

Aptitud combinatoria general y específica de maíz palomero para los Valles Altos de México

Francisco Sebastián Martínez-Díaz¹

J. Jesús García-Zavala¹

Alejandro Espinosa-Calderón²

Margarita Tadeo-Robledo^{3,§}

Ricardo Lobato-Ortiz¹

Eduardo Ambrosio-Gil⁴

1 Colegio de Postgraduados-Posgrado en Genética-Campus Montecillo. Montecillo, Estado de México. CP. 56230. (francomtz345@gmail.com; zavala@colpos.mx; rlobato@colpos.mx).

2 Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (espinoale@yahoo.com.mx).

3 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-Universidad Nacional Autónoma de México. Carretera Cuautitlán-Teoloyucán km 2.5, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. CP. 54714.

4 Campus Xochimilco-Universidad Autónoma Metropolitana. Calzada del Hueso 1100, Villa Quietud, Coyoacán, Ciudad de México. CP. 04960. (eduardo.ambrosiog@gmail.com).

Autora para correspondencia: tadeorobledo@yahoo.com

Resumen

La demanda de maíz palomero (*Zea mays* L.) en México aumenta cada vez, pero su producción anual nacional es insuficiente, y la demanda de 80 mil toneladas se cubre con importaciones. La oferta de variedades mejoradas nacionales de este tipo de maíz es muy escasa. Con el objetivo de identificar materiales de maíz palomero sobresalientes, en este trabajo se estimaron los efectos de aptitud combinatoria general, específica, y efectos maternos y recíprocos para rendimiento de seis poblaciones élites de maíz palomero y sus cruas dialélicas. Los materiales se evaluaron en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, en los años 2018, 2019 y 2020. Acorde con los resultados, la población 6 (PB6) por su alto rendimiento, tendría una alta contribución en la expresión del rendimiento de su progenie y podría incluirse en un programa de mejoramiento genético de maíz palomero. Las cruas con mayor aptitud combinatoria específica para rendimiento fueron PB3 x PB6 y PB6 x PB3, respectivamente. Las poblaciones de maíz palomero de este trabajo que presentaron altos efectos de aptitud combinatoria general para rendimiento pueden emplearse para desarrollar variedades sintéticas o seguir avanzándolas con más ciclos de selección, mientras que las cruas con alta aptitud combinatoria específica se pueden usar para obtener híbridos de maíz palomero en México.

Palabras clave:

Zea mays L., aptitud combinatoria específica, aptitud combinatoria general, maíz palomero, poblaciones, rendimiento.

[License \(open-access\)](#): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

El consumo anual de maíz palomero (*Zea mays* L.) en México se estima en 80 000 t, de las cuales en el país solo se producen 596 t (SIAP, 2019) y el resto se importa. Esta situación genera que México dependa de importación de maíz palomero, por lo que se requiere con urgencia la generación de materiales mejorados nacionales de este tipo de maíz. La falta de variedades 'reventadoras' y el rezago tecnológico han dificultado estructurar un programa nacional de producción de maíz palomero que permita satisfacer el consumo interno (Valadez-Gutiérrez *et al.*, 2014).

Casi todo el maíz palomero que se consume en el país es de importación, en su gran mayoría de Estados Unidos de América. Sin embargo, en México existen razas de maíces que producen granos 'reventadores', que en teoría son aptos para producir 'palomitas', pero con baja capacidad de expansión, por lo que el mercado y los consumidores no los aceptan. Tales maíces podrían utilizarse en programas de mejoramiento genético para obtener variedades e híbridos de maíz palomero en México.

No obstante, al respecto existen antecedentes de que en el año 1977 se liberó el primer híbrido de maíz palomero en México (H 367 P) (Miranda; 1977; Ángeles, 2000) y en el año 2012 la variedad de maíz palomero V 460 P (Valadez *et al.*, 2014), lo cual es un aliciente. El centro de origen del maíz palomero es Mesoamérica y este tipo de maíz se considera el más primitivo (Mangelsdorf y Smith, 1949), numerosas evidencias demuestran que su grado de rusticidad y capacidad de reventado están emparentados con el teocintle (Piperno y Pearsall, 1993), pero su relación con otros grupos de maíces está aún bajo discusión (Ziegler, 2001).

Este origen le confiere al maíz palomero una alta adaptación a las condiciones ecológicas de México y una gran diversidad que se puede aprovechar para su mejoramiento genético. Entre los métodos para estudiar las cualidades de un conjunto de progenitores de maíz palomero se encuentran los diseños dialélicos propuestos por Griffing (1956), que permiten estimar sus parámetros genéticos tales como su aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE); además, es posible definir el método más adecuado de mejoramiento genético para predecir cruza superiores y combinar las mejores características de importancia agrícola (Melani y Carena, 2005; Cai *et al.*, 2012).

La ACE es más importante que la ACG en un programa de mejoramiento cuya finalidad sea la obtención de híbridos (Hoegemeyer y Hallauer, 1976), ya que con la ACE se puede hacer mejor uso de la dominancia y la epistasis. Dado que en México se tiene necesidad de generar materiales sobresalientes de maíz palomero para disminuir su dependencia del grano extranjero y ante el interés estratégico de ofrecer variedades mejoradas utilizando el germoplasma nativo nacional disponible, desde hace más de 20 años en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y en el Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Se trabajó en el desarrollo de variedades de maíz palomero para ofrecer alternativas competitivas a los productores, en el proceso de mejoramiento genético aplicado durante todo este tiempo, se concentró con énfasis en el criterio de rendimiento y se dejó un tanto de lado el carácter de reventador. Producto de estos trabajos se cuenta con variedades experimentales y poblaciones élites, en las cuales se genera la tecnología para su producción (Espinosa *et al.*, 2018).

Desde 1997 se combinaron fuentes de calidad proteínica (QPM) con variedades palomeras nativas y líneas traídas de Tamaulipas y del exterior, con la intención de agregar calidad de expansión a

las palomitas, después se efectuaron varios ciclos de retrocruza hacia calidad palomera (Espinosa *et al.*, 2018). El objetivo de esta investigación fue determinar los componentes genéticos de ACG, ACE y efectos recíprocos y maternos involucrados en la expresión del rendimiento de seis variedades de maíz palomero adaptado a los Valles Altos de México y sus respectivas cruza.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en seis ambientes localizados en el Estado de México. Durante los ciclos primavera verano de 2018, 2019 y 2020 se sembró en terrenos de la FESC-UNAM ubicada en Cuautitlán Izcalli (19° 41' latitud norte, 99° 11' longitud oeste, 2 274 m de altitud) y tiene un suelo de textura franco arcillosa, además en el año 2018 se evaluó en terrenos del ejido Huexotla, municipio de Texcoco (19° 27' latitud norte, 98° 51' longitud oeste, 2 326 m de altitud) con suelo de textura franco limosa, mientras que en 2019 y 2020 se encuentra en Santa Lucía de Prías, Coatlínchán Texcoco (19° 29' latitud norte, 98° 52' longitud oeste, 2 300 m de altitud) con suelo de textura franco arenosa.

Los genotipos evaluados incluyeron seis poblaciones de maíz palomero PB1, PB2, PB3, PB4, PB5 y PB6 que fueron integradas desde 1997, para ello se combinaron variedades palomeras nativas y líneas provenientes de Tamaulipas, así como otras traídas de Estados Unidos de América, con la intención de agregar calidad a las palomitas, después se efectuaron varios ciclos de retrocruza hacia calidad palomera. También se incluyeron cuatro testigos y 15 cruza directas y 15 recíprocas correspondientes a un dialélico completo [Método I de Griffing (1956)] (Cuadro 1).

Cuadro 1. Esquema de cruza directas (diagonal derecha superior) y recíprocas (diagonal izquierda inferior) de las seis poblaciones (PB).

	PB1	PB2	PB3	PB4	PB5	PB6
PB1		PB1xPB2	PB1xPB3	PB1xPB4	PB1xPB5	PB1xPB6
PB2	PB2xPB1		PB2xPB3	PB2xPB4	PB2xPB5	PB2xPB6
PB3	PB3xPB1	PB3xPB2		PB3xPB4	PB3xPB5	PB3xPB6
PB4	PB4xPB1	PB4xPB2	PB4xPB3		PB4xPB5	PB4xPB6
PB5	PB5xPB1	PB5xPB2	PB5xPB3	PB5xPB4		PB5xPB6
PB6	PB6xPB1	PB6xPB2	PB6xPB3	PB6xPB4	PB6xPB5	

En cada localidad se estableció un experimento donde los genotipos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, a una densidad de 65 000 plantas ha⁻¹ y la parcela experimental consistió en un surco de 5 m de largo por 0.8 m de ancho. La siembra se efectuó en el mes de junio de los tres años en las tres localidades. En 2018, en Huexotla había humedad en el suelo al momento de la siembra y se aplicaron tres riegos de auxilio, en 2019 y 2020, en Santa Lucía se aplicó riego de siembra y después dos riegos de auxilio, en la FESC-UNAM, en los tres años solo se aplicó un riego a la siembra y la humedad posterior se cubrió con la precipitación pluvial.

En el periodo de crecimiento hasta la fecha de cosecha, se obtuvo información sobre 18 rasgos cuantitativos relacionados con las características morfológicas y la composición del rendimiento. La cosecha fue manual entre los meses de noviembre y diciembre. En cada parcela se cosecharon todas las mazorcas y se registró su peso en campo (PC).

El análisis genético estadístico se realizó con el programa SAS[®] v 9.0 (SAS, 1996) para la variable de rendimiento con el Modelo I (de efectos fijos), Método I (dialélico completo) de Griffing (1956), el cual examina las líneas parentales, las cruza directas y recíprocas, esto mediante el programa Diallel-Sas propuesto por Zhang y Kang (2003), que permitió la división de los efectos recíprocos (ERcc) en maternos (EMat) y no maternos (ENMat). La importancia relativa de ACG y ACE se evaluó con la fórmula que propuso Baker (1978): $[2xCM_{ACG}] / [2xCM_{ACG} + CM_{ACE}]$ donde CM_{ACG} es el cuadrado medio de la ACG y CM_{ACE} es el cuadrado medio de la ACE.

Resultados y discusión

Análisis de varianza

Se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes, cruzas, ACG, ACE; así como, en la interacción ambiente por cruzas, ACG y ACE para la variable rendimiento. Para el caso de la floración masculina (FM) y femenina (FF), así como la altura de planta (AP) y longitud de mazorca (LM) se comportaron de manera similar al no encontrar diferencias altamente significativas en la ACE ni en las interacciones, en el caso de peso volumétrico (PV) solo se detectó diferencias altamente significativas entre ambiente y ACG (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cuadrados medios para rendimiento, floración masculina, floración femenina, altura de planta y peso volumétrico de cruzas dialélicas con poblaciones de maíz palomero en los Valles Altos de México.

Factores de Variación	GL	Rendimiento	FM	FF	AP	PV
Ambiente	5	356950476**	743.8**	1075.4**	6.9**	1038.1**
Cruzas	35	23437657**	15.9**	22.2**	0.16**	39.3*
ACG	5	75872456.6**	35.6**	21.5**	0.43**	87.75**
ACE	15	8940684.7**	8.9	11.4	0.07	20.21
EMat	5	43093328.6**	24.7**	69.5**	0.24**	20.68
ERec	15	20456363.5**	16.3**	33.2**	0.16**	42.18*
Amb x cruzas	175	2576993**	6.7	7.15	0.09	31.26*
Amb x ACG	4	8162806.4**	1.9	4.8	0.03	51.4
Amb x ACE	15	2172078.9**	2.3	3.2	0.02	23.11
Error	420	1244922	5.7	6.8	0.08	24.17
CV (%)		22.7	3.1	3.3	13.3	6.38
Media		4923	77	80	210	77.04
ACG: ACE		0.94	0.89	0.79	0.92	0.91

** , * = $p \leq 0.01$, 0.05 , respectivamente; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; PV= peso volumétrico; GL= grados de libertad; CM= cuadrados medios; ACG= aptitud combinatoria general; ACE= aptitud combinatoria específica; EMat= efectos maternos; ERec= efectos recíprocos; Amb= ambiente; CV (%)= coeficiente de variación en porcentaje.

Las diferencias estadísticas entre cruzas se atribuyen a la expresión de variación genética entre ellas y está relacionada con el tipo de acción génica expresada en cada cruzamiento, como aditividad y dominancia generada por la interacción de las poblaciones parentales. Las diferencias expresadas entre ambientes indican que las condiciones ambientales en diferentes años han cambiado; así como, sus efectos en los genotipos, lo cual es el resultado de diferencias entre el clima, el suelo y las condiciones de cultivo. Dichos contrastes se mostraron en la interacción significativa del ambiente por cruza, que Hallauer *et al.* (2010) atribuyen a la amplia variación de las cruzas involucradas en el linaje poblacional utilizado.

Las diferencias significativas mostradas entre las cruzas llevaron a que la suma de cuadrados se dividiera en la ACG y los efectos maternos de las poblaciones progenitoras, y en la ACE y efectos recíprocos de los cruzamientos. En el caso del rendimiento, tanto la ACG como la ACE mostraron diferencias significativas ($p \neq 0.01$), indicando contrastes genéticos debidos a efectos aditivos y no aditivos, cuya contribución de la ACG fue de 94%. Para las demás variables evaluadas, solo la ACG exhibió diferencias significativas ($p \neq 0.01$), lo que sugiere que la mayor proporción de la variabilidad genética observada en las poblaciones estuvo asociada con efectos aditivos (Guillen de la Cruz *et al.*, 2009), cuya contribución fue de 89% para floración masculina, 79% para la floración femenina, 92% para altura de planta, 91% para longitud de mazorca y de 91% para peso volumétrico.

Autores como López- López *et al.* (2021) menciona que Baker (1978) propuso la relación entre ACG y ACE para inferir su importancia en el comportamiento de la descendencia. Un valor cercano a 1 indica una mayor probabilidad de comportamiento basado solo en ACG. Además, la proporción relativa de los efectos de ACG y ACE definida por el cuadrado medio señala el tipo de acción génica (Antuna *et al.*, 2003), donde ACG se relaciona principalmente con efectos aditivos y ACE con los no aditivos.

Por lo tanto, con base en los resultados de este estudio, indica que la varianza genética aditiva en las poblaciones es mayor que la no aditiva. La contribución de los cuadrados medios de la ACG a la variación fue superior a la presentada por la ACE para las variables anteriormente mencionadas (floración masculina, floración femenina, longitud de mazorca y peso volumétrico). En los efectos maternos (EMat) fueron significativos ($p \leq 0.01$); es decir, la característica evaluada (rendimiento) estuvo determinada tanto por genes nucleares como por citoplasmáticos, lo que significa que estas cruzas en particular pueden realizarse y utilizarse en ambos sentidos (directo y recíproco).

Los efectos recíprocos (ERec) también mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$), lo que se atribuye a los efectos de interacción entre el ADN nuclear y el citoplásmico (Sánchez-Hernández *et al.*, 2011) en las cruzas. La interacción significativa Amb x cruzas condicionó la división de los efectos de interacción de Amb x ACG y Amb x ACE, las cuales también fueron significativas ($p \leq 0.01$).

Efecto de ACG de las poblaciones

Se encontraron diferencias entre poblaciones ($p \leq 0.01$) para rendimiento (Cuadro 3), la PB6 (5 179 kg ha⁻¹) presentó el valor más alto y PB5 (1 663 kg ha⁻¹) el menor. La población PB6 tendrá una alta contribución en la expresión del rendimiento de su progenie, debido a la acumulación de efectos aditivos, resultados semejantes a los reportados por Palemón *et al.* (2012), además el progenitor PB6 podría incluirse en un programa de mejoramiento genético de maíz por selección, para contribuir con alelos favorables para rendimiento (Guillén de la Cruz *et al.*, 2009) y posteriormente también aprovecharse para derivar líneas para la formación de híbridos palomeros rendidores.

Todas las poblaciones progenitoras presentaron valores deseables para las diversas variables evaluadas, con especial énfasis en floración masculina (-0.708) para PB2 (75 días a FM) y peso volumétrico para PB6 (78.2 kg hl⁻¹).

Población	Rendimiento	FM	FF	AP	PV
PB1	-276.02 ^{**}	-0.181	-0.27	-0.08 ^{**}	-0.54
PB2	-268.9 ^{**}	-0.708 ^{**}	-0.44 ^{**}	0.02	-0.02
PB3	134.9 [*]	0.25	0.4 [*]	0.02	-0.27
PB4	140.3 [*]	0.028	-0.04	0.05 ^{**}	-0.62 [*]
PB5	-740.6 ^{**}	0.17	0.16	-0.02	1.06 ^{**}
PB6	1010.8 ^{**}	0.44 ^{**}	0.2	0.01	0.38

^{**}, ^{*} = $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; PV= peso volumétrico.

Los progenitores mostraron valores de efectos maternos superiores (positivos) para rendimiento (Cuadro 4), lo que indica que los progenitores pueden expresar su potencial en la variable evaluada en el caso de sus cruzas directas; es decir, cuando se usan exclusivamente como progenitor femenino. PB2 y PB5 presentaron valores negativos para la variable rendimiento, por lo que se espera que sus cruzas directas y recíprocas se comporten desfavorablemente; es decir, si los progenitores se emplean como hembra, su progenie mostrará detrimento en rendimiento de grano (Núñez-Terrones *et al.*, 2019; López-López, 2021).

Cuadro 4. Efectos maternos para rendimiento y variables agronómicas evaluadas de seis poblaciones de maíz palomero en seis ambientes. Primavera verano 2018 a 2020.

Población	Rendimiento	FM	FF	AP	PV
PB1	671.6 ^{**}	0.15	-0.32	0.015	0.32
PB2	-678 ^{**}	0.294	0.65 ^{**}	0.002	-0.23
PB3	431.2 ^{**}	0.156	0.37	0.02	-0.19
PB4	113.4	0.344	0.56 ^{**}	0.03	0.55
PB5	-570.9 ^{**}	-0.222	0.11	-0.08 ^{**}	-0.44
PB6	32.7	-0.722 ^{**}	-1.16 ^{**}	0.01	-0.015

^{**}, ^{*} = $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; LM= longitud de mazorca; PV= peso volumétrico.

Efecto de la ACE de las cruzas de las poblaciones

El efecto de la ACE para el rendimiento fue variable para la mayoría de las cruzas (Cuadro 5). Doce cruzas directas fueron superiores ($p \leq 0.01$) a las demás con un rendimiento entre 3 416 a 6 945 kg ha⁻¹. Las cruzas directas con mayor ACE para rendimiento fueron PB1 x PB3 (5 604 kg ha⁻¹) y PB5 x PB6 (5 279 kg ha⁻¹).

Cuadro 5. Efecto de ACE de 15 cruzas directas y 15 cruzas recíprocas del cruzamiento de seis poblaciones de maíz palomero, para rendimiento de grano y variables agronómicas evaluadas en seis ambientes. Primavera verano 2018 a 2020.

Tipo de craza	CPP	Rendimiento		FM		FF		AP		PV	
		ACE	(kg ha ⁻¹)	ACE	días	ACE	días	ACE	cm	ACE	(kg hl ⁻¹)
CD	PB1	-768.94 ^{**}	3858	-0.167	77	0.14	79	0.01	200	0.09	77
	x PB2										
	PB1	547.9 ^{**}	5604	0.403	77	0.12	79	0.02	200	0.76	78.1
	x PB3										
	PB1	257.4	5690	0.736 [*]	77	0.48 [*]	80	-0.001	204	-1.27	75.5
	x PB4										
	PB1	-367.9 [*]	5414	0.292	78	0.4	79	-0.03	205	-0.3	78.4
	x PB5										
	PB1	-165.1	5807	-0.431	78	-0.45	81	-0.01	200	-0.71	74.1
	x PB6										
	PB2	476.9 [*]	4097	-0.125	75	-0.34	80	-0.03	204	0.05	76.4
	x PB3										
	PB2	393.6 [*]	4207	0.014	77	0.04	80	-0.02	212	0.48	76.7
	x PB4										
	PB2	202.5	3416	0.125	77	-0.04	80	0.01	210	-0.36	77.4
	x PB5										
	PB2	-85.2	5290	0.542	79	0.61	82	-0.004	210	0.07	77.7
	x PB6										
	PB3	-292	5125	0.722 [*]	78	0.72	81	0.07	220	-0.78	75.6
	x PB4										
	PB3	-414.3 ^{**}	4412	-0.167	78	-0.19	81	-0.01	210	0.09	78.6
	x PB5										

Tipo de cruza	CPP	Rendimiento		FM		FF		AP		PV	
		ACE	(kg ha ⁻¹)	ACE	días	ACE	días	ACE	cm		ACE
	PB3	343.8 [*]	6945	0.306	79	0.52	82	0.02	214	0.015	76.1
	x PB6										
	PB4	-749.5 ^{**}	4346	-0.278	77	0.11	80	0.08 [*]	240	1.16	79.9
	x PB5										
	PB4	96.3	5848	-0.67 ^{**}	78	-0.88 [*]	81	0.007	210	-0.31	79
	x PB6										
	PB5	483.8 [*]	5279	0.111	77	0.3	80	-0.009	204	-0.71	78.3
	x PB6										
CR	PB2	248.7	4167	0.694	75	-0.28	79	0.02	213	0.46	76.7
	x PB1										
	PB3	274.4	6435	-0.389	76	-0.9 [*]	79	0.01	212	1.12	77.2
	x PB1										
	PB4	644.9 ^{**}	6169	-0.667	76	-0.9 [*]	79	0.01	210	0.92	77.1
	x PB1										
	PB5	1875.5 ^{**}	4817	0.194	77	-0.81	79	0.12 [*]	210	1.13	78.1
	x PB1										
	PB6	314.3	5870	0.917 [*]	76	1.28 ^{**}	79	-0.006	210	-2.04 [*]	77.2
	x PB1										
	PB3	-1169 ^{**}	4530	0.444	77	0.36	80	-0.04	205	-0.41	76.4
	x PB2										
	PB4	-981.04 ^{**}	4687	0.194	78	0.58	81	0.01	222	-0.18	75.2
	x PB2										
	PB5	-700.6 ^{**}	3394	0.222	77	0.25	80	0.02	201	-0.36	77.3
	x PB2										
	PB6	-290.5	5879	1.31 ^{**}	77	1.8 ^{**}	80	-0.004	211	0.26	78.2
	x PB2										
	PB4	219.3	5498	-0.25	77	-0.44	79	-0.02	202	0.19	76.5
	x PB3										
	PB5	509.2 ^{**}	2801	0.333	77	0.4	80	0.04	200	0.65	77.4
	x PB3										
	PB6	533 ^{**}	6493	0.75	76	1.36 ^{**}	77	0.02	220	-1.8	74
	x PB3										
	PB5	772.2 ^{**}	4287	-0.278	77	0.14	80	0.21 ^{**}	200	1.24	79.3
	x PB4										
	PB6	-322.1	6076	1.278 ^{**}	79	1.92 ^{**}	81	-0.05	206	2.5 ^{**}	77.3
	x PB4										
	PB6	-398.3	6271	-0.689	78	-0.6	80	-0.008	210	0.47	79.4
	x PB5										

** , * = $p \leq 0.01$ y $p \leq 0.05$; FM= floración masculina; FF= floración femenina; AP= altura de planta; PV= peso volumétrico; CPP= cruza por población; CD= cruza directa; CR= cruza recíproca; ACE= aptitud combinatoria específica.

La cruza con mayor ACE no produjo el mejor rendimiento, ya que fue el producto de cruzar dos progenitores de baja ACE, pero las cruza con mayor rendimiento tuvieron una ACE intermedia, siendo el resultado de cruzar dos progenitores de alta ACE (Escorcia-Gutiérrez *et al.*, 2010), estabilidad en los ambientes de evaluación Guerrero-Guerrero *et al.* (2011); Manjarrez *et al.* (2014); López-López *et al.* (2021), informaron que una cruza simple es de alto rendimiento cuando sus progenitores son de alta ACE o al menos uno de ellos lo es, pero presentaron efectos altos positivos de ACE.

Por su parte, ocho cruza recíprocas (Cuadro 5) presentaron diferencias ($p \leq 0.01$), con rendimientos entre 2 801 a 6 493 kg ha⁻¹. La cruza recíproca con mayor efecto de ACE para rendimiento fue PB6 x PB3. La cruza directa PB3 x PB6 y recíproca (PB6 x PB3), la cual presentó una diferencia altamente significativa, ambas cruza simples presentaron mayor rendimiento (6 945 y 6 493 kg ha⁻¹), estas cruza son el resultado del cruzamiento entre dos progenitores de alta ACG de igual genealogía.

Para los días a floración masculina de las cruza, solo una presentó diferencia significativa ($p \leq 0.01$), la población PB6 al usarse como progenitor hembra sumó efectos aditivos en varios progenitores, pero su floración fluctuó entre 76 a 79 días. Respecto al peso volumétrico, la presencia de los progenitores PB1, PB4, PB5 y PB6 aumenta la densidad del grano, lo que está relacionado en forma directa con la dureza del grano de su progenie (77.2 a 79.9 kg hl⁻¹) a pesar de que, en la ACE, tanto en cruza directa como recíproca, no tuvieron significancia alguna.

La cruza recíproca PB6 x PB4 fue altamente significativa (2.5), pero mantiene el valor promedio mostrado por las cruza. Los efectos recíprocos (ERec) son un factor relevante en el mejoramiento genético del maíz, por lo que se debe tener en cuenta la expresión de estos efectos a través de la diversidad genética de los padres (Khehra y Bhalla, 1976).

Conclusiones

En los materiales evaluados de maíz palomero, los efectos de aptitud combinatoria general (efectos aditivos) fueron más importantes que los de aptitud combinatoria específica, para el rendimiento, floración masculina y peso volumétrico. En las cruza se encontraron efectos maternos y recíprocos, por lo que las características evaluadas están determinadas por la herencia nuclear y citoplasmática, lo que permite cruzar progenitores directa y recíprocamente para el desarrollo y uso de PB6 x PB3 y PB3 x PB6, mismas que destacaron con mayor efecto de ACE.

El empleo de progenitores de ACG contrastante (alta y baja) permitió que sus progenies, expresan rendimientos favorables. Las poblaciones de maíces palomeros con efectos altos de ACG se pueden usar para desarrollar variedades sintéticas o impulsar más ciclos de mejoramiento genético, mientras que las cruza con altos niveles de ACE se pueden usar para generar híbridos simples.

Agradecimientos

Los autores(as) agradecen el apoyo económico para la realización de la presente investigación al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), (DGAPA-UNAM) Clave del proyecto PAPIIT: IT200122.

Bibliografía

- 1 Ángeles, A. H. H. 2000. Mejoramiento genético de maíz en México: el INIA, sus antecesores y un vistazo a su sucesor el INIFAP. *Agr. Téc. Méx.* 26(1):31-48.
- 2 Antuna, G. O. F.; Rincón, S. E.; Gutiérrez, R. E.; Ruiz, T. N. A. y Bustamante, G. L. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas de líneas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 26(1):11-17.
- 3 Baker, R. J. 1978. Issues in diallel analysis. *Crop Science.* 18(4):533-536. Doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci1978.0011183X001800040001x>.
- 4 Cai, Q. S.; Wang, L. L.; Yao, W. H.; Zhang, Y. D.; Liu, L. L.; Yu, L. J. and Fan, X. M. 2012. Diallel analysis of photosynthetic traits in maize. *Crop Science.* 52(2):551-559. Doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.06.0333>.
- 5 Escorcia-Gutiérrez, N.; Molina-Galán, J. D.; Castillo-González, F. y Mejía-Contreras, J. A. 2010. Rendimiento, heterosis y depresión endogámica de cruza simples de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 33(3):271-279. Doi: <https://doi.org/10.35196/rfm.2010.3.271>.

- 6 Espinosa-Calderón, A.; Tadeo-Robledo, M.; Cárdenas-Marcelo, A. L.; López-López, C.; Canales-Islas, E. I.; Sierra-Macías, M. y Gómez-Montiel, N. O. 2018. Rendimiento y perspectivas de uso comercial de variedades de maíz palomero en Valles Altos de México. *Acta Fitogenética*. 5(1):84-84.
- 7 Griffing, B. J. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. Biol. Sci.* 9(4):463-493. Doi: <https://doi.org/10.1071/B19560463>.
- 8 Guillén-Cruz, P.; Cruz-Lázaro, E.; Castañón-Najera, G.; Osorio-Osorio, R.; Brito-Manzano, N. P.; Lozano-Río, A. y López-Noverola, U. 2009. Aptitud combinatoria general y específica de germoplasma tropical de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10(1):101-107. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000204>.
- 9 Guerrero-Guerrero, C. A.; Espinoza-Banda, A.; Palomo-Gil, E.; Gutiérrez-Río, H.; Zermeño-González, M. y González-Castillo, P. 2011. Aptitud combinatoria del rendimiento y sus componentes en dos grupos de líneas de maíz. *Agronomía. Mesoamericana*. 22(2):257-267.
- 10 Hoegemeyer, T. C. and Hallauer, A. R. 1976. Selection among and within full-sib families to develop single crosses of maize. *Crop Science*. 16(1):76-78. Doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci1976.0011183X001600010019x>.
- 11 Hallauer, A. R.; Carena, R. M. and Miranda, J. B. 2010. *Quantitative genetics in maize breeding*. Springer-Verlag. New York Inc. 382-423. Doi 10.1007/978-1-4419-0766-0.
- 12 Khehra, A. S. and Bhalla, S. K. 1976. Cytoplasmic effects on quantitative characters in maize (*Zea mays* L.). *Theoretical and Applied Genetics*. 47(6):271-274. Doi: <https://doi.org/10.1007/bf00281931>.
- 13 López-López, C.; Tadeo-Robledo, M.; García-Zavala, J. J.; Espinosa-Calderón, A. y Mejía-Contreras, J. A. 2021. Aptitud combinatoria general, específica y heterosis en variedades y cruza de maíces amarillos de valles altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 22(4):699-711. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i4.2786>.
- 14 Mangelsdorf, P. C. and Smith, E. C. 1949. A discovery of remains of primitive maize in New Mexico. *The Journal of Heredity*. 40(2) Doi: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a105980>
- 15 Manjarrez-Salgado, M.; Palemón-Alberto F.; Gómez-Montiel, N. O.; Espinosa-Calderón, A.; Rodríguez-Herrera, S. A.; Damián-Nava, A.; Hernández-Castro, E. y Cruz-Lagunas, B. 2014. Aptitud combinatoria general y específica de maíces normales y de alta calidad de proteína. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5(7):1261-1273.
- 16 Melani, M. D. and Carena, M. J. 2005. Alternative maize heterotic patterns for the Northern Corn Belt. *Crop Science*. 45(6):2186-2194. Doi: <https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0289>.
- 17 Miranda, J. O. 1977. H 367 P híbrido de maíz palomero de riego para El Bajío. *Campo Experimental Bajío*. Desplegable Núm. 68. CIAB, INIA, SARH. 1-6 pp.
- 18 Núñez-Terrones, E.; Mendoza-Castillo, M. C.; Delgado-Alvarado, A.; Castillo-González, F. y Sánchez-Ramírez, F. J. 2019. Análisis genético de componentes nutricionales en cruza simple de maíz de grano blanco. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 42(2):163-172.
- 19 Palemón, A. F.; Gómez, M. N. O.; Castillo, G. F.; Molina, G. J. D. y Miranda, C. S. 2012. Potencial productivo de cruza intervarietales de maíz en la región semicálida de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3(1):157-171.
- 20 Piperno, D. R. and Pearsall, D. M. 1993. Phytoliths in the reproductive structures of maize and teosinte: implications for the study of maize evolution. *Journal of Archaeological Science*. 20(3):337-362.
- 21 Sánchez-Hernández, C.; Villanueva-Verduzco, C.; Sahagún-Castellanos, J.; Martínez-Solís, J.; Legaria-Soriano, J. P. y Sánchez-Hernández, M. A. 2011. Efectos de aptitud combinatoria en híbridos de calabacita tipo Grey Zucchini. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 17(2):89-103. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.02.009>.

- 22 SIAP. 2019. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- 23 SAS Institute Inc. 1996. Statistical Analysis System User's Guide. SAS Institute Inc. Cary. NC. USA. 956 p.
- 24 Valadez-Gutiérrez, J.; Gómez-Montiel, N. O.; Preciado-Ortiz, R. E.; Reyes-Méndez, C. A. y Peña-Ramos, A. 2014. V460P, variedad de maíz palomero para la región de Las Huastecas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. 7:1303-1308. Doi: 10.29312/remexca.v0i7.1112.
- 25 Zhang, Y. and Kang, M. S. 2003. DIALLEL-SAS: a program for Griffing's diallel methods. *In*: Kang, M.S. Eds. Handbook of formulas and software for plants geneticists and breeders. Food Products Press, New York, USA. 1-19 p.
- 26 Ziegler, K. E. 2001. Popcorn. *In*: Hallauer, A. R. Ed. Specialty corns. 2^a. Edición. CRC Pressa, Boca Ratón. 199-234 p.



Aptitud combinatoria general y específica de maíz palomero para los Valles Altos de México

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 November 2024
Date accepted: 01 January 2025
Publication date: 04 February 2025
Publication date: Jan-Feb 2025
Volume: 16
Issue: 1
Electronic Location Identifier: e3064
DOI: 10.29312/remexca.v16i1.3064
Funded by: PAPIIT
Funded by: DGAPA- UNAM
Award ID: IT200122

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Zea mays L.

aptitud combinatoria específica

aptitud combinatoria general

maíz palomero

poblaciones

rendimiento.

Counts

Figures: 0

Tables: 5

Equations: 0

References: 26

Pages: 0