

Adaptabilidad de cruzas varietales de maíz en Veracruz y Tabasco

Mauro Sierra-Macías¹
Flavio A. Rodríguez-Montalvo¹
Alejandro Espinosa-Calderón²
Margarita Tadeo-Robledo^{3§}
Pablo Andrés-Meza⁴
Noel Gómez-Montiel⁵

¹Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín de Bravo, Veracruz, México. CP. 92277. Tel. 800 088222, ext. 87252. (sierra.mauro@inifap.gob.mx; rodriguez.flavio@inifap.gob.mx). ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco km 13.5, Coatlinchán Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (espinoale@yahoo.com.mx). ³Ingeniería Agrícola-Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-Universidad Nacional Autónoma de México. Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, Cuatitlán Izcalli, Estado de México. CP. 54714. ⁴Universidad Veracruzana. (pandres@uv.mx). ⁵Campo Experimental Iguala-INIFAP. Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, Iguala de la Independencia, Guerrero. CP. 40000. (gomez.noel@inifap.gob.mx).

§Autora para correspondencia: tadeorobledo@yahoo.com.

Resumen

Las cruzas varietales representan una alternativa en la producción comercial de maíz híbrido debido a la heterosis que resulta de cruzar dos variedades de polinización libre. Así, con el objetivo de conocer el rendimiento y adaptabilidad de cruzas varietales de maíz, durante los ciclos primavera verano 2016, 2017 y 2018 se evaluaron en Veracruz y Tabasco 20 cruzas varietales de maíz, cinco sintéticos experimentales, las variedades VS-536 y V-537C y el híbrido H-520 utilizado como testigo. Dichos experimentos se distribuyeron bajo un diseño bloques completos al azar con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de dos surcos de 5 m de largo, separados a 80 cm en una densidad de 62 500 plantas ha⁻¹. Del análisis de varianza combinado para rendimiento de grano, se encontró significancia estadística al 0.01 de probabilidad para genotipos (G), para ambientes (A) y para la interacción GxA. De acuerdo con los parámetros de estabilidad, los 28 genotipos fueron caracterizados como estables, los híbridos varietales sobresalientes en rendimiento al 0.01 de probabilidad fueron: SINT-2BxVS-536, SINT-4BxVS-536, SINT-4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-537C, VS-536xV-537C, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-2BxVS-537C, SINT-5BxVS-536, SINT-1BQxVS-536, SINT-5BxSINT-1BQ con rendimiento de grano de 6.45 a 7.21 t ha⁻¹, mismos que superaron al testigo comercial H-520, así también, los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor fueron: 19.76, 13.46, 11.29, 8.54, 16.9, 5.46, 7.64, 6.24, 6.07 y 5.91%, para cada híbrido, respectivamente, de las comparaciones y pruebas de t, las cruzas varietales registraron un rendimiento promedio de 6.39 t ha⁻¹, mayor en 8% en relación con el de los progenitores.

Palabras clave: *Zea mays* L., heterosis, trópico.

Recibido: febrero de 2023

Aceptado: abril de 2023

Introducción

En México, el cultivo de maíz es el más importante por ser el alimento principal de la población, por su superficie sembrada y generar 36% del valor de la producción agrícola. El uso principal es el consumo directo en sus diferentes formas en la alimentación humana. La superficie nacional en 2018 fue de 7.95 millones de hectáreas, de las cuales 7.345 millones fueron para grano, con un rendimiento medio de 3.748 t ha⁻¹ y una producción de 26.67 millones de toneladas, de las cuales se utilizan para el consumo directo 12.6 millones de toneladas de estas, 35% es a través de la industria harinera y 65% a través de la industria de la masa y la tortilla en el proceso de nixtamalización. Sin embargo, durante 2018 se importaron 17.095 millones de toneladas de grano amarillo para la industria de alimentos balanceados, lo que generó un consumo *per capita* aparente de 345.6 kg (SAGARPA 2018).

En la región tropical del país se siembran 2.8 millones de hectáreas de maíz, de las cuales, un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y 91 000 ha son sembradas bajo condiciones de riego (Espinosa *et al.*, 2019), en esta superficie, es factible el uso de semilla mejorada de híbridos y variedades sintéticas ya que estos presentan buen potencial de rendimiento bajo condiciones favorables de clima suelo y manejo por parte de los agricultores (Sierra *et al.*, 2019).

En el mejoramiento genético de maíz para el trópico se generan subproductos tales como variedades de polinización libre, variedades sintéticas e híbridos de maíz (Sierra *et al.*, 2019) en la formación de híbridos es importante identificar progenitores con buena aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), buen rendimiento *per se*, tolerancia a estrés biótico y abiótico, facilidad y rentabilidad en la producción comercial de semilla (Tadeo *et al.*, 2015a; Tadeo *et al.*, 2015b; Trachsel *et al.*, 2016; Gómez *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2018).

En cuanto al uso de semilla híbrida, se aprovecha la varianza genética desviación de aditividad y las ventajas que ofrece la heterosis en la producción comercial de maíz, dada por la heterocigocis al cruzar progenitores de maíz con relativa divergencia genética (Reyes, 1985; Esquivel *et al.*, 2011; Sierra *et al.*, 2018; Sierra *et al.*, 2019). Chuquija y Huanuqueño (2015), de un estudio sobre el comportamiento de ocho poblaciones de maíz amarillo, encontraron que las poblaciones 28 y 24 resultaron ser buenos progenitores, en virtud de que sus descendientes resultaron ser más rendidores, de menor altura de planta y más precoces que el probador.

Velasco *et al.* (2019), de un estudio con germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos, localizaron que la cruza F1p9*P8 presentó el valor más alto de heterosis (26.19%). Reyes (1971), usó en la formación de los híbridos H-503 y H-507 el patrón heterótico trópico húmedo x trópico seco. Córdova *et al.* (2007), reportan que la cruza CML247xCML254, ha sido utilizada como testigo en varios experimentos en los programas nacionales en Latinoamérica y en los que ha expresado buen rendimiento y características agronómicas favorables, así también ha sido utilizada por varias empresas productoras de semillas. Sierra *et al.* (2004), usaron como probadores líneas endogámicas de buena aptitud combinatoria específica (ACE), LT154, LT155, CML247 y CML254, las cuales permitieron identificar líneas avanzadas y separar grupos heteróticos. De la Cruz *et al.* (2010), de un estudio sobre heterosis y aptitud combinatoria en poblaciones de maíz tropical, encontraron que los efectos aditivos fueron el componente principal en la expresión del rendimiento de grano.

Gómez *et al.* (2015), en cruzamientos de variedades locales de clima templado con variedades adaptadas del trópico encontraron cruza de la raza Chalqueño con Tepecintle con los valores más altos de heterosis.

Las cruza varietales representan una alternativa en la producción comercial de maíz debido, entre otras razones a la heterosis que resulta de cruzar dos progenitores variedades de polinización libre, así también, solamente hay que mantener dos progenitores; por lo tanto, es más fácil y rentable la producción comercial de semilla (Sierra *et al.*, 2016; Sierra *et al.*, 2018). Por su parte, Tadeo *et al.* (2015b), mencionan que si bien las variedades V-54A y V-55A, representan una buena opción para los productores de secano en los Valles Altos de México, se encontró la cruza 156xV-54A, que superó en 38.1% el rendimiento de la variedad V-54A, misma que puede representar ventajas en las siembras comerciales.

Palemón *et al.* (2012), de acuerdo con los valores de Heterosis, ACG y ACE para rendimiento seleccionaron las cruza varietales VS-529*VE1 y VS-529*VE3 para su promoción masiva en la región semicálida del estado de Guerrero. La adaptabilidad de los genotipos permite conocer la respuesta a los diferentes ambientes definidos por el clima, el suelo y el manejo agronómico (Eberhart y Russell, 1966). La interacción genotipo ambiente es el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos a través de diferentes ambientes (Reyes 1990; Andrés *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2018).

El modelo de Eberhart y Russell (1966) utiliza el coeficiente de regresión para medir la respuesta de una variedad a distintos ambientes y la desviación de regresión que mide la consistencia de dicha respuesta, se requiere seleccionar genotipos que interaccionen lo menos posible con el ambiente. Variedad estable es aquella con coeficiente de variación igual a 1 y desviación de regresión igual a 0. El modelo estadístico es $\bar{Y}_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$. Donde: \bar{Y}_{ij} = media de la variedad *i* en el ambiente *j*; μ_i = media de la variedad *i* en todos los ambientes; β_i = coeficiente de regresión; I_j = índice ambiental; δ_{ij} = desviación de regresión

Los objetivos de la investigación fue conocer el rendimiento, adaptabilidad y las características agronómicas de cruzamientos varietales de maíz a través de ambientes en los estados de Veracruz y Tabasco y determinar la heterosis con respecto al mejor progenitor. Así como, las hipótesis fueron verificar en los cruzamientos varietales de maíz en evaluación se presentan diferencias en adaptabilidad y características agronómicas a través de ambientes, asimismo, valores de heterosis con respecto al mejor progenitor.

Materiales y métodos

Localización. La formación de cruza varietales de maíz, se llevó a cabo en el Campo Experimental Cotaxtla, perteneciente al Instituto Nacional de Investigación Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Medellín de Bravo, Veracruz, localizado a los 18° 56' latitud norte y 96° 11' longitud oeste y una altitud de 15 msnm, el clima de acuerdo a la clasificación de Köppen modificada por García (1981), con área de influencia en el trópico húmedo de México, engloba, el grupo climático A (Aw, Am y Af), cálido húmedo y subhúmedo con temperatura media de 25 °C y precipitación anual de 1 400 mm, distribuidos de junio a noviembre.

El suelo es de origen aluvial, profundo, con textura media a través de todo el perfil, pendiente menor de 1%, buen drenaje y pH ligeramente ácido (6.6). Las localidades de evaluación de las cruzas varietales fueron: Campo Experimental Cotaxtla, CBTA 84 del municipio de Carlos A. Carrillo en Veracruz y Huimanguillo en el estado de Tabasco con clima Aw1, Aw2 y Am para cada localidad, respectivamente.

Germoplasma utilizado. El germoplasma de maíz utilizado en la presente investigación es material experimental en diverso grado de avance en el mejoramiento genético, particularmente son cruzas varietales de maíz formadas con variedades sintéticas experimentales pertenecientes a la raza Tuxpeño, se evaluaron 28 genotipos, de los cuales, 20 son cruzas varietales, cinco sintéticos experimentales, las variedades VS-536 y V-537C y el híbrido H-520, utilizados como testigos por su uso comercial (Sierra *et al.*, 2019).

Descripción de los experimentos. Durante los ciclos primavera verano 2016, 2017 y 2018 se evaluaron 20 cruzas varietales de maíz, cinco sintéticos experimentales, las variedades VS-536 y V-537C y el híbrido H-520 utilizado como testigo, mismas que se distribuyeron bajo un diseño bloques completos al azar con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de 2 surcos de 5 m de largo, separados a 80 cm en una densidad de 62 500 plantas ha⁻¹, para el control de malezas se aplicó Atrazina en forma preemergente se fertilizó con la fórmula 161-46-00, usando urea como fuente nitrogenada y se controlaron plagas del follaje durante el desarrollo del cultivo.

Variabes y registro de datos. Por su importancia económica y reducción en los riesgos en la producción, las principales variables agronómicas registradas en experimentos fueron: días a floración masculina y femenina, altura de planta y de mazorca, calificación de aspecto y sanidad de planta y de mazorca utilizando una escala de calificación de 1 a 5 donde 1 es el mejor y 5 es lo peor, número de plantas total, % de plantas acamadas, % de mazorcas con mala cobertura, a la cosecha se registraron las variables de rendimiento de grano, número de mazorcas total, % de mazorcas podridas y % de materia seca en el grano.

Métodos estadísticos. Los diseños utilizados fueron bloques completos al azar con 28 tratamientos y tres repeticiones en parcelas de dos surcos de 5 m de largo separados a 80 cm con densidad de 62 500 plantas ha⁻¹. Se realizó un análisis individual para cada experimento y un análisis combinado de las cruzas varietales en seis ambientes de evaluación. Para la separación de medias se aplicó la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS), al 0.05 y 0.01 de probabilidad (Reyes, 1990).

Se hizo un análisis de parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966). Se hicieron comparaciones y pruebas de t al 0.05 y 0.01 de probabilidad para cruzas varietales y sus progenitores variedades sintéticas. Así también, se calcularon los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor (Reyes, 1985), de la siguiente manera: % de heterosis=

$$\frac{F1 - \text{mejor progenitor}}{\text{Mejor progenitor}} \times 100$$

Resultados y discusión

Del análisis de varianza combinado para rendimiento de grano en las cruzas varietales (Cuadro 1), se encontró significancia estadística al 0.01 de probabilidad para genotipos (G), para ambientes (A) y para la interacción GxA, la significancia para la interacción sugiere que los genotipos

sobresalientes en un ambiente, no necesariamente lo son en otros ambientes. En el Cuadro 1, puede observarse que fue más importante la varianza debida al factor ambientes, lo que significa que el ambiente es importante en la expresión de los cruzamientos varietales; así también, el coeficiente de variación registrado fue de 13.97%, valor relativamente bajo, que sugiere que el manejo de los experimentos y los datos obtenidos son confiables (Reyes, 1990).

Cuadro 1. Análisis de varianza combinado para rendimiento de grano de cruzas varietales de maíz en seis ambientes de Veracruz y Tabasco. 2016B a 2018B.

Fuente de variación	GL	SC	CM
Genotipos (G)	27	65.27	2.42**
Ambiente (A)	5	341.54	68.31**
Interacción GxA	135	677.07	5.02**
Error	324		0.7697
CV (%)			13.97

B= ciclo primavera verano; GL= grados de libertad; SC= suma de cuadrados; CM= cuadrados medios; CV= coeficiente de variación.

En la interacción genotipo ambiente y de acuerdo con los parámetros de estabilidad (Eberhart y Russell, 1966), los 28 genotipos fueron caracterizados como estables (Reyes 1990; Andrés *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2018). Los híbridos varietales sobresalientes en rendimiento al 0.01 de probabilidad, fueron: SINT-2BxVS-536, SINT-4BxVS-536, SINT-4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-537C, VS-536xV-537C, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-2BxVS-537C, SINT-5BxVS-536, SINT-1BQxVS-536, SINT-5BxSINT-1BQ con rendimiento de grano de 6.45 a 7.21 t ha⁻¹ (Cuadro 2). Así también, este grupo de híbridos varietales fueron superiores en rendimiento de 1 a 13% más en relación con el testigo comercial H-520.

Cuadro 2. Rendimiento de cruzas varietales de maíz Veracruz y Tabasco 2016B- 2018B.

Trat	Genealogía	Cot 2016B	Huim 2016B	Carr 2016B	Cot 2017B	Huim 2018B	Cot 2018B	Promedio	% Rel	% Het	Descripción
1	SINT-2B XVS-536	7.99	6.34	9.16	6.28	6.55	6.91	7.21*	113	19.76	E
14	SINT-4B X VS-536	8.67	6.05	6.9	6.86	5.47	6.48	6.74*	105	13.46	E
17	SINT-4B X SINT-2B	7.64	5.83	8.11	6.09	5.42	7.1	6.7*	105	11.29	E
9	SINT-5B X V-537C	7.25	5.79	8.3	6.61	5.42	6.32	6.61**	103	8.54	E
20	VS-536 X VS-537C	7.14	5.23	8.13	5.85	5.69	7.36	6.57**	103	16.9	E
18	SINT-3BxSINT-1BQ	7.73	6.01	7.97	3.71	6.36	7.56	6.56**	102	5.46	E
19	SINT-2B X VS-537C	7.75	5.13	6.89	6.51	5.58	7.05	6.48**	101	7.64	E
16	SINT-5B X VS-536	7.03	4.86	8.17	7.65	5.23	5.88	6.47**	101	6.24	E
13	SINT-1BQ X VS-536	6.77	5.39	7.34	6.79	6.15	6.33	6.46**	101	6.07	E
15	SINT-5BxSINT-1BQ	7.01	4.57	8.54	6.82	5.13	6.62	6.45**	101	5.91	E

Trat	Genealogía	Cot 2016B	Huim 2016B	Carr 2016B	Cot 2017B	Huim 2018B	Cot 2018B	Promedio	% Rel	% Het	Descripción
6	SINT-3B X VS-537C	6.69	5.42	7.41	6.42	5.24	7.36	6.42	100	3.22	E
28	H-520	7.42	5.92	6.74	6.4	5.16	6.77	6.4	100		E
12	SINT-4B X SINT-3B	7.34	5.02	8.6	6.64	5.43	5.17	6.37	99	2.41	E
3	SINT-5B X SINT-4B	7.1	5.12	7.6	6.32	4.92	6.86	6.32	99	3.78	E
11	SINT-3B X SINT-2B	7.73	6.06	6.06	4.47	6.59	6.87	6.3	98	1.29	E
2	SINT-5B X SINT-2B	7.55	5.71	6.08	6.99	4.35	7.07	6.29	98	3.28	E
23	SINT-3B	7.02	4.36	8.47	6.22	5.76	5.5	6.22	97		E
5	SINT-4B X VS-537C	7.17	5.03	4.97	6.59	5.87	6.99	6.1	95	2.69	E
21	SINT-1BQ	8.18	4.57	7.04	6.09	6.28	4.37	6.09	95		E
8	SINT-4BxSINT-1BQ	7.51	5.03	8.1	4.18	4.66	7.05	6.09	95	0	E
25	SINT-5B	7	4.14	6.07	6.09	6.22	7	6.09	95		E
7	SINT-5B X SINT-3B	7.34	4.91	7.37	6.61	4.51	5.7	6.07	95	-2.41	E
4	V-537C X VS-536	7.12	5.69	4.46	5.85	5.69	7.36	6.03	94	7.29	E
22	SINT-2B	7.35	4.76	6.26	6.02	5.62	6.1	6.02	94		E
24	SINT-4B	6.22	4.56	7.69	5.94	4.94	6.26	5.94	93		E
26	VS-536	6.95	4.62	6.51	5.38	4.65	5.63	5.62	88		E
27	V-537 C	5.22	4.22	8.92	5.08	4.94	5.04	5.57	87		E
10	SINT-2BxSINT-1BQ	7.78	4.82	6.16	4.36	3.49	6.61	5.53	86	-9.19	E
	Promedio	7.27	5.18	7.29	6.03	5.40	6.48	6.28			
	CV (%)							13.97			
	CME							0.7697			
	DMS 0.05							0.5732			
	DMS 0.01							0.7545			

B= ciclo agrícola primavera verano; */= significancia de los tratamientos al 0.05 de probabilidad; **/= significancia de los tratamientos al 0.01 de probabilidad; Trat= tratamiento; Cot= Campo Cotaxtla, Veracru; Carr= Carlos A. Carrillo, Veracruz; Huim= Huimanguillo, Tabasco; % Rel= % relativo con relación al testigo; % Het= % de heterosis con respecto al mejor progenitor; E= genotipo caracterizado como estable.

Estos cruzamientos varietales tienen la ventaja adicional que representa desde el punto de vista del mantenimiento de solamente dos progenitores, los cuales son variedades de polinización libre con mayor rentabilidad y facilidad en la producción comercial de semilla (Tadeo *et al.*, 2015a; Tadeo *et al.*, 2015b; Sierra *et al.*, 2016; Gómez *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2018).

En los mejores cruzamientos se observa la presencia de VS-536, variedad de mayor uso comercial en el sureste de México (Sierra *et al.*, 2016). Así también, los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor fueron: 19.76, 13.46, 11.29, 8.54, 16.9, 5.46, 7.64, 6.24, 6.07, y 5.91%, para cada híbrido varietal, respectivamente (Cuadro 2 y Figura 1), (Reyes, 1971; Reyes, 1985; Sierra *et al.*, 2004; Córdova *et al.*, 2007; De la Cruz *et al.*, 2010; Esquivel *et al.*, 2011; Palemón *et al.*, 2012; Chuquija y Huanuqueño, 2015; Gómez *et al.*, 2015; Velasco *et al.*, 2019).

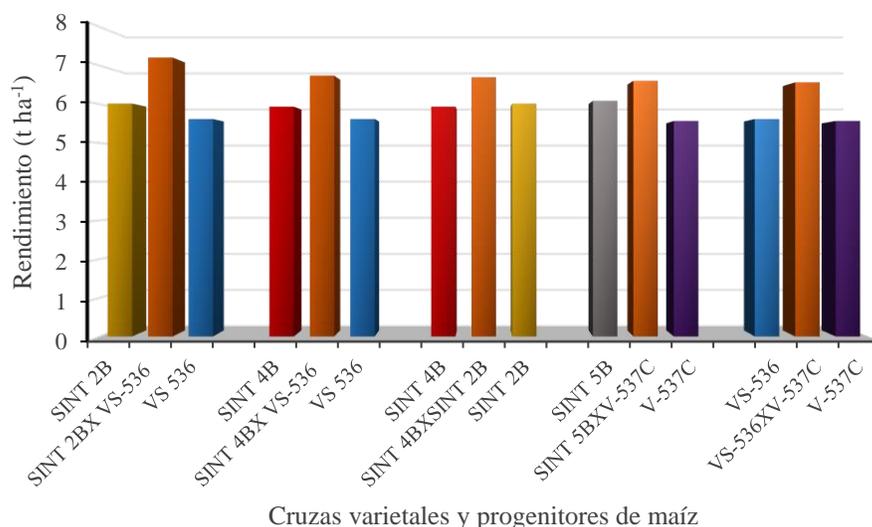


Figura 1. Heterosis en cruzas varietales de maíz sobresalientes Veracruz y Tabasco 2016-2018.

Índices ambientales. Con relación a los índices ambientales, de acuerdo con Eberhart y Russell (1966), los ambientes de Carlos A. Carrillo, Ver., en 2016B y Cotaxtla, Ver., en 2016B, registraron rendimientos promedio significativamente más altos con 7.29** y 7.27** t ha⁻¹ y valores positivos en los índices ambientales con 1.01 y 0.99 para cada ambiente respectivamente, mientras que Cotaxtla en 2017B y localidad de Huimanguillo, Tabasco en 2018 y 2016B registraron los rendimientos medios más bajos con índices ambientales negativos de -0.25, -0.88 y -1.1 para cada ambiente respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índices ambientales de localidades de evaluación de cruzas varietales. CIRGOC 2016B-2018B.

Ambiente	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Índices
Carlos A. Carrillo, Veracruz, 2016B	7.29**	1.01
Cotaxtla, Veracruz, 2016B	7.27**	0.99
Cotaxtla, Veracruz, 2018B	6.48	0.2
Cotaxtla, Veracruz, 2017B	6.03	-0.25
Huimanguillo, Tabasco, 2018B	5.4	-0.88
Huimanguillo, Tabasco, 2016B	5.18	-1.1
Promedio	6.28	

B= ciclo agrícola primavera verano.

Características agronómicas

Por lo que se refiere a las características agronómicas (Cuadro 4), estas cruza varietales registraron ciclo biológico intermedio con 51 a 53 días a floración masculina, altura de planta y mazorca baja con 217 a 255 cm y de 108 a 132 cm para altura de planta y mazorca, respectivamente. Estos cruzamientos presentan buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, son tolerantes al acame, con buena cobertura de mazorca, presentan bajo porcentaje de mazorcas podridas y con una relación altura de mazorca/altura de planta entre 0.49 y 0.58; es decir, posición de la mazorca a la mitad de la altura de planta lo que se refleja en su tolerancia al acame (Tadeo *et al.*, 2015a; Tadeo *et al.*, 2015b; Trachsel *et al.*, 2016; Gómez *et al.*, 2017; Sierra *et al.*, 2018).

Cuadro 4. Características agronómicas de cruza varietales de maíz. Cotaxtla 2016B.

Trat	Genealogía	Días a flor	Alt pl (cm)	Alt mz (cm)	Asp pl	Asp mz	San pl	San mz	(%) acame	(%) cob	(%) Pod	Alt mz/Alt pl
1	SINT-2BxVS-536	51	238	130	1.7	2.3	1.8	2.2	7.43	0.79	3.73	0.55
2	SINT-5BxSINT-2B	52	225	117	2.3	2.2	2.5	2.2	8.12	9.41	2.81	0.52
3	SINT-5B X SINT-4B	53	237	128	2.7	2.7	2.3	2.3	12.26	9.15	4.61	0.54
4	V-537C X VS-536	51	227	122	2.2	2.8	2.3	2.3	16.5	2.98	6.39	0.54
5	SINT-4B X VS-537C	51	223	110	2.5	2.5	2.2	2.5	8	4.14	4.59	0.49
6	SINT-3B X VS-537C	52	245	120	2.5	2.5	2.5	2.7	5.03	4.45	4.35	0.49
7	SINT-5B X SINT-3B	52	227	117	2.3	2.7	2.3	2.2	7.05	6.03	5.89	0.52
8	SINT-4B X SINT-1BQ	52	235	118	2	2.2	2	2.2	3.34	0.67	1.33	0.5
9	SINT-5B X VS-537C	51	225	113	2.3	2.2	2.3	2.2	5.9	5.02	3.56	0.5
10	SINT-2BxSINT-1BQ	52	222	112	2.2	2.2	2.3	2.2	5.79	2.9	4.36	0.5
11	SINT-3BxSINT-2B	52	225	132	2.5	2.3	2.2	2.3	1.99	1.39	2.75	0.58
12	SINT-4B X SINT-3B	52	223	117	1.8	2.5	2.2	2.3	5.09	3.35	2.99	0.52
13	SINT-1BQ X VS-536	53	238	130	2.3	2.5	2.5	2.2	37.95	2.54	3.38	0.54
14	SINT-4B X VS-536	51	228	123	2.3	2.2	2.2	2.3	11.36	5	1.74	0.54
15	SINT-5B X SINT-1BQ	52	217	108	2.2	2.3	2.2	2.3	7.79	2.18	3	0.5
16	SINT-5B X VS-536	51	235	132	2.3	2.3	2.2	2.2	20.15	3.69	4.07	0.56
17	SINT-4B X SINT-2B	52	227	115	2.2	2.7	2.3	2.7	13.58	3.29	5.67	0.51
18	SINT-3BxSINT-1BQ	51	230	112	2.3	2.5	2.3	2.3	1.39	2.56	3.89	0.49
19	SINT-2B X VS-537C	51	255	140	2.2	2.2	2.7	2.2	15.26	8.99	4.56	0.55
20	VS-536xVS-537C	52	253	142	2.2	2.8	2.2	2.7	24.66	2.66	5.77	0.56
21	SINT-1BQ	51	220	112	2.3	2.2	2.7	2.2	0	3.27	4.53	0.51
22	SINT-2B	52	212	115	2.7	2.3	2.3	2.3	4.94	1.95	2.53	0.54
23	SINT-3B	51	242	137	2.5	2.8	2.5	2.3	4.77	8.82	4.2	0.55
24	SINT-4B	52	225	118	2.3	2.5	2.3	2.3	2.07	2.38	5.14	0.53
25	SINT-5B	52	223	127	2	2.3	2.3	2	3.98	8.83	2.17	0.57

Trat	Genealogía	Días a flor	Alt pl (cm)	Alt mz (cm)	Asp pl	Asp mz	San pl	San mz	(%) acame	(%) cob	(%) Pod	Alt mz/Alt pl
26	VS-536	52	232	132	2.5	2.7	1.7	2.7	24.83	4.78	3.98	0.57
27	V-537 C	52	225	115	2.3	2.8	2.5	2.5	13.53	5.87	6.98	0.51
28	H-520	51	228	122	2.2	2.3	2	2.2	14.76	4.11	4.04	0.53
	Promedio	51.7	230.07	122	2.28	2.45	2.28	2.32	10.27	4.33	4.04	0.53
	CME	0.97	687.32	589.1	0.27	0.3	0.3	0.25	204.7	42.45	11.8	50.3
	CV (%)	1.91	11.39	19.89	22.79	22.35	24.02	21.55	139.31	150.47	85.03	13.38

Trat= tratamiento; Alt pl= altura de planta; Alt mz= altura de mazorca; Asp pl= aspecto de planta; Asp mz= aspecto de mazorca; San pl= sanidad de planta; San mz= sanidad de mazorca; % Cob= porcentaje de mazorcas con mala cobertura; % Pod= porcentaje de mazorcas podridas.

Las cruza varietales SINT-2BxVS-536, SINT-4BxVS-536, SINT-4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-537C, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-5BxSINT-1BQ sobresalientes en rendimiento y características agronómicas favorables, pueden ser una alternativa en la producción comercial de maíz en virtud de que se adaptan a las condiciones de clima, suelo y manejo por parte de los agricultores en la región tropical del sureste de México y (Sierra *et al.*, 2019; Espinosa *et al.*, 2019).

De las comparaciones y pruebas de t al 0.05 y 0.01 de probabilidad (Cuadro 5), se encontró que las cruza varietales registraron un rendimiento promedio de 6.39 t ha⁻¹, significativamente mayor en 8% en relación con el rendimiento promedio de los progenitores, con un valor de t calculada de 5.07^{**}; así también, se registró ventaja en las calificaciones de aspecto de planta y de mazorca.

Cuadro 5. Comparaciones y pruebas de t para las cruza varietales y sus progenitores. CIRGOC 2016B-2018B.

Comparación	Rend (t ha ⁻¹)	(%) Rel	t Calc	Alt pl	(%) Rel	t Calc	Asp pl ^{2/}	(%) Rel	t Calc	Asp mz ^{2/}	(%) Rel	t Calc
Cruzas	6.39	108	5.07 ^{**}	231.75	103	0.93ns	2.25	100	0.92ns	2.43	100	0.57ns
Progenitores	5.93	100		225.57	100		2.37	105		2.51	103	

t0.05 (54 GL)= 2; t0.01 (54 GL)= 2.66. Rend= rendimiento de grano; % Rel= porcentaje relativo en la comparación; t Calc= t calculada para la comparación; Alt pl= altura de planta; Asp pl= aspecto de planta; Asp mz= aspecto de mazorca; ^{2/}= escala de calificación de 1 a 5 donde 1 es lo mejor y 5 es lo peor.

Conclusiones

Los híbridos varietales sobresalientes fueron: SINT-2BxVS-536, SINT-4BxVS-536, SINT-4BxSINT-2B, SINT-5BxVS-537C, VS-536xV-537C, SINT-3BxSINT-1BQ, SINT-2BxVS-537C, SINT-5BxVS-536, SINT-1BQxVS-536, SINT-5BxSINT-1BQ con rendimiento de grano de 6.45 a 7.21 t ha⁻¹ y fueron superiores al testigo comercial H-520. Los porcentajes de heterosis con respecto al mejor progenitor en las cruza varietales sobresalientes fueron: 19.76, 13.46, 11.29, 8.54, 16.9, 5.46, 7.64, 6.24, 6.07 y 5.91%, para cada híbrido varietal respectivamente.

Las cruzas registraron un rendimiento promedio de 6.39 t ha⁻¹, 8% más en relación con los progenitores, así también mejor calificación de aspecto de planta y de mazorca. Las cruzas sobresalientes registraron planta y mazorca baja, buen aspecto y sanidad de planta y de mazorca, tolerantes al acame, con buena cobertura de mazorca, bajo porcentaje de mazorcas podridas. En cinco de las 10 cruzas sobresalientes participa variedad VS-536, de mayor uso comercial y adaptada a la región tropical en el sureste de México.

Las cruzas varietales sobresalientes representan una ventaja importante desde el punto de vista del mantenimiento de los dos progenitores, variedades de polinización libre con mayor rentabilidad y facilidad en la producción comercial de semilla.

Literatura citada

- Andrés, M. P.; Vásquez, C. G.; Sierra, M. M.; Mejía, C. A.; Molina, G. J. D.; Espinosa, C. A.; Gómez, M. N.; López, R. G.; Tadeo, R. M.; Zetina, C. P. and Cebada, M. M. 2017. Genotype environment interaction on productivity and protein quality of synthetic tropical maize (*Zea Mays* L.) varieties. *Interciencia*. 42(9):578-585.
- Córdova, O. H.; Trifunovic, S.; Ramírez, A. and Sierra, M. M. 2007. CIMMYT maize hybrids for Latin America. Head to head analysis and probability of outperforming the best check. *Maydica*. 52(4):471-476.
- Chuquiya, J. Ch. y Huanuqueño, C. E. H. 2015. Comportamiento de ocho poblaciones de maíz amarillo (*Zea mays* L.) en cruzas con un probador. *Anales científicos Universidad Nacional Agraria La Molina Perú*. 76(1):78-86
- De la Cruz, L. E.; Castañón, N. G.; Brito, M. N. P.; Gómez, V. A.; Robledo, T. V. y Lozano, D. R. A. J. 2010. Heterosis y aptitud combinatoria en poblaciones de maíz tropical. *Rev. Phyton*. 79(1):11-17.
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci*. 6(1):36-40.
- Esquivel, E. G.; Castillo, G. F.; Hernández, C. J. M.; Santacruz, V. A.; García, S. G.; Acosta, G. J. A. y Ramírez, H. A. 2011. Heterosis en maíz del altiplano de México con diferente grado de divergencia genética. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*. 2(3):331-344.
- Espinosa, C. A.; Tadeo, R. M.; Turrent, F. A.; Zamudio, G. B.; Valdivia, B. R.; Sierra, M. M.; Gómez, M. N.; Virgen, V. J. y Mora, G. K. Y. 2019. Producción de maíz y soberanía alimentaria en el contexto del deterioro ambiental de México. En: economía política de la devastación ambiental y conflictos socioambientales en México. 323-380 pp.
- García, E. A. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3^{ra}. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)-Instituto de Geografía. México, DF. México. 252 p.
- Gómez, E. A. L.; Molina, G. J. D.; García, Z. J. J.; Mendoza, C. M. C. y Rosa, L. A. 2015. Poblaciones exóticas originales y adaptadas de maíz. I. Variedades locales de clima templado x variedades tropicales. *Rev. Fitotec. Mex*. 38(1):57-66.
- Gómez, M. N.; Cantú, A. M. A.; Vásquez, C. G.; Hernández, G. C. A.; Espinosa, C. A.; Sierra, M. M.; Coutiño, E. B.; Aragón, C. F. y Trujillo, C. A. 2017. Híbrido de maíz H-568: nueva opción para las áreas de alta productividad del trópico bajo de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*. 8(5):1213-1218.

- Palemón, A. F.; Gómez, M. N. O.; Castillo, G. F.; Ramírez, V. P.; Molina, G. J. D.; Miranda, C. S. 2012. Potencial productivo de cruzas intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(1):157-171.
- Reyes, C. P. 1990. Diseño de experimentos aplicados. Trillas 3^{ra}. Ed. 348 p.
- Reyes, C. P. 1985. Fitogenotecnia básica y aplicada. AGT, SA. Ed. México, DF. 460 p.
- Reyes, C. P. 1971. Genotecnia del maíz para tierra caliente. Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey. División de ciencias agropecuarias y marítimas. Departamento de agronomía. Monterrey. 138 p.
- SAGARPA. 2018. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Acciones y programas producción agrícola. [http://www.gob.mx/siap/acciones y programas de producción agrícola](http://www.gob.mx/siap/acciones_y_programas_de_produccion_agricola).
- Sierra, M. M.; Rodríguez, M. F. A.; Palafox, C. A. y Espinosa, C. A. 2016. Adopción e impacto de la variedad VS-536 en la región tropical del sureste de México. *Rev. Des. Econ.* 3(9):32-40.
- Sierra, M. M.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A. y Andrés, M. P. 2018. Adaptabilidad de híbridos trilineales de maíz en el área tropical de los estados de Veracruz y Tabasco, México. *Rev. Cienc. Amb. Rec. Nat.* 4(11):15-19.
- Sierra, M. M.; Rodríguez, M. F. A.; Gómez, M. N.; Espinosa, C. A.; Ugalde, A. F. J. y Andrés, M. P. 2019. Mejoramiento genético de maíz para el trópico húmedo de México. *In: avances en investigación agrícola, pecuaria, forestal, acuícola, pesquería, desarrollo rural, transferencia de tecnología, biotecnología, ambiente, recursos naturales y cambio climático.* INIFAP, CP, UACH, INAPESCA, UV y TECNM. Medellín, Colombia. 482-499 pp.
- Sierra, M. M.; Márquez, S. F.; Valdivia, B. R.; Córdoba, O. H.; Lezama, G. R. y Pescador, R. A. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L.). *Agric. Téc. Méx.* 30(2):169-181.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; García, Z. J. J.; Lobato, O. R.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M. y Valdivia, B. R. 2015a. Productividad de híbridos androestériles y fértiles de maíz en cuatro ambientes de evaluación. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(8):1857-1866.
- Tadeo, R. M.; Espinosa, C. A.; Guzmán, M. R.; Turrent, F. A.; Zaragoza, E. J. y Virgen, V. J. 2015b. Productividad de híbridos varietales de maíz de grano amarillo para Valles Altos de México. *Agron. Mesoam.* 26(1):65-72.
- Trachsel, S.; Leyva, M.; López, M.; Suárez, E. A.; Mendoza, A.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Burgueno, J. and Vicente, F. 2016. Identification of tropical maize germplasm with tolerance to drought, nitrogen deficiency, and combined heat and drought stresses. *Crop Sci.* 56(6):3031-3045.
- Velasco, G. A. M.; García, Z. J. J.; Sahagún, C. J.; Lobato, O. R.; Sánchez, A. C. y Marín, M. I. M. 2019. Rendimiento, componentes del rendimiento y heterosis de germoplasma de maíz adaptado a Valles Altos. *Rev. Fitotec. Mex.* 42(4):367-374.