

Análisis de híbridos comerciales y mestizos de maíz formados con germoplasma del INIFAP y del CIMMYT

Gustavo Adrián Velázquez-Cardelas^{1§}

Andrés González-Huerta²

Delfina de Jesús Pérez-López²

Fernando Castillo-González³

¹Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Universidad Autónoma del Estado de México. Campus Universitario “El Cerrillo”. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, México. CP. 50200. Tel. 01(722) 2965574. (pcarn@uaemex.mx). ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento-Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma del Estado de México. AP. 435. Tel. 01(722) 2965518, ext. 148. ³Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco. Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 01(55) 58045900, ext. 1510. (agonzalez@uaemex.mx; djperez@uaemex.mx; fcastill@colpos.mx).

§Autor para correspondencia: gvecar@yahoo.com

Resumen

En este estudio se evaluaron 86 mestizos y 10 híbridos en cinco localidades del Centro de México en bloques completos al azar con dos repeticiones por sitio, considerando rendimiento de grano (REND), floraciones masculinas (DFM) y femeninas (DFF), alturas de planta (ALP) y mazorca (ALM), aspectos de planta (ASP) y mazorca (ASM), acames de tallo (PAT), raíz (PAR) y total (PACA), ahijamiento (PHI), pudrición de mazorca (PMP) y plantas cuatas (PPC). Hubo diferencias altamente significativas entre hembras y entre machos para casi todas las variables. La hembra uno presentó las medias más altas para la mayoría de las variables. La interacción machos x hembras fue altamente significativa para REND, DFF, ASM, PAT, PHI y PMP. Los machos con mayor rendimiento de grano y prolificidad 7, 38, 41, 35, 34, 33, 9, 24, 36, 30, 23, 32, 19, 10; de éstos 7 y 41 fueron los más tardíos. Todos los machos presentaron buen aspecto de planta y mazorca, así como acame y ahijamiento similares. El mayor porcentaje de pudrición de mazorca se presentó en 41, 30 y 27.

Palabras clave: *Zea mays* L.; Raza Cónico, mestizos, Valles Altos del centro de México.

Recibido: marzo de 2018

Aceptado: mayo de 2018

Introducción

En 2012, se sembraron 7.3 millones de ha de maíz y se obtuvo una producción de 22.07 millones (3.19 t ha⁻¹), con 7.5 y 2.2 t ha⁻¹, en riego y temporal, respectivamente (SIAP, 2014). En los Valles Altos del centro de México (2 101 a 2 800 msnm) se siembran 1 108 267 ha; 134 082 ha en riego, 306 828 ha en temporal favorable y 667 357 ha en temporal limitativo (Turrent, 1994).

Desde 1950, el INIFAP ha liberado más de 40 híbridos y variedades mejoradas (Gámez *et al.*, 1996) formados con líneas S₁-S₄ derivadas de criollos y algunas retrocruzas, pero con más depresión endogámica ocasionada por la alta frecuencia de genes deletéreos (Márquez, 1988). Recientemente se han derivado líneas S₇-S₈ de cruza simple formadas con líneas de Valles Altos y donadores de otras regiones (Velázquez *et al.*, 2013), éstas se han seleccionado *per se* pero no se ha evaluado su aptitud combinatoria.

La formación y evaluación de mestizos es importante para seleccionar a los mejores utilizando probadores adecuados y con base en su aptitud combinatoria (Welcker *et al.*, 2005; Lorenz *et al.*, 2009) y este ha sido el método principal (Bernardo, 2001) para seleccionar líneas que transmiten características deseables. Se han utilizado variedades, líneas recicladas, mezclas de variedades o híbridos (Pfarr y Lamkey, 1992). Un buen probador debe permitir clasificar el mérito de cada línea y maximizar la ganancia genética (Russell *et al.*, 1992; Menz *et al.*, 1999). En el contexto anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar mestizos formados con dos cruza simple del CIMMYT para identificar a los más sobresalientes.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

Esta investigación se realizó en primavera-verano de 2013 en temporal y punta de riego en cinco localidades del Centro de México, diferenciables por las características que se indican en el Cuadro 1.

Material genético

Se incluyeron 86 mestizos formados con 43 líneas de ciclo intermedio derivadas de la raza Cónico (Michoacán 21, Cuatero de la Virgen y Tlaxcala 151) y dos cruza simple del CIMMYT, identificadas como hembras 1) (CML 246 x CML 242) y 2) (CML 457 x CML 459). También fueron H-40, H-58E, H-76E, H-77E, H-66, H-70, HC-8, AS-722, P1684 e ICAMEX 2010.

Diseño experimental y tamaño de la parcela

Los 96 tratamientos fueron evaluados en campo en un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones por sitio en una serie de experimentos en espacio. La parcela experimental consistió de dos surcos de 5 m de longitud y 0.8 m de anchura (8 m²).

Cuadro 1. Descripción de las localidades.

Estado	Localidad	Localización	Condiciones de clima	Suelo predominante
México	Coatlinchán, Texcoco, México (Santa Lucía)	Latitud: 19°49'05" Longitud: 99°06'39" Altitud: 2262 m	T° media= 15.7 T° min= 6.7 T° max= 24.8 Pp anual= 539 mm	De origen volcánico, con cenizas cementadas entre 40 y 60 cm de profundidad. Clasificación textural: varía de texturas medias a finas (franco, franco-arcilloso). (Magaña & Juárez, 2003).
Tlaxcala	Estación Muñoz	Latitud: 19°20'37" Longitud: 98°12'13" Altitud: 2487 m	T° media= 14.1 T° min= 4.5 T° max= 23.7 Pp anual= 626 mm	Existen dos tipos: Cambisoles y Fluvisoles. Los Cambisoles son suelos con frecuencia con horizontes duripan ó tepetate. Fluvisoles comprenden sedimentos aluviales poco desarrollados y profundos (Cuellar, 2012).
México	Almoloya de Juárez	Latitud: 19°22'08" Longitud: 99°45'37" Altitud: 2 613 m	T° media= 13.3 T° min= 4.6 T° max= 22 Pp anual= 744	Predominan suelos sedimentados con alta proporción de arcillas expandibles (Vertisoles) y suelos de capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, pero sin las capas ricas en cal, profundos en terrenos planos. (Feozem) (Estrada, 2012).
México	Atlacomulco	Latitud: 19°78'83" Longitud: 99°94'25" Altitud: 2538 m	T° media= 13.9 T° min= 5.6 T° max= 22.2 Pp anual= 735 mm	Predomina el feozem, tierras pardas ricas en nutrientes, El segundo tipo es el Vertisol, suelos casi siempre muy fértiles, por su dureza dificulta su manejo para la labranza y con frecuencia presenta inundaciones. El tercer tipo es el Planosol, suelos fértiles planos pero viejos, conocidos como "tepetate", son fáciles de erosionar (Enciclopedia Atlacomulco, 2005).
México	Toluca	Latitud: 19°24'34.17" Longitud: 99°41'21.2" Altitud: 2 614 m	T° media = 13.1 T° min= 4.9 T° max=21.3 Pp anual= 800 a 1 000 mm	Suelos andosol, Litosol y Regosol, característicos de las zonas volcánicas y susceptibles a la erosión, la porción centro norte del municipio presenta suelos Feozem, Vertisol y Planosol, de mediana fertilidad agrícola, susceptibles de agrietamiento e inundación (Hernández, 2012).

Conducción de los experimentos

La preparación del terreno, la siembra, la fertilización y las labores culturales se llevaron a cabo conforme a las recomendaciones técnicas del INIFAP, se manejaron 75 000 plantas ha⁻¹. El control de malezas en pre y postemergencia se hizo con atrazina (33.7%) y S-metoloclor (26.1%) en 3 L ha⁻¹. Los ensayos fueron sembrados los días 9, 10, 16 y 17 de abril con punta de riego en Atlacomulco, Toluca, Almoloya de Juárez, y Coatlinchan, respectivamente y en temporal estricto en Estación Muñoz (24 de mayo). La cosecha en Santa Lucía se hizo a finales de noviembre y 2, 4, 5 y 9 de diciembre en Toluca, Atlacomulco, Almoloya de Juárez y Estación Muñoz, respectivamente.

Registro de datos

Las variables de interés fueron rendimiento de grano (REND; peso de todas las mazorcas de la parcela útil, corregidos por porcentaje de desgrane y humedad (14%) y extrapolado a kg ha⁻¹), floraciones masculina y femenina (DFM y DFF, días desde la siembra hasta que 50% de las plantas liberaron polen o tuvieron estigmas), alturas de planta y mazorca (ALP y ALM, medidas en cm desde la superficie del suelo hasta la base de la espiga o nudo de inserción de la mazorca), aspectos de planta y mazorca (ASP y ASM; calidad visual de tallo, planta y mazorca en escala del 1 al 5, donde 1 es mejor y 5 peor), acame de raíz (PAR, plantas con 35° o más de inclinación), acame de tallo (PAT), acame total (PACA; plantas con ambos acames), plantas con mala cobertura (PMC), porcentaje de hijos (PHI), mazorcas podridas (PMP) y plantas cuatas (PPC).

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y a la comparación de medias entre sitios y entre genotipos con las pruebas de Tukey (Martínez, 1988) o de Dunnett ($p= 0.05$). Las salidas fueron obtenidas con el sistema para análisis estadístico versión 9.2 para Windows. El programa para SAS fue elaborado por el Dr. Fernando Castillo González, profesor e investigador del Colegio de Postgraduados- México.

Resultados y discusión

En este estudio se detectaron diferencias significativas ($p= 0.05$ ó 0.01) entre localidades en las 14 variables. Este hecho sugiere que la heterogeneidad ambiental que existe el centro de México obliga al investigador a establecer ensayos en sitios contrastantes para identificar a los más favorables (Cuadro 2); Reynoso *et al.* (2014) y Torres *et al.* (2011, 2017) comentaron las diferencias en altitud y tipos de clima y suelo son los más importantes (Cuadro 1).

Los efectos significativos que se observaron entre tratamientos ($p= 0.01$) se explican por las diferencias estadísticas que hubo entre mestizos y entre híbridos comerciales (Cuadro 2). Obaidi *et al.* (1998); Castañón *et al.* (1998); Mihaljevic *et al.* (2005) observaron resultados similares. Este hecho evidencia una fracción sobresaliente del germoplasma que existe en la región central de México de las razas Cónico y Chalqueño y de otras del CIMMYT (González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014; Torres *et al.*, 2001, 2017).

Los efectos significativos que se detectaron en todas las variables entre hembras o entre machos explican la variabilidad fenotípica que se registró entre mestizos (Cuadro 2), las líneas evaluadas tuvieron un comportamiento diferente en sus respectivos mestizos y existe diversidad genética (Mosa, 2010). Ambas hembras pertenecen al CIMMYT y las 43 líneas son del INIFAP, derivadas de Michoacán 21, Cuatero de la Virgen y Tlaxcala 151. Castellanos *et al.* (1998) concluyeron que las cruza simples fueron la mejor alternativa como probadores para generar híbridos trilineales superiores. En otros estudios se concluyó que el comportamiento de los machos fue diferente, dependiendo de la hembra utilizada (Mosa *et al.*, 2008; Mosa, 2010; Habliza y Khalifa, 2015).

Los 10 híbridos comerciales fueron estadísticamente diferentes en 10 de las 14 variables. Se desconoce el origen de tres de ellos, pero se infiere que podrían tener germoplasma del CIMMYT, como H-40 y ICAMEX 2010; la hembra del primero tiene las mismas líneas del probador 1 y la hembra del segundo tiene los mismos progenitores del probador 2. H-58E, H-70, H-66, H-76E y H-77E están formados con germoplasma del CIMMYT y con líneas de Michoacán 21 y Tlaxcala 151, raza Cónico. En otros estudios se han hecho inferencias similares (González *et al.*, 2008; Quiroz *et al.*, 2017). Esta última situación podría explicar la cancelación de efectos que hubo en cruza vs híbridos; la media de cada grupo y su promedio podrían considerarse como estimador de la media de los 96 tratamientos.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F en el Anava combinado.

FV	GL	REND	DFM	DFF	ALP	ALM	ASP	ASM
Localidades (L)	4	1150045286**	40511.4**	35668.1**	66628.1**	29662.7**	27.4*	128.5**
Repeticiones /L	5	2698533	132.21	258.5	699.5	1005.74	2.63	3.19
Tratamientos (T)	95	5325781**	47.5**	60**	1568.3**	756.5**	3.8**	1.5**
Cruzas (C)	85	5677303**	47.35**	58.68**	1654.2**	783.35**	3.72**	1.45**
Hembras (H)	1	70431245**	441.22**	77.4**	13476.6**	85.64 ^{ns}	86.53**	38.89**
Machos (M)	42	7759204**	79.29**	106.96**	1894**	1201.43**	4.74**	1.5**
H x M	42	2053642**	6.02 ^{ns}	9.95**	1132.8 ^{ns}	381.89 ^{ns}	0.73 ^{ns}	0.51**
Híbridos (HI)	9	2581627**	44.16**	66.28**	878.99 ^{ns}	458.89 ^{ns}	4.69**	2.31**
C vs HI	1	143157 ^{ns}	94.14**	118.9**	121.6 ^{ns}	1149.6 ^{ns}	6.43**	0.53 ^{ns}
T x L	380	1839167**	5 ^{ns}	6.9*	917.5 ^{ns}	400.1 ^{ns}	1.2**	0.52**
C x L	340	1833634**	4.86**	7.03**	1001.8**	431.59**	1.2**	0.49**
H x L	4	11287051**	27.38**	48.78**	819.9 ^{ns}	366.5 ^{ns}	22.91**	3.24**
M x L	168	2109391**	5.6**	7.56**	1023**	475.22**	1.24**	0.56**
H x M x L	168	1332796**	3.59 ^{ns}	5.51 ^{ns}	985**	389.5**	0.64 ^{ns}	0.36**
HI x L	36	1948314**	6.61*	6.48 ^{ns}	183.45 ^{ns}	131.13 ^{ns}	1.1**	0.69**
C vs HI x L	4	1327131*	4.2 ^{ns}	7.5 ^{ns}	354 ^{ns}	153.5 ^{ns}	4.5**	1**
Error combinado	475	437453	4.45	5.96	881.61	380.72	0.65	0.32
CV		10.9	2.2	2.5	14.56	19.4	28.5	18.6

REND= rendimiento de grano; DFM= floración masculina; DFF= floración femenina; ALP= altura de planta; ALM= altura de mazorca; ASP= aspecto de la planta; ASM= aspecto de la mazorca; *, ** = significativo al nivel de probabilidad del 0.05 y 0.01, respectivamente.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F en el Anava combinado (continuación).

FV	GL	PAR	PAT	PACA	PMC	PHI	PMP	PPC
Localidades (L)	4	7707**	1799.1**	8410.24**	3823.6**	5000.4**	75127.8**	26876.02**
Repeticiones /L	5	323.37	97.16	512.79	95.84	328.5	124.37	411.1
Tratamientos (T)	95	255.3**	153.79**	584.3**	65.18**	35.6**	187.2**	228.6**
Cruzas (C)	85	243.41**	138.6**	534.75**	68.19**	36.71**	179.59**	230.3**
Hembras (H)	1	3089.41**	2421.89**	10994.19**	2033.72**	288.26**	213.8**	1506.9**
Machos (M)	42	333.36**	162.71**	696.75**	62.79**	35.53**	270.5**	335.22**
H x M	42	85.7 ^{ns}	60.1**	123.72 ^{ns}	26.79 ^{ns}	31.9*	87.8**	94.9 ^{ns}
Híbridos (HI)	9	372.24**	303.74**	1050.74**	30.97 ^{ns}	26.7 ^{ns}	239.86**	216.7**
C vs HI	1	214.96**	95.16**	596.85*	117.03 ^{ns}	26.86 ^{ns}	365.56**	196.69 ^{ns}
T x L	380	114.5**	72.86**	194.9**	42.03*	26.1*	93**	89.4**
C x L	340	117.8**	71.47**	191.96**	42.75**	26.3**	90.71**	91.32**
H x L	4	376.8**	1361.2**	1210.43**	426.23**	182.39**	1869.14**	700.77**
M x L	168	150.47**	73.6**	252.91**	38.26**	24.4**	90.73**	90.51**
H x M x L	168	78.95**	38.5 ^{ns}	106.7**	38.1**	24.45**	48.3**	77.62**
HI x L	36	92.78 ^{ns}	69.68**	200.3**	26.8**	26.33 ^{ns}	119.96**	78.8 ^{ns}
C vs HI x L	4	30.7 ^{ns}	219.9**	404.6**	117.4**	8.3 ^{ns}	44.9 ^{ns}	26 ^{ns}
Error combinado	475	71.99	39.15	95.9	33.75	21.76	33.92	70.35
CV		116.5	102.45	73.13	72.33	79.38	46.64	60.66

PAR= acame de raíz; PAT= acame de tallo; PACA= ambos acames; PMC= plantas con mala cobertura; PHI= porcentaje de hijos; PMP= mazorcas podridas; PPC= plantas cuatas; *, **= significativo a los niveles de probabilidad del 5 y 1%, respectivamente.

La interacción tratamientos x localidades significativa en 11 variables ($p=0.05$ ó 0.01) sugiere que las cruzas y los híbridos son inestables. En el resto de las interacciones que se presentan en el Cuadro 2 se observó una tendencia similar. Esta condición dificultará la identificación del material genético de alto rendimiento y con adaptabilidad a las condiciones ambientales del área de estudio. La inestabilidad fenotípica obliga al fitomejorador a elegir genotipos con adaptación específica; la generación, validación, aplicación y transferencia de tecnología también estará condicionada y habrá efectos colaterales en los programas de incremento y producción de semillas. México podría ser autosuficiente en la producción de maíz identificando una fracción superior del germoplasma disponible en las diferentes instituciones de investigación y enseñanza (González *et al.*, 2010; Franco *et al.*, 2016; Torres *et al.*, 2011, 2017).

Los mayores rendimientos de grano se observaron en el Valle Toluca-Atlaquemulco (de 6 635 a 8 700 kg ha⁻¹). También se registró el mayor ciclo biológico, las mayores y los mejores aspectos de alturas de planta y mazorca, menos acame de tallo, raíz y de ambos, y más prolificidad. La pudrición de mazorca fue inferior al 6% y hubo más ahijamiento (Cuadro 3). En otros estudios se ha destacado el alto potencial que tiene esta región mexicana, donde se tienen buenas condiciones de clima y suelo que favorecen el crecimiento y desarrollo de los maíces, en ausencia de heladas tardías o tempranas y escasa precipitación pluvial; se han registrado entre 4 y 10 t ha⁻¹ de grano (González *et al.*, 2008; González *et al.*, 2010; Reynoso *et al.*, 2014; Quiroz *et al.*, 2017; Torres *et al.*, 2011, 2017).

Cuadro 3. Comparación de medias entre sitios (S) de evaluación.

S	REN	DFM	DFE	ALP	ALM	ASP	ASM	PAR	PAT	PACA	PMC	PHI	PMP	PPC
1	8700a	97.3c	97.0b	216.8a	105.7a	2.9a	3b	8.3bc	4.7b	13.1a	14.2a	13.6a	5.5b	30.4a
2	7821b	102.7b	103.5b	226a	115.1a	2.8ab	3b	9.6ab	6.4b	16.1a	10.8ab	5.5b	5.3b	21b
3	6635c	109.7a	111.2a	204.5b	104.5ab	2.1b	2.5bc	0.7d	2.7b	3.4b	6.9bc	7.4ab	3.2bc	10.9c
4	4102d	96.5c	97.3b	179.5d	83.2c	3.1a	2.1c	16.1a	5.5b	21.6a	3.3c	0.7b	0.5c	1.5d
5	2942e	71.3d	74.6c	192.3d	92.6bc	3a	4.3a	1.5cd	11a	12.5ab	4.8c	1.9b	47.6a	5.1cd
M	6040	95.5	96.7	203.8	100.2	2.8	3	7.2	6.1	13.4	8	5.8	12.4	13.8
D	672.5	4.7	6.5	10.8	12.9	0.66	0.73	7.3	4	9.2	4	7.4	4.5	8.3

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares. REND= rendimiento de grano; DFM= floración masculina; DFE= floración femenina; ALP= altura de planta; ALM= altura de mazorca; ASP= aspecto de la planta; ASM= aspecto de la mazorca; PAR= acame de raíz; PAT= acame de tallo; PACA= ambos acames; PMC= plantas con mala cobertura; PHI= porcentaje de hijos; PMP= mazorcas podridas; PPC= plantas cuatas; M= media aritmética; D= diferencia mínima significativa; 1= Atlacomulco; 2= Almoloya de Juárez; 3= Toluca; 4= Estación Muñoz; 5= Santa Lucía.

Los rendimientos de grano en los 96 tratamientos variaron de 3 176 a 7 312 kg ha⁻¹; 72 mestizos (83%) fueron estadísticamente iguales a H-40, de éstos, 33 (38%) lo superaron de 0.5 a 15.8% y 23 o 20 fueron estadísticamente más precoces en DFM o en DFE y tuvieron medias similares en ALP, ALM, ASM, PMC, PHI y PMP. Sólo 41 y 84 presentaron peor ASP, atribuible a mayor PAR, PAT y PACA. La cruza 70 lo fue para PAT y PACA. Las cruza 38 y 81, presentaron mayores PPC. En esta región de México son deseables híbridos y variedades de alto rendimiento y estabilidad, precoces, de alturas de planta y mazorca intermedias, resistentes al acame (González *et al.*, 2008; González *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2011, 2017) como 81, 34, 41, 10, 33 y 59 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de medias de tratamientos.

Trat	REND	DFM	DFE	ALP	ALM	ASP	ASM	PAR	PAT	PAC	PMC	PHI	PMP	PPC
81	7312.7*	96.3	97.5	207.9	99	2	2.7	5.1	3.4	8.5	7	4.7	8.7	25.1*
34	7306.4*	93.4*	95.1*	199.6	91.2	2.4	2.3	4.3	3.1	7.4	9.8	5.2	8.6	12.4
41	7284.1	98.8	100.5	224.9	126.1	4.5*	2.5	20.2*	9.6	29.8*	8.7	5.6	16.1	20
10	7152.2	91.7*	92.4*	193.9	98.2	2.6	2.6	3.1	5	8.1	7.3	5.8	6.3	17
33	7111.7	93.0*	94.1*	202.2	96.7	2.4	2.6	3.6	3.8	7.4	5.4	6.9	7.9	15
50	7066.9	100.3	102.5	215.5	108.2	2.9	3	9.6	8.8	18.3	7.4	3.6	9.7	14
35	6965.8	93.9*	95.1*	202	94.6	2.7	2.4	3.2	7.3	10.5	7.9	5.2	7.1	14.6
H-76-E	6944.8	94.6*	96.1	210.4	103.2	2.5	2.6	5.3	3.4	8.7	8	6.5	14.3	14.8
7	6921.4	99.7	101.5	210.9	105.4	2.2	2.7	14.9	4.2	19.1	6.1	3	10.2	14.5
11	6894	93.3*	94.3*	198.3	97.1	3.4	2.6	6.9	5	11.8	5.4	8.8	6.5	19.1
29	6806.4	93.1*	94.1*	239.4	101.2	2.1	3.1	1.1	3.5	4.7	5.7	4.7	7.1	11.1
23	6796.4	92.7*	95*	208.9	107.2	2.7	2.5	3.6	7	10.6	3.5	6	7.3	9.9
31	6790.2	94.2*	96.1	195.8	86.4	1.7	3	1	1.6	2.6	5.3	8.8	10.8	7.7
12	6750.5	95.1	97.1	197	95	1.8	2.6	1.5	2.3	3.9	7	4.1	5.9	13.3
36	6713.4	93.5*	94.9*	200.8	89.7	2.3	2.9	3.9	4.5	8.4	8.2	7.3	11.2	18.5
13	6693.1	95.2	97.9	197.2	94.4	1.7	2.5	2.1	2	4.1	4.0	7.1	7	10.7
14	6684.1	96.4	97.5	194.2	92.7	1.9	2.4	4.2	2.7	6.8	4.7	4.6	9.1	11.1

Trat	REND	DFM	DFE	ALP	ALM	ASP	ASM	PAR	PAT	PAC	PMC	PHI	PMP	PPC
32	6683.8	93.3*	95.3*	206.3	95.7	2.2	2.9	5.4	2.9	8.3	8.4	4.4	6.6	13.9
H-77-E	6677.7	94.6*	95.3*	212.8	102.2	2.6	2.4	4.5	4.4	8.9	7	6	12.9	18.5
24	6641	92.1*	94.1*	206	100.8	2.7	2.5	3.4	7.1	10.4	4.7	5.9	8.6	8.4
70	6634.1	95.1	95.4*	228.8	93.6	3.6	3.2	10.7	17.9*	28.6*	10.5	5.4	16.7	10.2
38	6626.6	94.1*	95.4*	212.2	99.7	2.2	2.5	6.5	2.4	8.9	2.4	6.1	13.8	25*
30	6610.7	93.1*	95.1*	203	99.4	2.2	3.3	1.5	1	2.5	6.2	5.6	17.2	9.6
78	6556.7	95.7	96.4	205.5	99.1	3.3	3.1	11.2	8.5	19.8	12.1	9	11.8	19.2
9	6530.3	94.3*	95.3*	201.7	101.9	2.8	2.6	3.2	4.1	7.3	10.8	4.4	3.6	15.4
84	6503.5	99.8	101.1	216.3	116	4.8*	3.3	20.7*	25.1*	45.8*	10.9	6.2	15.9	22.8
26	6495.5	92.4*	94.2*	248.1	100.6	2.1	2.6	2.2	1.8	4	5.8	6.7	10.9	9.7
22	6483.1	94.1*	95.1*	207.2	104.4	2.7	2.4	3.5	7.3	10.9	9.2	7.2	11.8	8.6
52	6481.6	96.4	97	198.8	115.9	3.3	3.2	6.6	8.7	15.2	10.3	4.3	10.5	23.7
HC-8	6467.7	95.5	95.8*	187.1	86.7	2.2	2.6	4.5	2	6.5	8.6	4.4	6.4	18.2
28	6454.1	93.9*	96.1	209.6	107.2	2.8	2.3	3.4	7.6	11	5.9	5	8.1	8.5
19	6442.0	93.8*	95.4*	210.8	98.6	2.5	2.7	5.6	2.8	8.4	10.7	5.4	4.4	8
64	6355.1	94.2*	95.1*	197.5	99.5	3	3.3	6.3	9.4	15.8	7.4	4.1	15.5	12.7
67	6353.0	94.2*	94.4*	200.6	101	3.3	3.2	6.9	7.6	14.5	11.3	7.8	12.3	15.3
25	6349.9	93.3*	96	211.5	112.4	2.4	2.7	3.7	8.8	12.5	6	9.4	8.4	12.5
37	6348.1	94.9*	95*	196.5	85.3	2.3	2.9	6.1	5.3	11.4	7.4	8.2	12.2	15
H-40	6314.7	98.1	99.6	206	105.9	2.8	2.6	7.4	3.4	10.8	5	4.6	9.5	12
62	6297.9	96.1	96.5	206.1	96.4	2.9	3.3	9.1	6.3	15.4	16.1*	2.4	9.3	9.4
17	6295.4	95.1	96.4	213.7	101.5	2.4	3.1	4.3	4.2	8.5	8.7	4.4	9.2	11
73	6242.5	93.3*	93.7*	192.7	95.4	3.3	3.4	6.2	9.9	16.2	9.9	4.2	14.1	5.9
76	6228.4	95.2	95.5*	201.5	97.7	3.4	3.2	14.5	7.3	21.8	11.8	3.8	14	18.4
15	6204.6	94.9*	96.8	191	87.3	1.6	2.6	1.7	1.3	3	7.5	6.9	9.6	9.3
65	6177	94.4*	95.2*	191.6	95.9	2.9	3	2.2	10.2	12.4	12.3	5.5	14.4	11.5
68	6168.3	93*	93.5*	194.5	95.9	2.9	3.2	2.6	7.9	10.5	8.1	5.7	15.2	11.3
21	6149.9	92.8*	94.1*	202.4	100.5	2.9	2.7	5.9	4.5	10.3	6.2	10.3	11.7	13.4
79	6148.8	94.3*	94.3*	192.5	86.5	2.6	3.5*	7.3	3.9	11.2	13.6*	7.3	9.5	12.6
77	6143.5	94.3*	94.5*	194.9	89.6	3.2	3.1	11.7	8.4	20	10.8	1.8	11.7	20.2
80	6119.3	94.6*	95.7*	188.1	89.6	2.8	3.7*	11.1	3.6	14.7	8.8	4.6	9	13
75	6082.6	94.3*	94.6*	205.5	96.7	3.4	3.1	11.2	8.5	19.7	7.7	5.8	8.1	9.4
83	6075.6	96.9	97.9	213.6	138.1*	4.1*	3	19.5	11.2	30.6*	7.7	5.5	13.7	19.4
H-66	6043.1	95.9	97.4	203.8	107.8	3.5	3.4	11.5	11.7	23.2	9.7	9.5	13.7	18.6
66	5995.6	94.3*	94.6*	195.3	95.3	2.7	3.3	2	6.1	8.1	9.8	5	18.5*	11.8
71	5977.2	94.3*	94.4*	246	103.3	3.5	3.5*	9.7	7.1	16.7	11.7	5.8	10.7	8.8
69	5958.2	93.9*	95.2*	191.5	105.9	2.7	3.4	4.5	3.2	7.7	8.8	5	14.3	8.3
39	5917	96.8	98	204.3	108.3	3.4	3.3	7.7	7.3	15	5.4	10.5	18.6*	16.3
27	5913.5	92.6*	93.4*	207.3	102.4	3.3	2.9	8.8	6.7	15.5	9.7	5.4	13.6	6
74	5891.3	93.7*	94.3*	188.6	88.6	2.8	3.5*	5.6	4.2	9.8	8.2	4.2	7.8	11.6
16	5889.6	94.9*	96.8	203.7	94.5	2.1	3.1	1.8	2.8	4.6	5.3	6.4	10.9	9.2
3	5879.4	97.5	99.7	250.9*	104.3	2.6	3.1	9.7	5	14.7	4.7	6.2	20.9*	10.4

Trat	REND	DFM	DFF	ALP	ALM	ASP	ASM	PAR	PAT	PAC	PMC	PHI	PMP	PPC
18	5879.0	95.1	97.1	204.3	114.3	1.9	3.1	4.6	2.2	6.7	6.3	6.3	11.3	12.5
42	5855.2	97.9	100.4	212.4	96	2.7	2.7	10.7	2.8	13.4	3.3	6.7	20.7*	13.5
63	5843.3	95.5	96.1	200.0	98.3	3.3	3.3	5.6	11.4	17	6.9	4	11	6.3
H-58-E	5841.8	99.8	101.8	215	107.1	2.6	3.6*	5.7	3.1	8.8	5.4	6.2	18.5*	11.6
54	5829.8	96.4	96.8	186.7	92.7	3.1	3.4	6.8	11.6	18.4	8.8	4.7	10.4	25.5*
20	5790.1	95.9	97.2	211.3	102.6	2.3	3.1	4.8	2.1	7	5.7	5.9	11.6	10.9
6	5765.5	93*	95*	209.8	101.3	2.5	3.3	6.2	4.6	10.8	7	8.5	16.6	10.3
4	5759.8	94.5*	95.8*	208.6	104.2	2.7	3.5*	4.5	4.1	8.6	6.4	9.6	15.2	11.2
82	5739.2	97.2	97.5	211	104	4.1*	3.4	17.3	15.8*	33.1*	6.2	5	17.8	19.2
H-70	5729.9	96.6	97.8	192.6	103.8	4.1*	3.7*	18.5	19.2*	37.7*	7.6	8.4	13.4	11.2
AS-722	5728	94.6*	96.8	210	113	3.8	3.3	6.3	12	18.3	4.0	5.7	24.1*	7.4
60	5713.1	96.2	97.1	202.5	97.4	3.2	3.3	13.9	6.8	20.6	12	4.5	14.2	11.3
72	5711.6	94.3*	94.1*	196	101.1	2.5	3.9*	2.5	5.9	8.4	12.7	4.4	9.3	11.2
61	5680.7	97.7	99.2	195.5	91.2	3.3	3.1	14.5	3.9	18.5	11.1	7.4	12.9	16
57	5680.1	97.3	98	191.5	111.6	2.4	2.9	7.7	6	13.7	8.7	7.1	10.8	17
IC-2010	5667.5	99.9	102.2	215.3	103.1	3.9	2.7	20.24*	5.3	25.5*	7.1	7.4	12.9	16
58	5649.9	96	96.9	181.8	85.4	2.6	3	4.3	5.3	9.6	4.9	3.7	12.4	20
55	5634.4	97.5	98.8	188	88.1	2.9	3.2	5	4.7	9.7	8.8	3.9	9.4	10.9
5	5632.7	93.8*	95.6*	213.2	107.7	2.6	3.4	6.5	4.5	11	9.4	9.4	17.6	14.1
53	5581.5	96.3	97.2	189.3	98.1	3	3.4	5.7	5.4	11.1	8.8	6.2	9.6	26.8*
85	5491.6	100.2	101.9	203.1	110.3	3.6	2.7	27.8*	2.4	30.1*	7.9	8.8	18.5*	18.3
2	5477.3	98.3	100.3	202.8	99.4	2.7	3.1	4.4	4.6	9	4.9	3.7	19.2*	9.8
8	5458.8	93.7*	95.2*	204.3	99.0	2.5	3.5*	4.6	4.4	9	5.8	6.6	15	9.2
49	5367.3	95.4	96.4	194.6	98.8	2.5	3.5*	6.8	9.5	16.2	9.3	5.7	14.4	7.7
P- 1684	5346.3	94.9*	95.2*	206.5	101.8	2.9	2.8	2.8	5.9	8.7	8	5.2	17.2	23.1
43	5310.4*	96.6	98.7	191.1	90.5	1.9	3	2.3	2.4	4.8	5.4	6.1	12.7	12.5
1	5086.3*	99.5	101.8	202.1	101	2.7	3.3	7	2.6	9.6	7.9	5.3	21.5*	12.3
40	5057.7*	96.5	98.3	214.9	111.2	3.3	3.4	11	7.1	18.1	8.8	5.5	23.7*	9.7
46	5055.8*	100.6	102.7	199.3	115	3.6	3.1	14.8	4.6	19.4	7.6	4.7	14.8	13.2
56	4955.2*	97.1	97.8	188.2	91.8	2.4	2.7	6.6	4.6	11.1	9.7	10	10.3	21.4
59	4853.5*	96.2	97.4	201	96.9	3	3.4	6.5	8.2	14.7	13.1	9.6	15.5	14.6
86	4852.7*	98.9	100.3	185.7	89.2	3	3.1	10.1	3.3	13.4	8.5	5	7.9	12.7
47	4828.4*	94.4*	94.6*	200.1	101.5	3.2	3.6*	9.8	5.1	14.9	10.6	4	15.6	16
51	4808.6*	95.8	96.5	197	99.6	3.2	3.7*	6.1	7.5	13.6	10.3	6.2	15	10.1
48	4217.5*	95.9	96	201.5	102.8	3.2	3.6*	5.3	7.9	13.2	11	3.4	12.7	16
44	3805*	100.2	101.9	202.2	108.2	3.2	3.5*	8	6	14	10.5	3.8	21.9*	16.5
45	3176.7*	100.6	102.5	197.3	91.4	3.5	3.3	8.4	7.1	15.5	7.2	1.9	13.5	19.9
DMS	976.3	3.1	3.6	43.8	28.8	1.19	0.8	12.5	9.2	14.4	8.5	6.8	8.5	12.3

REND= rendimiento de grano; DFM= floración masculina; DFF= floración femenina; ALP= altura de planta; ALM= altura de mazorca; ASP= aspecto de la planta; ASM= aspecto de la mazorca; PAR= acame de raíz; PAT= acame de tallo; PAC= ambos acames; PMC= plantas con mala cobertura; PHI= porcentaje de hijos; PMP= mazorcas podridas; PPC= plantas cuatas; * = estadísticamente diferente de H-40 (Dunnett, $p= 0.05$).

La hembra uno (CML246 x CML242) sobresalió en rendimiento de grano, alturas de planta y mazorca, ahijamiento y aspectos de planta y de mazorca y tuvo menores promedios en floraciones masculina y femenina, acames de raíz, tallo y total, cobertura de mazorca, pudrición de mazorca y prolificidad (Cuadro 5). Su superioridad ha sido destacada en otros híbridos de Valles Altos del centro de México (González *et al.*, 2008; Torres *et al.*, 2011, 2017; Quiroz *et al.*, 2017).

Cuadro 5. Comparación de medias entre hembras. Tukey (T, 0.05).

	REN	DFM	DFF	ALP	ALM	ASP	ASM	PAR	PAT	PACA	PMC	PHI	PMP	PPC
1	6322a	94.7b	96.3b	207.5a	100a	2.4b	2.8b	5.2b	4.3b	9.5b	6.6b	6.3a	11.7b	12.3b
2	5749b	96.1a	96.9a	199.6b	99.5a	3.1a	3.2a	9a	7.6 ^a	16.6a	9.6a	5.2b	12.7a	14.9a
T	88.7	0.3	0.3	4	2.6	0.1	0.1	1.1	0.8	1.3	0.8	0.6	0.8	1.1

Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares. REND= rendimiento de grano; DFM= floración masculina; DFF= floración femenina; ALP= altura de planta; ALM= altura de mazorca; ASP= aspecto de la planta; ASM= aspecto de la mazorca; PAR= acame de raíz; PAT= acame de tallo; PACA= ambos acames; PMC= plantas con mala cobertura; PHI= porcentaje de hijos; PMP= mazorcas podridas; PPC= plantas cuatas.

Los machos con mayor rendimiento de grano fueron 7, 38, 41, 35, 34, 33, 9, 24, 36, 30, 23, 32, 19, 10, 11 (6 362 a 6 994 kg ha⁻¹) sólo 7 y 41 fueron más tardíos. No hubo diferencias significativas en sus alturas de planta, pero si las de mazorca; también presentaron buen aspecto de planta y mazorca, porcentajes similares de acame, ahijamiento y los más prolificos fueron 38, 11, 10, 41, 9, 35, 33, 34 y 36 (Cuadro 6). Esta fracción superior podría emplearse en esta región de México para generar nuevos híbridos de tres y cuatro líneas con doble propósito: producción de más grano y materia verde o seca.

Cuadro 6. Comparación de medias entre machos.

Macho	REND	DFM	DFF	ALP	ALM	ASP	ASM	PAR	PAT	PACA	PMC	PHI	PMP	PPC
7	6994.2	100	102	213.2	106.8	2.6	2.8	12.2	6.5	18.7	6.7	3.3	9.9	14.2
38	6969.7	95.2	96.5	210.1	99.3	2.1	2.6	5.8	2.9	8.7	4.7	5.4	11.2	25.1
41	6893.8	99.3	100.8	220.6	121.1	4.7	2.9	20.5	17.4	37.8	9.8	5.9	16	21.4
35	6761.3	94.8	95.8	203.8	96.9	3	2.7	7.2	7.9	15.1	10	7.1	9.5	16.9
34	6725	93.9	94.8	197.3	90.4	2.8	2.7	8	5.8	13.7	10.3	3.5	10.1	16.3
33	6670	94.1	94.8	201.9	97.2	2.9	2.9	9	5.6	14.6	8.6	5.4	11	16.7
9	6506	95.4	96.2	200.3	108.9	3.1	2.9	4.9	6.4	11.3	10.5	4.4	7	19.5
24	6497	93.2	94.3	203.3	100.9	3	2.8	5.1	7.4	12.5	8	6.9	10.4	11.9
36	6431.1	93.9	94.6	196.7	88.1	2.4	3.2	5.6	4.2	9.8	10.9	7.3	10.4	15.6
30	6426.6	93.2	94.4	197.9	97.4	2.8	3.3	3.8	5.5	9.3	8	4.9	15.6	7.7
23	6396	93.5	94.8	202.1	101.2	2.7	2.9	2.8	6.6	9.3	6.6	5.5	12.9	10.8
32	6383.2	93.8	95	205.9	96.2	2.8	3	8.3	5.7	14	8	5.1	7.4	11.7
19	6370	95	96	208.4	97.5	2.7	3	7.3	4.6	11.9	13.4	3.9	6.9	8.7
10	6366.8	94	94.8	191.6	98.1	2.8	3	4.4	5.2	9.6	8	6	8	22
11	6361.9	94.9	95.6	192.5	94.9	3.3	3	6.9	8.3	15.1	7.1	6.8	8.5	22.3
31	6340.7	94	95.2	192.2	87.5	2.3	3.3	3.3	2.9	6.2	6.7	6.5	9.3	9.6
22	6330	94.3	95.2	199.4	100.2	2.8	2.7	2.9	8.8	11.6	10.7	6.3	13.1	10

Macho	REND	DFM	DFF	ALP	ALM	ASP	ASM	PAR	PAT	PACA	PMC	PHI	PMP	PPC
27	6273.8	93.9	94.4	218.1	98	3.4	3.1	9.8	12.3	22.1	10.1	5.4	15.2	8.1
25	6259.1	93.2	94.8	203	104.1	2.7	2.9	3.1	8.4	11.5	7	7.5	11.8	11.9
29	6259	93.7	94.1	217.7	101.2	2.3	3.5	1.8	4.7	6.5	9.2	4.6	8.2	11.1
21	6252.5	93.5	94.6	200	100	3	3	6.1	7	13.1	6.8	7.2	13.6	13
37	6233.7	94.8	95.4	192.3	87.5	2.6	3.3	8.6	4.5	13.1	8.1	6.4	10.6	14
26	6226.8	93.2	94.7	219.8	103.3	2.4	3	3.4	2.5	5.9	7.3	5.8	12.6	9
28	6215.6	94.1	95.3	227.8	105.3	3.2	2.9	6.5	7.3	13.9	8.8	5.4	9.4	8.7
12	6192.4	96.3	98	192.5	91.6	2.4	2.9	3.3	3.5	6.8	7.9	4	7.7	12.1
14	6182.1	96.9	97.8	192.9	102.2	2.1	2.6	6	4.3	10.3	6.7	5.8	9.9	14.1
17	6004.2	95.7	96.8	208.1	99.5	2.8	3.2	9.1	5.5	14.6	10.3	4.4	11.7	11.1
15	5927.2	95.5	96.9	186.4	86.3	2.1	2.8	3	3.3	6.3	6.2	5.3	11	14.6
39	5828.1	97	97.8	207.7	106.2	3.7	3.3	12.5	11.6	24.1	5.8	7.8	18.2	17.7
13	5824.2	96.2	97.9	192.7	93.1	2.1	2.6	4.3	3.3	7.6	6.8	8.5	8.6	16
20	5816.7	95.7	96.7	205.7	100.5	2.8	3.2	5.2	6.8	12	6.3	5	11.3	8.6
18	5779.9	96.4	98.2	199.9	102.7	2.6	3.1	9.6	3.1	12.6	8.7	6.9	12.1	14.2
42	5673.4	99.1	101.2	207.7	103.2	3.1	2.7	19.3	2.6	21.8	5.6	7.8	19.6	15.9
40	5566.6	96.7	98.1	214.2	124.7	3.7	3.2	15.2	9.1	24.4	8.3	5.5	18.7	14.5
6	5566.4	94.2	95.7	202.2	100	2.5	3.4	6.5	7	13.5	8.1	7.1	15.5	9
3	5467.6	99.1	101.2	225.1	109.6	3.1	3.1	12.3	4.8	17	6.2	5.5	17.9	11.8
16	5371.6	95.6	97.1	202.4	95.7	2.5	3.3	4.1	5.5	9.7	9.2	8	13.2	11.9
4	5294.1	94.5	95.2	204.3	102.8	3	3.6	7.2	4.6	11.8	8.5	6.8	15.4	13.6
8	5133.7	94.8	95.9	200.6	99.3	2.9	3.6	5.4	6	11.3	8	6.4	15	9.6
43	5081.6	97.8	99.5	188.4	89.8	2.4	3	6.2	2.9	9.1	6.9	5.6	10.3	12.6
5	4925.1	94.9	95.8	207.4	105.2	2.9	3.5	5.9	6.2	12.1	10.2	6.4	15.2	15
1	4445.7	99.9	101.9	202.2	104.6	3	3.4	7.5	4.3	11.8	9.2	4.5	21.8	14.4
2	4327	99.5	101.4	200.1	95.4	3.1	3.2	6.4	5.8	12.2	6	2.8	16.4	14.9
DSH(0.05)	826.5	2.64	3.05	37.1	24.4	1	0.71	11	7.8	12.24	7.26	5.8	7.28	10

REND= rendimiento de grano; DFM= floración masculina; DFF= floración femenina; ALP= altura de planta; ALM= altura de mazorca; ASP= aspecto de la planta; ASM= aspecto de la mazorca; PAR= acame de raíz; PAT= acame de tallo; PACA= ambos acames; PMC= plantas con mala cobertura; PHI= porcentaje de hijos; PMP= mazorcas podridas; PPC= plantas cuatas.

Conclusiones

Las mejores localidades para la evaluación del material genético fueron Atlacomulco, Almoloya de Juárez y Toluca.

La interacción tratamientos x localidades y el resto de las interacciones fue significativa en la mayoría de las variables evaluadas, por lo que el comportamiento del material genético a través de los ambientes de evaluación es diferente. Se sugiere dar mayor importancia a la adaptación específica.

La hembra uno (CML246 x CML242) contribuyó a la formación de mestizos de mayores dimensiones en rendimiento de grano, alturas de planta y mazorca, ahijamiento y aspectos de planta y de mazorca; también tuvo menores promedios en floraciones masculina y femenina, acames de raíz, tallo y total, cobertura de mazorca, pudrición de mazorca y prolificidad.

La fracción superior de machos que se recomienda emplear para la formación de nuevos híbridos de cruza doble o triple son los identificados como 7, 38, 41, 35, 34, 33, 9, 24, 36, 30, 23, 32, 19, 10, 11, 31, 22, 27, 25, 29, 21, 37, 26, 28, 12 y 14.

Literatura citada

- Bernardo, R. 2001. Breeding potential of intra-and inter heterotic group crosses in maize. *Crop Sci.* 41(1):68-71.
- Castañón, G.; Jeffers, D.; Hidalgo, H. y Tosquy, H. 1998. Prueba de mestizos de maíz en el estado de Veracruz, México. *Agron. Mesoam.* 9(2):89-96.
- Castellanos, J. S.; Hallauer, A. R. and Cordova, H. S. 1998. Relative performance of testers to identify elite lines of corn (*Zea mays* L.). *Maydica.* 43(1):217-226.
- Franco, M. J. R. P.; González, H. A.; Pérez, L. D. J. y González, R. M. 2015. Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del estado de México, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(8):1915-1927.
- Gámez, V. A. J.; Ávila, P. M. A.; Ángeles, A. H.; Díaz, H. C.; Ramírez, V. H.; Alejo, J. A. y Terrón, I. A. 1996. Híbridos y variedades de maíz liberados por el INIFAP hasta 1996. *Publicación Especial Núm. 16.* INIFAP, Toluca, México. 16-18 pp.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J. y Rodríguez, P. J. E. 2008. Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el Valle Toluca-Atlacomulco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(1):67-76.
- González, A.; Pérez, D. de J.; Sahagún, J.; Franco, O.; Morales, E. J.; Rubí, M.; Gutiérrez, F. y Balbuena, A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad de maíces del Valle Toluca-Atlacomulco, México. *Rev. Agron. Costarric.* 34(2):129-143.
- Habliza, A. A. and Khalifa, K. I. 2005. Selection among new yellow maize inbred lines using top cross and stability analysis. *Alex. J. Agric. Res.* 50(1):41-51.
- Lorenz, A. J.; Coors, J. G.; de Leon, N.; Wolfrum, E. J.; Hames, B. R.; Sluiter, A. D. and Weimer, P. J. 2009. Characterization, genetic variation, and combining ability of maize traits relevant to the production of cellulosic ethanol. *Crop Sci.* 49(1):85-98.
- Martínez, G. A. 1988. Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría. Editorial Trillas. 756 p.
- Márquez, S. F. 1988. Genotecnia vegetal. Métodos, teoría y resultados. Tomo II. AGT Editor. México, D. F. 756 p.
- Menz, M. A.; Hallauer, A. R. and Russell, W. A. 1999. Comparative response of two reciprocal recurrent selection methods in BS21 and BS22 maize populations. *Crop Sci.* 39(1):89-97.
- Mihaljevic, R. C.; Schoon, C. C.; Utz, H. F. and Melchinger, A. E. 2005. Correlation and QTL correspondence between line per se and testcross performance for agronomic traits in four populations of European maize. *Crop Sci.* 45(1):114-112.

- Mosa, H. E.; El-Shenawy, A. A. and Motawei, A. A. 2008. Line x tester analysis for evaluation of new maize inbred lines. *J. Agric. Sci. Mansoura Univ.* 33(1):1-12.
- Mosa, H. E. 2010. Estimation of combining ability of maize inbred lines using top cross mating design. *J. Agric. Res. Kafer El-Sheikh Univ.* 36(1):1-16.
- Obaidi, M.; Johnson, B. E.; Van Vleck, L. D.; Kachman, S. D. and Smith, O. S. 1998. Family per se response to selfing and selection in maize based on testcross performance: a simulation study. *Crop Sci.* 38(2):367-371.
- Pfarr, D. G. and Lamkey, K. R. 1992. Comparisons of methods for identifying populations for genetic improvement of maize hybrids. *Crop Sci.* 32(3):670-677.
- Quiroz, M. J.; Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Rubí, A. M.; Gutiérrez, R. F.; Franco, M. J. R. P. y Ramírez, D. J. F. 2017. Respuesta de diez cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del centro mexicano. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8(7):1420-1431.
- Reynoso, Q. C. A.; González, H. A.; Pérez, L. D. J.; Franco, M. O.; Velázquez, C. G. A.; Balbuena, M. A.; Torres, F. J. L.; Bretón, L. C. y Mercado, V. O. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz en 17 ambientes de los Valles Altos del centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(5):871-882.
- Russell, W. A.; Blackburn, D. J. and Lamkey, K. R. 1992. Evaluation of modified reciprocal recurrent selection procedure for maize improvement. *Maydica* 37(1):61-67.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Producción Agropecuaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/>.
- Torres, F. J. L.; Morales, R. E. J.; González, H. A.; Laguna, C. A. y Córdova, O. H. 2011. Respuesta de híbridos trilineales y probadores de maíz en Valles Altos del centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(6):829-844.
- Torres, F. J. L.; Mendoza, G. B.; Prasanna, G. B. M.; Alvarado, G.; San Vicente, F. M. and Crossa, J. 2017. Grain yield and stability of white early maize hybrids in the Highland Valleys of Mexico. *Crop Sci.* 57:1-14.
- Turrent, F. A. 1994. Plan de investigación del sistema maíz-tortilla en la región centro. CIRCE-INIFAP- SARH. Publicación especial núm. 12, Chapingo, México. 55 p.
- Velázquez, C. G. A.; Ramírez, D. J. L.; A. Rendón, G. A. y Salinas, M. Y. 2013. Comportamiento de híbridos experimentales de maíz para siembras de riego en la zona de transición (1900 a 2100 msnm). Memoria 58. reunión anual PCCMCA-Honduras. La Ceiba, Atlántida, Honduras. 99 p.
- Welcker, C.; Thé, C.; Andreau, B.; de Leon, C.; Parentoni, S. N.; Bernal, J.; Felicite, J.; Zonkeng, C.; Salazar, F.; Narro, L.; Charcosset, A. and Horst, W. J. 2005. Heterosis and combining ability for maize adaptation to tropical acid soils: implications for future breeding strategies. *Crop Sci.* 45(6):2405-2413.