril M53AE x M59, seguido de M53F x M59 que es la cruz simple hembra fértil del híbrido trilineal H-53 AE, y por último el híbrido H-53AE (Tabla 4).

El genotipo con altura de planta mayor fue el progenitor en su versión androestéril (M53AE x M59), seguido del progenitor en su versión fértil (M53F x M59) por último el híbrido H-53 AE. El genotipo con altura de mazorca mayor fue el progenitor en su versión fértil (M53F x M59), seguido por el progenitor en su versión androestéril (M53AE x M59); por último, el híbrido trilineal H-53 AE (Tabla 4). En el peso volumétrico se definieron dos grupos de significancia, donde el genotipo con peso mayor fue el híbrido H-53 AE, seguido del progenitor en su versión fértil (M53F x M59), por último, el progenitor androestéril (M53AE x M59). Para el peso de 200 granos, estadísticamente se definieron dos grupos de significancia, donde el genotipo del progenitor fértil (M53F x M59) fue mayor, seguido del híbrido H-53 AE, por último, el progenitor androestéril (M53AE x M59) (Tabla 4).

Tabla 2. Comparación de medias de tres densidades de población con base en el promedio de tres genotipos (dos cruza simples y el híbrido trilineal comercial H-53 AE) y la media de dos ambientes para diversas variables evaluadas Valles Altos FESC, UNAM y CEVAMEX-INIFAP. Ciclo primavera-verano, México, 2014.

Variables	Densidades de población			D.S.H. (0.05)
	70,000 (plantas ha ⁻¹)	85,000 (plantas ha ⁻¹)	55,000 (plantas ha ⁻¹)	
Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	8,602 a	7,813 b	7,748 b	702
Floración masculina (días)	83 a	83 a	81 b	1,0
Floración femenina (días)	82 b	85 a	83 b	1.4
Altura de planta (cm)	243 a	237 a	242 a	8.0
Altura de mazorca (cm)	121 a	112 a	123 a	6.0
Peso volumétrico (Kg hL ⁻¹)	75.8 a	75.6 a	76.0 a	9.0
Peso de 200 granos (g)	72.6 a	69.5 b	73,1 a	3.1
Longitud de mazorca (cm)	14.4 ab	14.2 b	14.7 a	0.6
Granos / hilera	29 ab	29 b	31.0 a	1.0
Granos / mazorca	472 b	470 b	500 a	22.0
Materia seca (%)	87.7 a	87.8 a	87.7 a	0.4
Grano (%)	86.5 a	86.4 a	86.4 a	0.7

D.S.H.= diferencia significativa honesta

Tabla 3. Comparación de medias para ambientes en la evaluación de diversas variables evaluadas considerando el promedio de dos cruza simples progenitoras y el híbrido trilineal comercial de maíz H-53AE en dos localidades de Valles Altos de México. FESC, UNAM y CEVAMEX-INIFAP. Ciclo primavera-verano, México, 2014.

Variables	Ambientes		D.H.S (0.05)
	FESC, UNAM	CEVAMEX-INIFAP	
Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	8768 a	7339 b	479
Floración masculina (días)	87 a	77 b	1.0
Floración femenina (días)	88 a	79 b	1.0
Altura de planta (cm)	228 b	261 a	6,0
Altura de mazorca (cm)	116 b	126 a	4.0
Peso volumétrico (Kg hL ⁻¹)	74.7 b	76.9 a	6.0
Peso de 200 granos (g)	73.7 a	69.7 b	2.1
Longitud de mazorca (cm)	13.9 b	14.9 a	0.4
Hileras / mazorca	17 a	16 b	0.3
Granos / hilera	28 b	31 a	1.0
Granos / mazorca	476 a	486 a	150
% Materia seca	86.8 b	88.7 a	0.3
% Grano	86.9 a	861 b	0.5

FESC, UNAM=Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán; CEVAMEX-INIFAP= Campo Experimental Valle de México; D.S.H.= diferencia significativa honesta

La longitud de mazorca presentó dos grupos de significancia estadística, donde el genotipo con longitud mayor fue el híbrido H-53 AE, seguido de los progenitores fértil (M53F x M59) y androestéril (M53AE x M59). En las hileras/mazorca, se definieron dos grupos de significancia, donde los genotipos con número mayor de hileras por mazorca fueron los progenitores androestéril (M53AE x M59) y fértil (M53F x M59) con 17 hileras/mazorca, la menor cantidad la obtuvo el híbrido H-53 AE con 16

hileras/mazorca. En la relación granos/hilera, se definieron estadísticamente dos grupos de diferencia, donde el híbrido H-53 AE presentó cantidad mayor de granos/hilera, seguido de los progenitores androestéril (M53AE x M59) y fértil (M53F x M59). Para el porcentaje de grano se definieron dos grupos de significancia, donde los genotipos con porcentaje de grano mayor fueron los progenitores androestéril (M53AE x M59) y fértil (M53F x M59) seguido del híbrido H-53 AE (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación de medias de los genotipos para las variables evaluadas en cruza simples progenitoras e híbrido trilineal comercial de maíz H-53 AE, en dos localidades de Valles Altos de México FESC, UNAM y CEVAMEX-INIFAP. Ciclo primavera-verano, 2014.

Variables	Genotipos			D.H.S (0.05)
	M53AE x M59	M53F x M59	H-53 AE	
Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	8.481 a	8.400 a	7.280 b	703
Floración masculina (días)	80 b	80 b	84 a	10.0
Floración femenina (días)	82 b	83 b	86a	1.0
Altura de planta (cm)	248 a	24 a	233 b	8.0
Altura de mazorca (cm)	124 a	126a	115 b	6.0
Peso volumétrico (Kg hL ⁻¹)	75 b	75.5 b	76.8 a	9.0
Peso de 200 granos (g)	70 b	73.5 a	71.7 ab	3.1
Longitud de mazorca (cm)	14 b	14.2 b	15.0 a	0.6
Hileras / mazorca	17a	17 a	16 b	0.5
Granos / hilera	29 b	29b	31 a	1.0
Granos / mazorca	480 a	486 a	477 a	219
% Materia seca	87.5 a	87.9 a	87.8 a	0.4
% Grano	86.9 a	87.0 a	85.5 b	0.7

D.S.H.= Diferencia Significativa Honesta.

En la interacción del ambiente, densidad de población y genotipo, la densidad mejor fue 70, 000 plantas ha⁻¹ con el progenitor fértil (M53F x M59) y el androestéril (M53AE x M59) en el ambiente de la FESC, UNAM con rendimientos de 10 605 Kg ha⁻¹ y 10 113 Kg ha⁻¹.

La interacción del ambiente con genotipo mostró significancia para las variables: rendimiento, floraciones masculina y femenina, así como para alturas de planta y mazorca. En rendimiento de grano

destacó la cruza fértil M53F x M59 en la FESC, UNAM, en cambio H-53 AE mostró el rendimiento menor en CEVAMEX-INIFAP (Tabla 5).

El híbrido H-53 AE mostró los rendimientos más bajos en la densidad de 55, 000 plantas ha⁻¹ y 85, 000 plantas ha⁻¹, expresando un rendimiento promedio de 5,494 Kg ha⁻¹,6,109 Kg ha⁻¹ en los ambientes de CEVAMEX-INIFAP y FESC, UNAM, respectivamente (Figura 1).

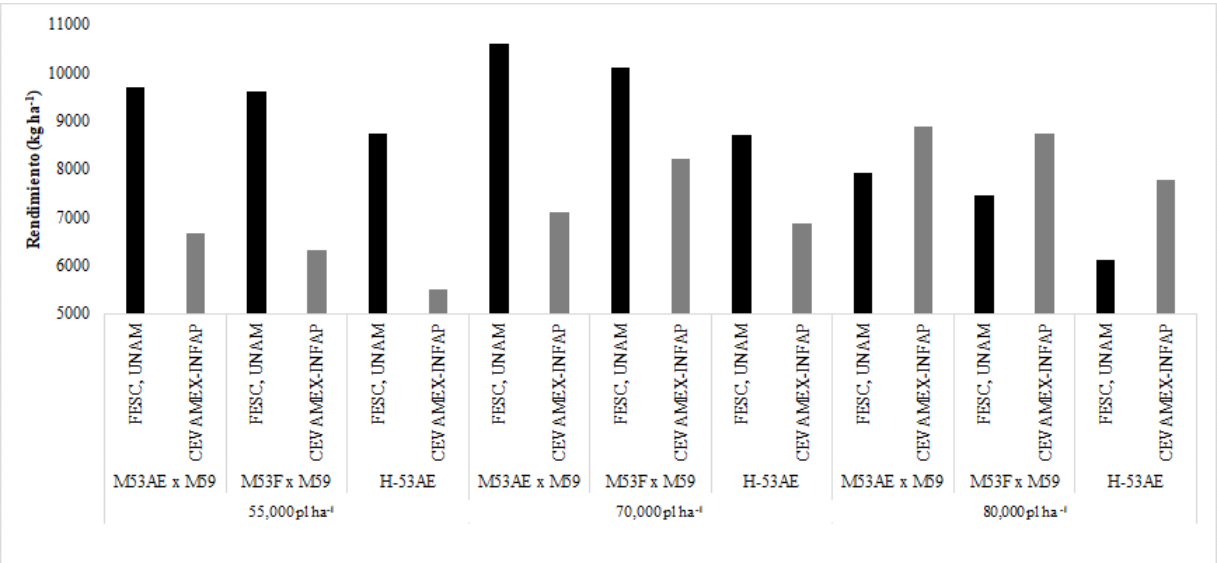


Figura 1. Rendimiento (Kg ha⁻¹) en cruza simples e híbrido trilineal en tres densidades de población (miles de plantas hectárea) en dos localidades de Valles Altos de México FESC, UNAM y CEVAMEX-INIFAP. Ciclo primavera-verano, 2014.

Tabla 5. Valor promedio de variables evaluadas en cruza simples e híbrido trilineal en dos localidades de Valles Altos de México FESC, UNAM y CEVAMEX-INIFAP. Ciclo primavera-verano, 2014.

Genotipos	AMB	REN (Kg ha ⁻¹)	FM (días)	FF	AP (cm)	AM
M53F x M59	FESC, UNAM	9,369	85	87	225	123
M53AE x M59	FESC, UNAM	9,086	85	87	227	120
M53AE x M59	CEVAMEX-INIFAP	7,877	76	78	268	128
H-53 AE	FESC, UNAM	7,850	90	91	208	107
M53F x M59	CEVAMEX-INIFAP	7,432	76	78	257	128
H-53 AE	CEVAMEX-INIFAP	6,710	78	80	258	123

AMB: ambiente; REN: rendimiento; FM: floración masculina; FF: floración femenina; AP: altura de planta; AM: altura de mazorca

Los resultados en densidades de población expresaron respuesta similar al que obtuvieron Espinosa-Calderón *et al.*, (2004) y Virgen-Vargas *et al.*, (2010), quienes señalan que el rendimiento de grano se incrementó al aumentar la densidad de población. Con base en los resultados de este trabajo, lo más viable al utilizar las cruza simples hembras o bien el híbrido H-53 AE, es usar las densidades de población de 70,000 plantas ha⁻¹; densidad que debe utilizar el agricultor en un lote de producción comercial de este híbrido para obtener la mejor utilidad en condiciones similares a los sitios donde se desarrolló esta investigación, lo que coincide con lo que reportan para este tipo de material Virgen-Vargas *et al.*, (2016). La significancia entre las densidades de población indica que existe una respuesta diferencial a las densidades de población por parte de los genotipos utilizados en esta investigación, es decir, el efecto de competencia entre plantas provocó un cambio en los valores de algunos de los componentes de rendimiento de los genotipos, resultado que coincide con lo reportado por Tinoco-Alfaro *et al.*, (2008) y Virgen-Vargas *et al.*, (2016).

Las plantas con altura promedio mayor estuvieron ubicadas en las densidades de 70, 000 y 55,000 plantas ha⁻¹ con 243 y 242 cm respectivamente. Lo anterior indica que la densidad de 70 000 plantas ha⁻¹ favorece el tamaño de planta; los resultados fueron similares a lo que reportaron Tadeo-Robledo *et al.*, (2012).

El rendimiento mayor se presentó en la FESC, UNAM (Cuautitlán) con 8768 Kg ha⁻¹, lo cual es resultado de las condiciones ambientales de la FESC, UNAM (Cuautitlán) por efecto de las precipitaciones que se presentaron, y de las propiedades del suelo (tipo arcilloso) que tiene dicho ambiente, porque tiene la capacidad de retener por más tiempo el agua proveniente de la precipitación, en comparación al tipo de suelo presente en el CEVAMEX-INIFAP, lo cual coincide con lo reportado por Canales-Islas *et al.*, (2016). En este sentido, es de esperarse que los

caracteres de tipo cuantitativo tengan una respuesta diferencial a las condiciones ambientales de temperatura, precipitación, radiación y del tipo de suelo (Molina, 1992), diferente estadísticamente respecto del ambiente de CEVAMEX-INIFAP (Texcoco) con un rendimiento de 7339 Kg ha⁻¹.

En la variable floración masculina, el ambiente del CEVAMEX-INIFAP (Texcoco) mostró ser más precoz con 77 días, en comparación con el ambiente de la FESC, UNAM (Cuautitlán) siendo más tardío con 10 días de diferencia (87 días); esta es una respuesta debido a las condiciones de disponibilidad de humedad y otras variables del clima, tal como lo reportaron Tadeo-Robledo *et al.*, (2012). La longitud de mazorca en CEVAMEX-INIFAP fue mayor en comparación a la longitud de mazorca de la FESC, UNAM. La relación hileras/ mazorca fue mayor en el ambiente de la FESC, UNAM (Tabla 4).

El rendimiento de grano del híbrido H-53 AE, difiere con el potencial productivo que señalan Espinosa-Calderón *et al.*, (2015) y Espinosa-Calderón *et al.*, (2019) con rendimientos de 9 a 12,5 t ha⁻¹, lo que se debe a la fecha de siembra, pues Espinosa-Calderón *et al.* (2015) recomiendan que este híbrido debe sembrarse en el mes de abril y el presente trabajo se estableció en junio; sin embargo, a pesar de que se sembró en una fecha tardía, se obtuvieron resultados favorables, ubicándose entre 6 y 7 t ha⁻¹, en las densidades de población.

La floración masculina, los dos progenitores en su versión fértil (M53F x M59) y androestéril (M53AE x M59) mostraron ser más precoces con 80 días después de la siembra, según lo reportado por Tadeo-Robledo *et al.*, (2012). En cruza simples existe una diferencia notable de casi 10 días; por el contrario, el H-53 AE resultó ser más tardío con 84 días similar a lo que reportan Espinosa-Calderón *et al.*, (2015).

La expresión de rendimiento mayor lo presentó el progenitor en su versión androestéril (M53AE x

M59) a una densidad de población de 70,000 plantas ha⁻¹ con 9165 Kg ha⁻¹, lo que se podría explicar con base en el gasto menor de fotosintatos al no producir granos de polen (Tadeo-Robledo & Espinosa-Calderón, 2007; Espinosa-Calderón *et al.*, 2010). El híbrido H-53 AE mostró el rendimiento menor en la densidad de población de 85,000 plantas ha⁻¹ con 6,943 Kg ha⁻¹, señalando, que este material es un híbrido trilineal producto de reciente investigación e inscrito en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), razón por la cual se tomó en cuenta para esta investigación.

Lo anterior indica que entre los tres genotipos evaluados se presentó una respuesta diferencial, es decir, aun cuando las dos cruza simples evaluadas poseen similitud (M53AE x M59 y M53F x M59), a la vez, ambos genotipos tienen suficiente diferencia genética y fenotípica con el híbrido trilineal (H-53 AE) (Espinosa-Calderón *et al.*, 2019; Tadeo-Robledo *et al.*, 2012;). Este resultado también coincide con lo reportado por Virgen-Vargas *et al.*, (2010) porque las cruza simples rinden generalmente más que los híbridos trilineales. En la interacción ambiente x densidad de población, el rendimiento, floración masculina y femenina y peso de 200 granos, presentaron diferencias altamente significativas, estos resultados coinciden con los reportados por Canales-Islas *et al.*, (2016). Las significancias estadísticas en esta fuente de variación señalan que, en los ambientes y su interacción con las densidades de población, hubo una respuesta diferencial de las densidades de población en los ambientes de prueba.

CONCLUSIONES

La productividad media de la cruza simple hembra (M53AE x M59) androestéril, y la cruza simple hembra (M53F x M59) fértil, progenitoras del híbrido trilineal H-53 AE en tres densidades de población y dos ambientes resultó superior a la del híbrido de maíz H-53 AE.

La densidad de población con mayor productividad, considerando la media de los dos ambientes y tres genotipos evaluados fue 70,000 plantas ha⁻¹, confirmando que esta densidad de población podría incorporarse en algún paquete tecnológico de producción de semilla y de grano de maíz.

El ambiente con mayor productividad, considerando los tres genotipos y las tres densidades de población empleadas, fue la FESC, UNAM (Cuautitlán), derivado de las condiciones ambientales por efecto de la disponibilidad de agua que se presentó y de las propiedades favorables del suelo en este ambiente.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México a través del programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), por el financiamiento del presente trabajo, específicamente a los proyectos: T201312 e IT200122.

Funding: The work was funded with resources from the PAPIIT UNAM projects T201312 and IT200122.

Conflict of interest: The authors have no conflict of interest to declare

Compliance with ethical standards: The nature of the work does not require approval by an ethical committee

Data availability: Data is available with the corresponding author upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). F.S. Martínez-Díaz- Data curation, Formal Analysis, Investigation, Methodology, writing; M Tadeo-Robledo- Conceptualization, Investigation, methodology, supervision, writing; A. Espinosa-Calderon -Conceptualization, Data curation, Formal Analysis, Investigation, methodology, supervision, writing; H. Alonso-Sánchez Investigation, supervision, resources; C. López-López-Conceptualization, supervision; J.A. Zaragoza-Esparza- Investigation.

REFERENCES

- Álvarez-Solís, J.D., Gómez-Velasco, D.A., León-Martínez, N.S. and Gutiérrez-Miceli, F.A., 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia*, 44, pp. 575-586.
- Canales-Islas, E.I., Tadeo-Robledo, M., Mejía-Contreras, J.A., García-Zavala, J.J., Espinosa-Calderón, A., Castillo-González, F., Sierra-Macias, M. and Gómez-Montiel, N., 2016. Estabilidad del rendimiento de grano en híbridos trilineales androestériles de maíz para Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(8), pp. 1815-1827.
- Castillo-Tovar, H., 2015. Abonos orgánicos para incrementar la producción de maíz en el norte y centro de Tamaulipas. Centro de Investigación Regional del Noreste. <http://iniapcirne.gob.mx/Eventos/2015/UsaAbonosOrganicosMaizTam.pdf>

- Cervantes-Ortiz, F., Covarrubias-Prieto, L., Rangel-Lucio, J.A., Terrón-Ibarra, A.D., Mendoza-Elos, M., and Preciado-Ortiz, R.E., 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), pp. 101-110.
- Donnet, M. L., López-Becerril, I.D., Domínguez-Méndez C., and Arista-Cortés, J., 2020. Análisis de la estructura del sector y la asociación público-privada de semillas de maíz en México. *Agronomía Mesoamericana*, 31(2), pp. 367-383. <https://doi.org/10.15517/am.v31i2.34894>
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Virgen V., J., Zamudio González, B., Turrent Fernández, A., and López-López, C., 2019. H 47AE, H 49AE y H 53AE híbridos de maíz con androesterilidad para Valles Altos. En: Primer Simposio para la Autosuficiencia y Soberanía Alimentaria de México. V Reunión Estatal de Investigación. Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Texcoco, México.
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Virgen V., J., Zamudio-González, B., Rojas, M.I., Turrent-Fernández, A., Vázquez C.G., Zepeda B.R., Gómez-Montiel, N., and Sierra-Macías, M., 2015. H-53 AE, híbrido de maíz para Valles Altos y Zona de Transición con androesterilidad para producción de semilla. Desplegable para productores número 63. Estado de México: CEVAMEX-INIFAP.
- Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Tadeo-Robledo, M., San Vicente-Tello, A., Gómez-Montiel, N., Valdivia-Bernal, R., and Zamudio-González, B., 2014. Ley de semillas y Ley Federal de Variedades Vegetales y transgénicos de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), pp. 293-308.
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Sierra-Macías, M., Valdivia-Bernal, R., and Gómez-Montiel, N., 2010. Despanojado y densidad de población en una cruza simple androestéril y fértil de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 2(1), pp. 21-29.
- Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M. and Turrent-Fernández, A., 2004. Fertilización y densidad de población en la producción de semilla de progenitores de híbridos de maíz. *FESC Div. Cient. Multidis*, 11, pp. 13-20.
- Espinosa-Calderón, A., Sierra-Macías, M., and Gómez-Montiel, N., 2003. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía Mesoamericana*, 14(1), pp. 117-121. <https://doi.org/10.15517/am.v14i1.11998>
- García, E., 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.
- García, Y., Ramírez, W. and Sánchez, S., 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), pp. 125-137. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269125071001>
- González, S. (21 de enero de 2020). México importará cifra récord de maíz este año por la sequía. La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/noticia/2020/01/21/economia/mexico-importara-cifra-record-de-maiz-este-ano-por-la-sequia-8730>
- Luna-Mena, B.M., Hinojosa-Rodríguez, M.A., Ayala-Garay, O.J., Castillo-González, F. and Mejía-Contreras, J.A., 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 35(1), pp. 1-7.
- Molina, J.D. 1992. *Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa: Algunas implicaciones en genotecnia*. 1ª ed. AGT Editor.
- Ortiz, C, J., Ortega, P, R., Molina, G.J.D., Mendoza, R.M., Mendoza, C.C., Castillo, G.F., Muñoz, O.A., Turrent, F, A., and Kato, Y. T. A., 2007. Análisis de la problemática de la producción nacional de maíz y propuesta de acción. Grupo Xilonen. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Chapingo, Estado de México. 29 p.

- SAS Institute Inc., 2002. Statistical Analysis System User's Guide. Cary, USA: SAS Institute.
- Tadeo-Robledo, M., Zamudio-González, B., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Cárdenas-Marcelo, A.L., López-López, C., Arteaga-Escamilla, I., and Valdivia-Bernal, R., 2015. Rendimiento de maíces nativos e híbridos en diferente fecha de siembra y sus unidades calor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(1), pp. 33-43.
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Chimal, N., Arteaga-Escamilla, I., Trejo-Pastor, V., Canales-Islas, E., and Zamudio-González, B., 2012. Densidad de población y fertilización en híbridos de maíz androestériles y fértiles. *Terra Latinoamericana*, 30(2), pp. 157-164.
- Tadeo-Robledo, M., and Espinosa-Calderón, A., 2007. Rendimiento de semilla de cruza simples fértiles y androestériles progenitoras de híbridos de maíz. *Agricultura Técnica en México*, 33(2), pp. 175-180.
- Tinoco-Alfaro, C., Ramírez-Fonseca, F., Villarreal-Farías, E., and Ruiz-Corral, A., 2008. Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. *Agricultura Técnica en México*, 3(34), pp. 271-278.
- Turrent-Fernández, A., Espinosa-Calderón, A., Cortés-Flores, J.I., and Mejía-Andrade, H., 2018. Análisis de la estrategia MasAgro-maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(8), pp. 1531-1547. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i8.833>
- Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J.I., Espinosa-Calderón, A., Hernández-Romero, E., Camas-Gómez, R., Torres-Zambrano, J.P., and Zambada-Martínez, A., 2017. MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(5), pp. 1169-1185. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116>
- Virgen-Vargas, J., Zepeda-Bautista, R., Ávila-Parches, M.A., Espinosa-Calderón, A., Arellano-Vázquez, J.L. and Gámez-Vázquez, A.J., 2016. Producción y calidad de semilla de maíz en valles altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), pp. 191-206. <https://doi.org/10.15517/am.v27i1.21899>
- Virgen-Vargas, J., Arellano-Vázquez, J.L., Rojas-Martínez, I., Ávila-Perches, M.A., and Gutiérrez-Hernández, G.F., 2010. Producción de semilla de cruza simples de híbridos de maíz en Tlaxcala, México. *Revista Fitotecnía Mexicana*, 33(4), pp. 107-110. <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.Especial4.107>