

COMPORTAMIENTO DE OCHO POBLACIONES DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays L.*) EN CRUZAS CON UN PROBADOR

BEHAVIOR OF EIGHT POPULATIONS OF YELLOW MAIZE (*Zea mays L.*) IN CROSSES WITH A TESTER

¹Julián Chura Chuquiya y ²Elías Hugo Huanuqueño Coca

Resumen

Se evaluaron ocho poblaciones procedentes del CIMMYT, un probador, ocho cruzas (CIMMYT x Probador) y tres testigos (PM-213, Exp-5 y DK-5005), en cuatro ambientes (La Merced-2008, Puerto Bermúdez-2009, La Molina-2008 y La Molina-2009) bajo el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los rendimientos de las ocho cruzas fueron variables en los ambientes evaluados, algunas cruzas obtuvieron rendimientos similares a las del mejor testigo y superaron al mejor progenitor. Las poblaciones 28 y 24 resultaron ser buenos progenitores cuando fueron cruzados con el probador (♂PM-212), porque sus descendientes resultaron ser más rendidores, de menor altura y más precoces que el probador.

Palabras clave: habilidad combinatoria específica, heterosis, híbrido doble, híbrido triple, híbrido simple, probador.

Abstrac

Eight CIMMYT populations were evaluated, one tester, eight crosses (CIMMYT x Tester), and three checks (PM-213, Exp-5, and DK-5005), in four locations (La Merced-2008, Puerto Bermúdez-2009, La Molina-2008, and La Molina-2009) using complete randomized blocks with four replications. Yield of the eight crosses were variable in the evaluated locations, some crosses obtained similar yield as the best check and higher than the best parent. Populations 28 and 24 showed to be good parents when they were crossed with the tester (male PM-212), because their progenies had better yield, lesser plant height and earlier than the tester.

Key words: specific combining ability, heterosis, double hybrid, triple hybrids, simple hybrids, tester.

1. Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los cultivos más importantes en el Perú y se siembra en todos los departamentos. En la costa y selva los más importantes son los maíces de granos amarillo duro y semiduro (Salhuana y Scheuch, 2004). El Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz (PCIM) en respuesta a la gran demanda de variedades mejoradas, ha liberado en el año 1980 el híbrido doble PM-212 de alto rendimiento, pero tiene plantas altas y es tardío. La rusticidad, estabilidad de rendimiento en diferentes años y localidades, así como la tolerancia a factores estresantes de los híbridos que tienen a la raza Perla como fuente genética en su genealogía, está comprobada, por ello se utiliza como fuente genética en la obtención de líneas y formación de híbridos. Uno de los progenitores del híbrido doble PM-212, es un híbrido simple de la raza Perla de origen peruano (probador en este experimento) ha mostrado tener gran capacidad heterótica y alta habilidad combinatoria en cruzas (Sevilla *et al.*, 1995; Vásquez, 1996; Chura *et al.* 2004). El conocimiento de los diversos tipos de acción

génica y la importancia de estos en la determinación de caracteres de interés, es básico para lograr avances en un programa de mejoramiento genético. Uno de los métodos para evaluar y conocer la acción génica de caracteres cuantitativos es el cruzamiento directo de los genotipos potenciales con el probador de interés, éste, es una de las estrategias que se desarrolla en el PCIM, por ello para el presente experimento se formaron ocho cruzas teniendo como progenitor femenino a ocho poblaciones CIMMYT y como único progenitor masculino al híbrido simple macho del híbrido doble comercial PM-212. Es necesario evaluar la progenie de estas cruzas en base a su buena capacidad heterótica, aptitud combinatoria y a su comportamiento *per se* desde el punto de vista de su rendimiento, para discriminar tales poblaciones. La heterosis es posiblemente el fenómeno que el hombre ha utilizado con más éxito sin comprenderlo en su totalidad. La heterosis es sinónimo de vigor híbrido que se manifiesta como el comportamiento superior de caracteres como división celular, tamaño, rendimiento y vigor en general (Shull, 1908; East, 1908; Moll *et al.*, 1962; Hochholdinger y Hoecker, 2007; Hallauer *et al.*,

¹Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Email: chura@lamolina.edu.pe, ehhc@lamolina.edu.pe

²Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

2010). Hallauer y Miranda (1982) y Gomes y Valdivia (1988), mencionan que para obtener mejor respuesta heterótica se debe combinar germoplasma proveniente de diferentes áreas de adaptación, pero Moll *et al.* (1965) sugieren que el concepto de diversidad genética para maximizar la expresión de la heterosis tiene limitaciones. La heterosis puede ser positiva o negativa, ambos son útiles para el mejoramiento de los cultivos. En general se desea heterosis positiva para rendimiento de grano y heterosis negativa para precocidad (Fanseco y Peterson, 1968; Virmani, 1994). La habilidad combinatoria específica es más importante cuando el material genético ha sido previamente seleccionado. Márquez (1985), define la habilidad combinatoria como la capacidad que tiene un individuo o una población de combinarse con otros, capacidad que es medida por medio de su progenie. Sprague y Tatum (1942), definen los términos de: a) habilidad combinatoria general (HCG) como el comportamiento promedio de una línea en cruzamientos con un conjunto de líneas diferentes, y b) habilidad combinatoria específica (HCE) como la desviación que presenta la progenie de una cruce específica con respecto al promedio de sus progenitores. Rojas y Sprague (1956), Hallauer y Miranda (1982), y Falconer y Mackay (2001), relacionaron estos dos conceptos con la acción génica aditiva y no aditiva (dominancia y epistasia), respectivamente.

Los objetivos de la presente investigación son: i) Evaluar el rendimiento de ocho cruces de maíz (CIMMYTxProbador), ii) Identificar poblaciones procedentes del CIMMYT que generen cruces de alto rendimiento, sean de pequeña altura de planta y precoces, y iii) Determinar la habilidad combinatoria específica y la heterosis.

2. Materiales y métodos

Procedimiento experimental

La investigación fue desarrollada en cuatro experimentos, que fueron establecidos en cuatro ambientes: 1) La Merced-2008, 2) Puerto Bermúdez-2009, 3) La Molina-2008 y 4) La Molina-2009. El diseño experimental utilizado fue bloque completo al azar con 20 genotipos (Tabla 1) y cuatro repeticiones. La parcela experimental consistió de dos surcos de 6.0 metros de largo espaciados a 80 cm, con una distancia de siembra entre golpes de 40 cm y dos plantas por golpe. El manejo agronómico de los experimentos se realizó de acuerdo a la cultura maicera de la región, selva o costa.

Características evaluadas

Se evaluaron: a) rendimiento, determinado en base al peso por parcela ajustado al 14% de humedad y expresado en kg.ha⁻¹; b) diámetro de tallo, medido en centímetros a la altura del primer entrenudo; c) longitud de mazorca, medido en centímetros desde la base hasta la punta de la mazorca; d) diámetro de mazorca, medido en centímetros en la parte media de la mazorca; e) granos por mazorca,

obtenido de la multiplicación del número de hileras por el número de granos por hilera; f) hileras por mazorca, contados en la parte media de la mazorca; g) granos por hilera, contados en dos hileras desde la base hasta la punta de la mazorca; h) peso de mazorca, obtenido de pesar diez mazorcas representativas y expresado en kg; i) peso de granos, obtenido de pesar los granos de las diez mazorcas anteriores y expresado en kg; j) altura de planta, medido en centímetros desde la base de la planta hasta en punto de nacimiento de la panoja; k) altura de mazorca, medido en centímetros desde la base de la planta hasta el nudo donde nace la mazorca superior; l) días a floración masculina, días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que más del 50% plantas emitieron polen en la panoja; y m) días a floración femenina, días transcurridos desde la siembra hasta el momento en que más del 50% plantas presenten visibles sus estigmas.

Tabla 1. Genotipos de maíces amarillos utilizados en la evaluación de trece caracteres en cuatro ambientes.

Cruzas (Poblaciones CIMMYTxProbador)	
1	Pob-24 x ♂PM-212
2	Pob-26 x ♂PM-212
3	Pob-28 x ♂PM-212
4	Pob-II-35 x ♂PM-212
5	Pob-II-36 x ♂PM-212
6	Pool-17E-C31 x ♂PM-212
7	Pool-18-C-27 x ♂PM-212
8	Pool-6-C10 x ♂PM-212
Poblaciones CIMMYT	
9	Pob-24
10	Pob-26
11	Pob-28
12	Pob-II-35
13	Pob-II-36
14	Pool-17E-C31
15	Pool-18-C-27
16	Pool-6-C10
Probador	
17	♂PM-212
Testigos (Híbridos comerciales)	
18	PM-213
19	Exp-5
20	DK-5005

Determinación de la heterosis

La heterosis, expresado en porcentaje, se determinó en base al promedio de los progenitores ($h = 100 \times (F_1 - P_m) / P_m$) y La heterobeltiosis en base al progenitor superior ($h' = 100 \times (F_1 - P_s) / P_s$), donde: F_1 = media de la primera generación de la cruce, P_m = media de los progenitores y P_s = progenitor superior

Determinación de la habilidad combinatoria específica (HCE)

Se estimó con la siguiente fórmula: $\hat{S}_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_i - \hat{Y}_j + \hat{Y}_{..}$. Donde: \hat{S}_{ij} = es el efecto de la HCE del macho-i y la hembra-j, \hat{Y}_i = media del progenitor masculino, \hat{Y}_j = media del progenitor femenino, Y_{ij} = es el valor de la cruce, $\hat{Y}_{..}$ = es la media general.

3. Resultados y discusión

Rendimiento de grano

Al realizar la prueba de homogeneidad de variancias de los errores considerando los cuatro ambientes, las variancias resultaron ser homogéneas según la prueba de Bartlett. En el análisis de variancia combinado se encontró diferencias estadísticas altamente significativas para todos los componentes de la fuente de variación (Tabla 2).

Las diferencias entre ambientes en promedio de genotipos, señalan que el efecto ambiental en la expresión del rendimiento fue diferente, resultados similares fueron encontrados por Camarena en 1978 y Beingolea en el 2006. Es más probable que las diferencias entre genotipos estén asociadas a la carga genética porque proceden de orígenes geográficos distintos. Las diferencias en la interacción genotipo por ambiente indican que el rendimiento de los genotipos no fue consistente en los

ambientes evaluados. Una partición ortogonal de la suma de cuadrados de genotipos, reveló que el 43 por ciento de la suma de cuadrados de genotipos resultó de los efectos de progenitores vs cruzas, seguido del 22 por ciento a los progenitores, 19 por ciento a las cruzas vs testigos, 12 por ciento a las cruzas y solo 3 por ciento a los testigos, lo que confirma las diferencias genotípicas. Considerando los contrastes de progenitores, cruzas y progenitores vs cruzas, los resultados sugieren la presencia de efectos heteróticos significativos e importantes. Una partición ortogonal de la suma de cuadrados de la interacción genotipos por ambiente reveló que el 42 por ciento resultó de los efectos de (progenitores vs cruzas) por ambientes, seguido del 22 por ciento a los progenitores por ambientes, 19 por ciento a las (cruzas vs testigos) por ambientes, 12 por ciento a las cruzas por ambientes y solo 5 por ciento a los testigos por ambientes.

Las diferencias estadísticas altamente significativas para la interacción genotipo por ambiente indican que el orden de mérito y las diferencias entre genotipos no fueron de la misma magnitud en los cuatro ambientes evaluados (Tabla 2), por lo tanto, el análisis para rendimiento de grano se hizo por cada ambiente. Los análisis de variancias individuales (Tabla 3) detectaron diferencias estadísticas altamente significativas entre genotipos.

Tabla 2. Cuadrados medios del análisis de variancia combinado para rendimiento de grano (kg.ha⁻¹) de 20 genotipos de maíces amarillos evaluados en cuatro ambientes

F. de Variación	Cuadrados medios				
	GL	Cuatro ambientes	GL	Dos ambientes (Selva)	Dos ambientes (Costa)
Ambiente (Amb.)	3	251245318**	1	125660431**	235543413**
Bloque / Amb.	12	3035703**	6	4591568**	1479837
Genotipo (Gen.)	19	63548078**	19	16789038**	60762233**
Progenitores (P)	8	57788906**	8	21878366**	51832599**
Cruzas (C)	7	36046367**	7	5845304	38926059**
Testigos (T)	2	32924343**	2	12905747*	21592415**
P vs C	1	906139412**	1	238613391**	906459683**
C vs T	1	397996325**	1	91966202**	373600859**
Gen. x Amb.	57	6308944**	19	3061147**	1862492*
(P) x Amb.	24	6360570**	8	879676	2279974*
(C) x Amb.	21	4109382**	7	2252658	1350492
(T) x Amb.	6	5312991**	2	13596257**	768898
(P vs C) x Amb.	3	98133316**	1	22854046**	32612240**
(C vs T) x Amb.	3	42982361**	1	50350452**	11025897**
Error conjunto	228	1102160	114	1108470	1095850
Promedio		7343.22		6235.68	8450.77
C. V. (%)		14.3		16.88	12.39

*Significación al 5 % de probabilidad

**Significación al 1 % de probabilidad

En los cuatro ambientes evaluados, el rendimiento promedio de las cruzas fue superior al rendimiento promedio de sus progenitores lo que pone en evidencia la capacidad heterótica de los progenitores (Tabla 4). En La Merced-2008 las cruzas rindieron 7424.14 kg.ha⁻¹ y los progenitores 6568.54 kg.ha⁻¹, en Puerto Bermúdez-2009 las cruzas lograron 5422.65 kg.ha⁻¹ y los progenitores 4642.32 kg.ha⁻¹, en La Molina-2008 las cruzas rindieron 10700.46 kg.ha⁻¹ y los progenitores 7775.28 kg.ha⁻¹ y en La Molina-2009 las cruzas produjeron 7944.29 kg.ha⁻¹ y los padres 5781.11 kg.ha⁻¹. Chura *et al.* (2004) y Preciado *et al.* (2005), obtuvieron resultados similares.

Tabla 3. Cuadrados medios del análisis de variancia individual para rendimiento de grano (kg.ha⁻¹) de 20 genotipos de maíces amarillos evaluados en cuatro ambientes.

F. de variación	GL	Cuadrados medios			
		La Merced-2008	P. Bermúdez-2009	La Molina-2008	La Molina-2009
Bloque	3	7344105**	1839032	2756608	203065
Genotipo	19	7365276**	12484910**	39407186**	23217538**
Progenitores (P)	8	11833921**	10924122**	35540268**	18572306**
Cruzas (C)	7	3150213*	4947749**	24856332**	15420220**
Testigos (T)	2	258776	26243228**	13249646**	9111667**
P vs C	1	12402153**	10315211**	144963101**	79272373**
C vs T	1	2657363	29969550**	30401094**	27567177**
Error	57	1169847	1047093	1146527	1045172
Promedio		7121.89	5349.46	9664.09	7237.45
C. V. (%)		15.19	19.13	11.08	14.13

*Significación al 5 % de probabilidad

** Significación al 1 % de probabilidad

Tabla 4. Comparación de medias para rendimiento de grano (kg.ha⁻¹) de 20 genotipos de maíces amarillos evaluados en cuatro ambientes.

La Merced-2008			Puerto Bermúdez-2009			La Molina-2008			La Molina-2009		
Genotipo	Promedio (kg/ha)		Genotipo	Promedio (kg/ha)		Genotipo	Promedio (kg/ha)		Genotipo	Promedio (kg/ha)	
3	9109.5	a	3	6505.2	bc	1	14115.3	ab	1	10591.5	ab
2	7943	abc	7	6204.5	bc	3	12792.4	abc	3	10174.5	ab
1	7866.2	abc	1	5968.5	bcd	5	12650.7	bc	5	8625.8	cd
5	7664.9	abc	5	5907.2	bcd	2	11126.4	cd	2	8471	cde
4	6866	bcd	4	5846.6	cde	4	10213.3	def	7	7684.8	cdef
8	6764.1	cd	2	4985.8	cdefg	7	9366.8	ef	4	6900.3	efg
7	6660.4	cd	6	4935.5	cdefg	6	8911.4	f	6	6467	fg
6	6519	cd	8	3027.9	hi	8	6427.4	g	8	4639.4	hi
ŷ cruza	7424.1			5422.7		ŷ cruza	10700.5			7944.3	
11	9072.2	a	11	7542	b	17	12608.9	bc	17	8347.4	cde
13	8626.3	ab	9	6491.9	bc	9	10436.1	def	13	8331.9	cde
9	7968.2	abc	13	5669.8	cde	13	10114.8	def	9	7728.8	cdef
10	6998.8	bcd	14	4425.6	defgh	11	9533.7	def	11	7044.9	defg
14	6438.6	cde	10	4188.5	efgh	10	6739.4	g	10	5886.4	gh
17	5511.4	def	15	3972.2	fgh	14	5836.2	g	14	4153.5	ij
12	5501.3	def	12	3877.6	fgh	12	5799.3	g	12	3917.1	ij
15	4808.6	ef	17	3491.2	ghi	15	5254.3	g	15	3706.2	ij
16	4191.5	f	16	2122.1	i	16	3654.8	h	16	2913.8	j
ŷ prog.	6568.5			4642.3		ŷ prog.	7775.3			5781.1	
19	8225	abc	20	10191.9	a	20	14340.1	a	20	11413.8	a
20	7986.2	abc	18	6245.1	bc	18	12657.2	bc	18	9236.3	bc
18	7716.6	abc	19	5390.2	cdef	19	10703.4	de	19	8514.6	cde
ŷ test.	7975.9			7275.7		ŷ test.	12566.9			9721.6	
ŷ Total	7121.9			5349.5		ŷ Total	9664.1			7237.5	

* Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente (Duncan, p>0.05)

La prueba de comparación de medias (Tabla 4) reveló que en la Merced-2008, 10 de los 20 genotipos obtuvieron rendimientos superiores y similares entre ellos, sobresalieron las cruzas: Pob-28x♂PM-212, Pob-26x♂PM-212, Pob-24x♂PM-212 y Pob-II-36x♂PM-212, con rendimientos de 9109.5, 7943.0, 7866.2 y 7664.9 kg.ha⁻¹ respectivamente. En Puerto Bermúdez-2009, el testigo DK-5005 obtuvo el mayor rendimiento y logró producir 10191.90 kg.ha⁻¹, las cruzas que sobresalieron fueron: Pob-28x♂PM-212 y Pool-18-C-27x♂PM-212 con 6505.2 y 6204.5 kg.ha⁻¹ respectivamente. En La Molina-2008, los genotipos que lograron rendimientos altos y similares fueron: DK-5005, Pob-24x♂PM-212 y Pob-28x♂PM-212 con 14340.10, 14115.30 y 12792.40 kg.ha⁻¹, respectivamente. En La Molina-2009, tres genotipos lograron alcanzar rendimientos superiores y fueron: DK-5005, Pob-24x♂PM-212 y Pob-28x♂PM-212, con rendimientos de 11413.80, 10591.50 y 10174.50 kg.ha⁻¹, respectivamente. Algunas cruzas, además de obtener el mayor rendimiento, desarrollaron plantas más bajas y precoces que las del probador (Tabla 5).

Habilidad combinatoria específica y heterosis

Los estimados de habilidad combinatoria específica y heterosis fueron hechos en base al promedio de los cuatro ambientes. El análisis de la habilidad combinatoria específica (HCE) para rendimiento de grano (Tabla 6 y 7) detectó que el 100 por ciento de las cruzas presentaron efectos positivos. En siete de ocho cruzas la heterosis promedio fue positiva, lo cual indica que el rendimiento en siete cruzas fue superior y en una cruz fue inferior a la media de sus padres, los porcentajes variaron de -2.62% para la cruz Pool-6-C10x♂PM-212 y 25.44% para la cruz Pool-18-C-27x♂PM-212. Resultado similar fue reportado por Manrique y Nakahodo (1980), quienes evaluaron germoplasmas provenientes del CIMMYT, de Cuba y de Perú en tres localidades y encontraron heterosis entre -11 y 47 por ciento. Sánchez en 1980, luego de cruzar germoplasma del CIMMYT con la raza Perla reportó heterosis entre 12 y 20 por ciento, mientras que Huaranga en 1988, determinó que la heterosis promedio fue 109.3 por ciento y la heterosis con respecto al mejor progenitor fue 98.9 por ciento, luego de evaluar 36 híbridos que se originaron del cruce entre nueve variedades experimentales provenientes del CIMMYT con cuatro variedades locales en dos localidades de la costa. Beingolea (2006) evaluó 21 cruzas intervarietales originadas por la cruz de siete variedades y encontró una heterosis de 115% para rendimiento. En relación a la heterobeltiosis, en el 50 por ciento de las cruzas se obtuvieron valores positivos, esto indica que el rendimiento de la cruz superó al rendimiento alcanzado por el progenitor más rendidor, las cruzas con porcentajes positivos fueron: Pob-24x♂PM-212, Pob-28x♂PM-212, Pob-26x♂PM-212 y Pob-II-36x♂PM-212 con 18.14, 16.23, 8.57 y 6.43 por ciento respectivamente. En

La Merced-2008 los rendimientos de las cruzas Pob-28x♂PM-212, Pob-26x♂PM-212, Pob-24x♂PM-212 y Pob-II-36x♂PM-212, fueron superiores estadísticamente al obtenido por el progenitor ♂PM-212, además no mostraron ser diferentes al rendimiento registrado en los testigos comerciales. En Puerto Bermúdez-2009 las cruzas que superaron al ♂PM-212 fueron Pob-28x♂PM-212, Pool-18-C-27x♂PM-212, Pob-24x♂PM-212 y Pob-II-36x♂PM-212. En La Molina-2008, se registraron rendimientos similares entre las cruzas Pob-24x♂PM-212 y Pob-28x♂PM-212, el mejor testigo y el progenitor masculino ♂PM-212 (Tabla 5), además estas cruzas tuvieron los porcentajes de heterobeltiosis positivas más altos (Tablas 6 y 7). En La Molina-2009, las cruzas Pob-24x♂PM-212 y Pob-28x♂PM-212 fueron realmente superiores al obtenido por ♂PM-212 y sus rendimientos no fueron diferentes comparados con el mejor testigo comercial.

Las cruzas que obtuvieron mayores rendimientos presentaron también valores superiores en el porcentaje de heterobeltiosis y no necesariamente fueron las progenies de padres de fenotipos más divergentes. La prueba de comparación de medias entre progenitores realizado para trece caracteres (Tabla 6) permite establecer dos grupos en base a las semejanzas fenotípicas entre las poblaciones y el probador, el primer grupo lo conforman las poblaciones Pob-28, Pob-24, Pob-II-36 y Pob-26 que presentan similar fenotipo al del probador en cuatro caracteres, además presentan porcentajes positivos de heterobeltiosis y el segundo grupo cuyo fenotipo es más diverso la conforman las poblaciones Pool-18-C-27, Pob-II-35, Pool-17E-C31 y Pool-6-C10, donde los valores de heterobeltiosis fueron negativos y sus descendencias resultaron ser menos rendidoras. Estos resultados concuerdan con las conclusiones de Moll *et al.* (1965) quienes señalaron que la divergencia extrema puede reducir la heterosis.

Las cruzas 3 y 1 (Pob-28x♂PM-212 y Pob-24x♂PM-212, respectivamente) fueron los que obtuvieron rendimientos superiores en los cuatro ambientes (Tabla 4), desarrollaron plantas más bajas y precoces que el probador (Tabla 5), así mismo, los valores de heterosis y heterobeltiosis fueron superiores (Tablas 6 y 7), por todo ello las poblaciones 28 y 24 se consideran como fuentes potenciales para la extracción de líneas con fines de formar híbridos para las zonas evaluadas.

Tabla 5. Comparación de medias para altura de planta y días a floración masculina de 20 genotipos de maíces amarillos evaluados en cuatro ambientes.

La Merced-2008				Puerto Bermúdez-2009				La Molina-2008		La Molina-2009		La Molina 2008 y 2009	
Altura de planta (cm)		Días a floración ♂		Altura de planta (cm)		Días a floración ♂		Altura de planta (cm)		Altura de planta (cm)		Días a floración ♂	
Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio	Genotipo	Promedio
3	309.1 ab	5	63.8 bc	3	277.6 a	5	55.8 a	3	237.4 bc	6	313 a	1	104.4 abc
1	307.9 ab	1	63 bcd	5	262.4 abcd	1	54.8 ab	1	236.5 bc	3	291 ab	3	104.3 abcd
2	288.5 cd	3	63 bcd	1	258.5 abcd	2	54.3 abc	2	233.7 bc	4	289 ab	5	103.5 abcd
5	282.9 cde	2	61.8 d	4	250.1 bcdef	3	53.8 abcd	5	227.2 cd	5	287.5 ab	2	102.3 bcd
4	270.9 def	4	59.3 e	7	240.9 cdefg	4	51.5 def	7	217.8 d	7	286.5 ab	4	99.8 def
7	267.3 ef	7	57.3 f	6	237.1 defgh	6	48.8 gh	4	215.7 de	2	264 ab	7	96.5 fg
6	257 fg	6	56.5 fg	2	225.5 fgh	7	48 h	6	199.3 f	8	256.5 ab	6	92.8 gh
8	210 kl	8	49.8 i	4	186.2 j	8	37.3 k	8	154.9 i	1	250 ab	8	85.3 i
ŷ cruza	274.2	ŷ cruza	59.3	ŷ cruza	242.3	ŷ cruza	50.5	ŷ cruza	215.3	ŷ cruza	279.7	ŷ cruza	98.6
17	315.3 a	17	67.3 a	17	272.7 ab	17	55.8 a	17	266.2 a	14	293 ab	17	105.8 ab
11	246.5 gh	13	62.3 cd	11	231.1 efgh	13	53.3 bcde	11	186.6 fg	17	288.5 ab	9	101.8 bcde
13	234.4 hi	9	62 d	10	227.5 fgh	11	52.3 cdef	9	179.1 gh	11	284 ab	11	101.1 cde
9	231.5 hi	11	62 d	13	222.1 gh	10	51 ef	10	174 gh	13	281.5 ab	10	97.5 ef
10	220.3 ij	10	57.3 f	9	221.8 gh	9	50.5 fg	13	167.6 hi	12	273 ab	13	97.5 ef
14	195.6 kl	12	55.5 g	12	212.3 hi	12	44.5 i	12	136.8 j	16	268.5 ab	12	92 h
15	194.6 kl	15	51.5 h	14	191.2 ij	14	40.3 j	15	134.8 j	10	261 ab	16	85.4 i
12	189.1 lm	14	50.5 hi	15	184.6 jk	15	38.5 jk	14	132.2 j	15	253.5 ab	15	84.6 i
16	175.1 m	16	48 j	16	161.4 k	16	36.5 k	16	116.1 k	9	250 ab	14	81.9 i
ŷ prog.	222.5	ŷ prog.	57.4	ŷ prog.	213.8	ŷ prog.	46.9	ŷ prog.	165.9	ŷ prog.	272.6	ŷ prog.	94.2
19	292 bc	18	64.3 b	19	264.9 abc	19	55.3 ab	19	245.4 b	18	287 ab	19	107.1 a
18	282.6 cde	19	64 b	18	255.4 abcde	18	55 ab	18	216.3 de	20	277 ab	18	105.1 abc
20	232.8 hi	20	59.8 e	20	250.5 bcdef	20	53.3 bcde	20	201.4 ef	19	228.5 b	20	101.9 bcde
ŷ test.	269.1	ŷ test.	62.7	ŷ test.	256.9	ŷ test.	54.5	ŷ test.	221	ŷ test.	264.2	ŷ test.	104.7
ŷ Total	250.2	ŷ Total	58.9	ŷ Total	231.7	ŷ Total	49.5	ŷ Total	193.9	ŷ Total	274.2	ŷ Total	97.5

Medias con letras iguales no difieren estadísticamente (Duncan, p>0.05)

Tabla 6. Comparación de medias entre 8 progenitores femeninos versus un único progenitor masculino (probador) para trece caracteres, y efectos de habilidad combinatoria específica (HCE), porcentaje de heterosis media y heterobeltiosis para rendimiento de grano.

Carácter	Pob-28	Pob-24	Pob-II-36	Pob-26	Pool-18-C-27	Pob-II-35	Pool-17E-C31	Pool-6-C10
	vs	vs	vs	vs	vs	vs	vs	vs
	Probador	Probador	Probador	Probador	Probador	Probador	♂PM-212	♂PM-212
Rendimiento	ns	ns	ns	ns	s	s	s	s
Altura de planta	s	s	s	s	s	s	s	s
Altura de mazorca	s	s	s	s	s	s	s	s
Diámetro de tallo	ns	ns	s	s	s	s	s	s
Longitud de mazorca	ns	ns	ns	s	s	s	s	s
Diámetro de mazorca	ns	ns	s	s	s	s	s	s
Granos por mazorca	s	s	s	s	s	s	s	s
Hileras por mazorca	s	s	s	ns	s	s	s	s
Granos por hilera	s	s	s	s	ns	ns	ns	s
Peso de mazorca	s	s	ns	ns	s	s	s	s
Peso de grano	s	s	ns	ns	s	s	s	s
Días a floración masculina	s	s	s	s	s	s	s	s
Días a floración femenina	s	s	s	s	s	s	s	s
HCE	840.4	972.3	19.6	1671.5	2537	2175.9	987.9	1487.3
Heterosis media (%)	22.2	23.2	11.2	21	25.4	21.6	5.6	-2.6
Heterobeltiosis (%)	16.2	18.1	6.4	8.6	-0.1	-0.4	-10.4	-30.4
Rdto. de la cruz (kg. ha ⁻¹)	9645.4	9635.4	8712.2	8131.6	7479.1	7456.6	6708.2	5214.7

(s) significativo, (ns) no significativo, (Duncan, p>0.05)

Tabla 7. Efecto de habilidad combinatoria específica y heterobeltiosis para trece caracteres evaluados en ocho cruza descendientes del cruzamiento de ocho poblaciones procedentes del CIMMYT por un probador, en promedio de cuatro ambientes.

CRUZA	RDTO (kg)	DT (cm)	LMZ (cm)	DMZ (cm)	GMZ (numero)	HMZ (numero)	GHL (numero)	PMZ (kg)	PGR (kg)	APT (cm)	AMZ (cm)	DFM (días)	DFF (días)
Efectos de Habilidad combinatoria Específica													
1	972.3	-0.27	-0.49	-0.03	4.09	-0.07	-0.11	0.06	0.06	-7.61	-15.62	-6.16	-6.16
2	1671.46	-0.04	-0.33	0.16	5.85	-0.57	1.31	0.31	0.28	-19.95	-17.48	-4.47	-4.03
3	840.37	-0.11	-0.5	-0.07	19.41	0.12	0.53	0.05	0.07	-9.62	-21.86	-6.6	-6.97
4	2175.92	-0.08	1.4	0.34	67.4	0.52	3.7	0.45	0.4	2.64	-11.3	-2.22	-2.28
5	19.59	-0.12	-0.61	0.15	25.73	0.24	1.09	0.13	0.15	-13.09	-20.12	-4.78	-5.41
6	987.92	-0.09	1.49	0.15	68.6	0.2	4.63	0.39	0.35	-3.66	-12.63	0.28	0.59
7	2536.96	0.04	1.79	0.23	89.92	0.54	5.4	0.59	0.52	8.94	-7.84	0.97	1.22
8	1487.28	-0.09	0.89	0.33	86.36	0.12	6.14	0.47	0.45	-29.91	-35.81	-8.22	-9.03
Heterosis (%)													
1	23.17	-1.58	0.91	3.32	1.13	2.64	1.13	12.43	12.38	5.7	3.23	0.38	0.56
2	20.98	3.26	0.2	4.39	2.32	1.24	2.32	15.93	15.77	0.49	0.47	0.51	0.95
3	22.19	2.75	2.14	2.28	4.88	2.65	4.88	12.51	13.09	7.47	4.9	-0.08	-0.07
4	21.61	0.94	7.4	4.56	7.86	1.92	7.86	18.54	20.15	5.33	3.34	0.32	0.35
5	11.16	-0.75	0.67	3.95	4.8	3.74	4.8	11.28	13.24	3.92	3.14	1.24	0.9
6	5.61	-2.97	7.87	3.51	6.52	1.89	6.52	17.29	17.93	2.16	-0.29	-1.27	-0.66
7	25.44	0.67	8.76	5.4	10.7	3.43	10.7	26.08	28.65	6.06	3.49	0.46	0.69
8	-2.62	-8.21	-0.19	1.59	9.04	0.35	9.04	9.23	13.94	-14.29	-28.31	-12.67	-13.21
Heterobeltiosis (%)													
1	18.14	-2.84	-0.53	2.25	-6.74	-0.8	-6.74	4.95	2.27	-7.06	-17.29	-2.39	-2.53
2	8.57	-4.42	-2.9	0.4	-2.64	-0.02	-2.64	9.31	10.37	-11.89	-20.69	-4.19	-4.26
3	16.23	-1.73	2.06	1.04	-4.67	-2.18	-4.67	4.33	2.73	-2.87	-10.67	-2.77	-2.82
4	-0.44	-7.03	-0.1	-3.42	5.43	-6.53	5.43	2.63	7.46	-11.74	-19.66	-7.25	-7.44
5	6.43	-8.03	-0.2	-0.39	-3.14	-0.94	-3.14	10.15	9.08	-8.23	-14.78	-2.39	-2.75
6	-10.43	-13.49	0.21	-1.21	3.65	-4.23	3.65	5.6	8.32	-14.87	-24.57	-13.08	-12.57
7	-0.14	-13.03	-0.15	0.78	9.37	-3.79	9.37	6.57	12.38	-12.93	-21.48	-10.84	-10.91
8	-30.38	-22.25	-11.06	-8.78	2.56	-6.62	2.56	-16.45	-10.95	-31.95	-50.44	-23.02	-23.55

Rendimiento (RDTO), Diámetro de tallo (DT), Longitud de mazorca (LMZ), Diámetro de mazorca (DMZ), Granos por mazorca (GMZ), Hileras por mazorca (HMZ), Grano por hilera (GHL), Peso de mazorca (PMZ), Peso de grano (PGR), Altura de planta (APT), Altura de mazorca (AMZ), Días a floración ♂ (DFM), Días a floración ♀ (DFF).

4. Conclusiones

Los rendimientos de las cruzas fueron variables en los ambientes evaluados, por la interacción craza X ambiente. En promedio de cuatro ambientes las cruzas Pob-28x♂PM-212, Pob-24x♂PM-212, Pob-II-36x♂PM-212, Pob-26x♂PM-212, Pool-18-C-27x♂PM-212, Pob-II-35x♂PM-212, Pool-17E-C31x♂PM-212 y Pool-6-C10x♂PM-212 rindieron 9645.4, 9635.4, 8712.2, 8131.6, 7479.1, 7456.6, 6708.2 y 5214.7 kg.ha⁻¹ respectivamente. Se identificó a las poblaciones 28 y 24, como buenos progenitores cuando fueron cruzados con el probador, sus descendientes resultaron ser más rendidores, de menor altura y más precoces que el probador (♂PM-212).

La habilidad combinatoria específica fue positivo en todas las cruzas para rendimiento de grano y fue negativo en 6 de 8 cruzas para altura de planta y días a floración masculina. La heterosis fue positivo en 7 de 8 cruzas para rendimiento de grano y fue negativo en 1 de 8 cruzas para altura de planta y en 3 de 8 cruzas para días a floración masculina.

5. Literatura citada

- Beingolea, L. 2006.** Acción génica en la heterosis de un grupo de variedades de libre polinización de maíces amarillos duros. Tesis Ms.C. Mejoramiento Genético de Plantas. Lima, PE, UNALM. 70 p.
- Camarena, F. 1978.** Comportamiento de cuatro compuestos amarillos duros de maíz de la costa peruana y sus cruzas posibles en diferentes condiciones ambientales. Tesis Ms.C. Mejoramiento Genético de Plantas. Lima, PE, UNALM. 82 p.
- Chura, J.; Nakahodo, J.; Beingolea, L.; Noriega, V. y Sevilla, R. 2004.** Evaluación de líneas endocriadas de maíz de la raza Perla en cruzas con un probador del CIMMYT. *En: XX Reunión Latinoamericana de Maíz.* Lima, PE. p. 293-299.
- EAST, E. M. 1908.** Inbreeding in corn. Connecticut Agric. Exp. Sta. Rpt. 1907, US. p. 419-428.
- Falconer, S. y Mackay, F. 2001.** Introducción a la genética cuantitativa. Zaragoza, ES. 468 p.
- Fansecos, S. and Peterson, F. 1968.** Hybrid vigor in a seven parent diallel cross in common wheat (*T. aestivum* L.). *CropSci*, v. 8, p. 85-88.
- Gómez, M. y Valdivia, R. 1988.** Dialélico integrado con líneas de diferentes programas de maíz para la región cálida. *Rev. Fitotec. Mex.* v. 11, p. 103-120.
- Hallauer, R.; Carena, M. and Miranda, B. 2010.** Quantitative Genetics in Maize Breeding. Editorial Springer. Iowa State University Press. Ames, p. 477-523.
- Hallauer, R. y Miranda, B. 1982.** Quantitative Genetic in Maize Breeding. Iowa State University Press. Ames, Iowa. p. 268-368.
- Hochholdinger, F. and Hoecker, N. 2007.** Towards the molecular basis of heterosis. *In Plant Science* v. 12, p. 427-432.
- Huaringa, A. 1988.** Evaluación de la heterosis en cruzas intervarietales de maíz. Tesis Ms.C. Mejoramiento Genético de Plantas. Lima, PE, UNALM. 90 p.
- Manrique, A. and Nakahodo, J. 1980.** Efecto de la heterosis entre poblaciones tropicales de maíces amarillos duros. En memorias de la IX Reunión de maiceros de la zona andina. Maracay – Venezuela.
- Márquez, F. 1985.** Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría, Resultados. Tomo I. AGT Editor S.A. México.
- Moll, H.; Lonquist, H.; Velez, F. and Johnson, C. 1965.** The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics*, v. 52, p. 139-144.
- Moll, H.; Salhuana, S. and Robinson, F. 1962.** Heterosis and genetic diversity in variety of crosses of maize. *CropSci.* v. 2, p. 197-98.
- Preciado, R.; Terron, A.; Gómez, O. y Robledo, E. 2005.** Componentes genéticos en poblaciones heterotípicamente contrastantes de maíz de origen tropical y sub tropical. *In: Agronomía Mesoamericana*, julio, v. 16, N° 002. Universidad de Costa Rica, Alajuela. p. 145-151.
- Rojas, A. and Sprague, F. 1956.** A comparison of variance components in corn yield trials, General and specific combining ability and their interaction with locations and years. *Agronomy Journal.* v. 44, p. 462-466.
- Salhuana, W. y Scheuch, F. 2004.** Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz. *En: Salhuana, W.; Valdez, A.; Scheuch, F.; Davelouis, J. (eds.) Cincuenta años del Programa Cooperativo de Investigaciones en Maíz.* Lima, PE, UNALM. p. 34-73.
- Sanchez, H. 1980.** Potencial heterótico en cruzas interpopulacionales CIMMYT y sus posibilidades en zona andina. *En memorias de la IX Reunión de Maiceros de la Zona Andina.* Maracay – Venezuela.
- Sevilla, R.; Chura, J. y Castillo, J. 1995.** Evaluación de germoplasma de maíz para resistencia a enfermedades virósicas. *En: III Reunión Latinoamérica y XVI Reunión de la Zona Andina de Investigadores en Maíz.* p. 429-443.
- Shull, F. 1908.** The composition of a field of maize. *Rep. Am. Breed. Assoc.* v. 5, p. 51-59.
- Sprague, R. and Tatum, A. 1942.** General vs. Specific combining ability in single crosses of corn. *Journal American Society of Agronomy* v. 34. p. 923-932.
- Vásquez, R. 1996.** Valor agronómico del germoplasma selecto de maíz de Latinoamérica cruzado con progenitores de híbridos peruanos. Tesis Ing. Agr. UNA La Molina. Lima, Perú.
- Virmani, S. 1994.** Heterosis and Hybrid Rice Breeding. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, DE. 127 p.