

Habilidad combinatoria de líneas foráneas de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.), en condiciones de La Molina

*Combining ability of foreign lines of hard yellow corn
(Zea mays L.), in La Molina conditions*

Isabel Chacma Azaña^{1*}, Julián Chura Chuquiá²

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la habilidad combinatoria general y específica del maíz amarillo duro en la localidad de La Molina en el año 2004. Se utilizaron 11 líneas endocriadas provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), las cuales fueron seleccionadas con un probador de base genética estrecha. Las características estudiadas fueron rendimiento de grano, altura de planta, altura de mazorca y días de floración masculina. El diseño experimental fue látice triple 8x8. El material genético estuvo constituido por 52 híbridos simples, seis híbridos dobles experimentales y seis híbridos comerciales. El análisis de la habilidad combinatoria general (HCG) y habilidad combinatoria específica (HCE) se realizó con 36 híbridos simples producto de la cruce de nueve líneas, mediante el método IV de Griffing, modelo I, y se evaluaron solo las cruces directas. Las cruces 7x2, 7x18 y 7x22 mostraron los mayores rendimientos de grano. La HCG y HCE fueron importantes para todas las características estudiadas, predominando la HCG. La línea siete presentó la mayor HCG para rendimiento de grano, y al combinarse con líneas de baja HCG obtuvieron los mayores rendimientos de grano. La mayor HCE la tuvieron las cruces 9x18, 9x12 y 7x2.

Palabras clave: habilidad combinatoria, *Zea mays*, cruces dialélicas.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the general (GCA) and specific combining ability (SCA) of hard yellow corn (Zea mays L.) in the district of La Molina in the 2004 campaign. The eleven inbreeding lines from the International Corn and Wheat Center CIMMYT were selected with a tester of narrow genetic foundation. The characteristics studied were grain yield, plant height, corncob height and days of male flowering. The experimental design was 8x8 triple. The genetic material was constituted by 52 simple hybrids, six experimental double hybrids and six commercial hybrids. The analysis of the GCA and SCA was carried out with 36 simple hybrids product of nine lines, the method IV of Griffing, model I, was applied, analyzing only the direct crosses. The crossings 7x2, 7x18 and 7x22 showed major grain yield. The GCA and SCA were significant for all the studied characteristics, predominating the GCA. Line seven expressed the highest GCA for grain yield, as well, this line when combined with other lines of low GCA expressed the best grain yield. The highest SCA was present in the crossings 9x18, 9x12 and 7x2.

Keywords: general and specific combinatorial skill, *Zea mays*, yellow corn.

Introducción

En el Perú, el maíz amarillo duro tiene gran importancia económica y social, porque es materia prima básica para la industria avícola y porcina, brinda ocupación directa e indirecta a un gran número de personas y es uno de los cultivos de mayor hectareaje. Desde los años 70, la demanda del

maíz amarillo duro ha ido incrementándose, y se ha tenido que recurrir a la importación. El Ministerio de Agricultura y Riego (2019), a través del SISAP, publicó en noviembre de 2019 que la importación se realizó desde Argentina con 2,082,515 t, EE UU 1,216,146 t, Brasil 13,428 t y otros países 2,932 t. Sin embargo, es necesario resaltar que las importaciones también generan competencias que

¹ Escuela de Posgrado, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

² Departamento de Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

* Autor para correspondencia: isabelchacma@hotmail.com

muchas veces afectan al agricultor nacional. Por ello es importante que el gobierno apoye a los pequeños y medianos agricultores brindando capacitación y créditos para la adquisición de semillas mejoradas, con el fin de hacer más eficiente la producción y comercialización, y lograr así un mejor producto. Asimismo los centros de investigación tienen una responsabilidad intrínseca continua en la búsqueda de nuevas especies mejoradas, con características que permitan al maíz amarillo duro competir en el mercado internacional.

El Programa de Investigación y Proyección Social (PIPS) en Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) tiene entre sus objetivos el desarrollo de híbridos de mayor potencial y rendimiento, de manera que se incremente la productividad y genere mayor beneficio al agricultor peruano. En la actualidad, el PIPS en Maíz dispone de un conjunto de líneas endocriadas procedentes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), las cuales han sido previamente evaluadas y posteriormente con las mejores líneas se han formado híbridos de alto rendimiento.

La investigación tuvo como objetivo determinar el efecto de la habilidad combinatoria general y específica de nueve líneas provenientes del CIMMYT, con respecto a las características de altura de planta, altura de mazorca, rendimiento de grano y días de floración masculina.

Revisión bibliográfica

Hay una gran variedad de investigaciones realizadas que constituyen los antecedentes de este estudio.

Sprague y Tatum (1942) definen los términos de capacidad combinatoria general como el “comportamiento promedio de una línea en combinaciones híbridas” y la capacidad combinatoria específica como “el caso en el que ciertas combinaciones se comportan relativamente mejor o peor de lo que debería esperarse en base al comportamiento promedio de las líneas consideradas”.

Rojas y Sprague (1952) explican que la HCG y HCE, a partir de las variancias y de la acción génica, determinan que la variancia genética aditiva influye en la capacidad combinatoria general y la variancia por dominancia y epistasia influye en la capacidad combinatoria específica.

Silva *et al.* (2009) investigaron sobre las características agronómicas y morfológicas en diferentes fechas de siembra para cinco líneas de maíz amarillo duro. Aplicaron el diseño de bloques completos al azar. Las características de estudio fueron rendimiento de grano, floración masculina y femenina, longitud y diámetro de mazorca, número de hileras y granos por hileras. Los resultados expresaron que las variables se vieron más afectadas en enero y julio, los días de floración más cortos corresponden a noviembre y los más largos a julio. Por otro lado, la fecha de siembra no afectó al número de hileras ni al diámetro de mazorca. Recomendaron que las líneas 80-SUWAN1 FHC 65-4-2-#-# y 92 y POB 36 CV HC 144-2-2-B-#*4-1# sean utilizadas en un programa de mejoramiento por su alto rendimiento y porte de planta, debido a la superioridad que mostraron frente a las líneas CML-451, CML-287 y CL-02450.

Rodríguez *et al.* (2016) determinaron la aptitud combinatoria general (ACG), aptitud combinatoria específica (ACE) y la heterosis en siete líneas. Utilizaron el diseño III de Griffing. La ACG y ACE fueron muy importantes para rendimiento de grano, altura de planta y días para floración femenina en las cruzas directas y recíprocas, a excepción de la ACG en la craza directa para floración femenina. Los mayores valores de ACE para rendimiento de grano se dieron con líneas superiores de rendimiento o en la combinación de una línea con efectos mayores o negativos de ACG y esto se debe a sus efectos aditivos.

Bisen *et al.* (2017) estimaron la aptitud combinatoria general y específica en 45 híbridos simples en 10 líneas endogámicas de maíz y 4 líneas de control, bajo el diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Las características estudiadas estuvieron en función del rendimiento y calidad de grano, contenido de aceite, contenido de almidón, contenido de triptófano y lisina, entre otras. El análisis dialélico aplicado correspondió al método II de Griffing, modelo que excluye a los recíprocos. El análisis de variancia dio para ACG y ACE efecto significativo para todos los caracteres estudiados. Los híbridos producto de las cruzas de líneas 6 y 8 presentaron la mejor ACE para rendimiento de grano. La acción génica aditiva resultó ser más significativa para rendimiento de grano sugiriéndose realizar métodos de selección recurrente.

Por otro lado, Caicedo *et al.* (2017) determinaron la ACG y ACE en líneas puras de maíz amarillo duro en tres ambientes de la costa de Ecuador. Trabajaron con 35 líneas S_4 de las cuales 32 eran femeninas y tres masculinas por ser buenos productores de polen. Las líneas que presentaron la mayor ACG fueron PHAEOS 1AS2-4-1-1-1-1 (femenina) y L-237-2-1-3 (masculina), mientras que los híbridos CML-171-5 x L-1-2-11-7 B-520 y CML-171-5 x L-237-2-1-3 tuvieron la mayor ACE.

Sánchez *et al.* (2017) evaluaron 10 líneas de maíz (S_6 - S_8) a través de combinaciones simples para determinar la aptitud combinatoria, los efectos maternos y el tipo de acción génica de las cruza en Tecamac y Montecillo, en el estado de México, y en Mixquiahuala, estado de Hidalgo Valles Altos. El diseño aplicado fue el de látice simple 10x10. El análisis genético se realizó a través del **método I de Griffing y modelo I. Las líneas 5, 6, 8, 9 y 10** mostraron mayor ACG presentando contraste para rendimiento de grano. Hubo predominancia de la ACE sobre la ACG, por lo que, dentro de un programa de mejoramiento, se consideró que un sistema de hibridación sería lo más apropiado. No se observó efecto materno, por lo que las semillas podrían ser utilizadas como macho o hembra de manera indistinta. El mayor potencial para producción de semilla se observó en los Valles Altos del centro de México.

Cervantes *et al.* (2018) determinaron que los efectos de la aptitud combinatoria general fueron más importantes que los efectos de la aptitud combinatoria específica en la mayoría de los caracteres agronómicos. En rendimiento de campo y aspecto general de planta destacaron los efectos no aditivos en líneas S_3 de maíz. La línea TNM-5 mostró la más alta ACG, seguida de TNM-4 para rendimiento y sus componentes. Las cruza con estimadores altos y positivos en las características estudiadas participaron en líneas con estimadores altos de ACG y con efectos bajos y negativos.

Núñez *et al.* (2019) investigaron los efectos genéticos y el efecto materno de los componentes nutrimentales como aceite, proteínas, almidón, cenizas y ácido fítico, a través de 20 cruza simples en cinco líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.), en la Universidad Autónoma de Chapingo. Se trabajó bajo el diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. El análisis genético se realizó bajo el diseño dialélico método I de Griffing. La HCG resultó con menor variación

genética en comparación con la HCE, es decir, los efectos no aditivos tuvieron mayor predominio sobre los aditivos. Por lo tanto, existe un alto potencial genético para la calidad alimenticia en la producción de maíz. Las líneas presentaron mayor efecto no aditivo para contenido de almidón, por lo que podría utilizarse dentro de un programa de mejoramiento para la formación de híbridos, mientras que para contenido de cenizas tendría que usarse por selección.

Materiales y métodos

El lugar donde se experimentó fue el campo Santa Rosa de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), ubicado en el distrito de La Molina, provincia y departamento de Lima, a una altitud de 238 msnm, una latitud sur 12°05'06'' y una longitud oeste de 76°59'07''. La siembra se realizó el 5 de mayo del 2004. Previo a ello se aplicó el riego Machaco y se hizo el surcado con ayuda de un cordel sembrador y lampa. Cada parcela estuvo formada por 2 surcos. Cadasurco tenía una longitud de 4,4 metros y la distancia entre surco y surco era de 0,8 m. El número de golpes por surco fue de 11 y la distancia entre golpes de 0,4 m, para un total de 64 parcelas. La densidad de siembra fue de 62500 plantas/ha. El riego se realizó por gravedad en cuatro momentos. El abonamiento se aplicó en forma fraccionada, utilizándose la fórmula 160-80-80. En el primer abonamiento se incorporó la mitad de urea (46% N), todo el fosfato diamónico (18%N y 46% P_2O_5) y el cloruro de potasio (60% K_2O), mientras que el resto de urea se agregó en el segundo abonamiento. El control de maleza se realizó de forma manual en cuatro ocasiones, y también se aplicó Atrazina en tres momentos. Para el control de insectos se utilizó Karate (25 g lambdacialotrina) en cuatro momentos por su amplio espectro de acción. Durante la etapa de floración se aplicó Dipterox (80% triclofon) para controlar al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). La cosecha se realizó de manera manual el 22 de noviembre del mismo año.

El material genético utilizado fue obtenido por el Programa de Investigación y Proyección Social (PIPS) en Maíz de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) en la campaña 2003, basándose en líneas endocriadas de maíz amarillo duro provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)

Tabla 3. Esquema de análisis de variancia de la habilidad combinatoria

Fuente de variación	Grados de libertad	CM	E[CM]
Cruzas	$P(P-1)/2-1$		
HCG	$P-1$	CM_{HCG}	$\hat{\sigma}^2 + (P-2)(1/P-1)\sum \hat{g}_i^2$
HCE	$P(P-3)/2$	CM_{HCE}	$\hat{\sigma}^2 + \left(\frac{2}{P(P-3)}\right)\sum \hat{s}_{ij}^2$
Error	$(P(P-1)/2-1)(r-1)$	CM_E	$\hat{\sigma}_e^2$
Total	$rP(P-1)/2-1$		

aditivo lineal fue: $Y_{ijk} = \mu + B_k + G_i + G_j + S_{ij} + E_{ijk}$, donde: Y_{ijk} : Observación correspondiente a la k -ésima repetición de la cruce entre las líneas i y j . μ : Media general para todas las cruces. B_k : Efecto de la k -ésima repetición. G_i : Efecto de la HCG de la i -ésima línea. G_j : Efecto de la HCG de la j -ésima línea. S_{ij} : Efecto de la HCE de la cruce entre las líneas i y j . E_{ijk} : Efecto aleatorio asociado a dicha observación.

Los efectos de la HCG y HCE se analizaron aplicando las fórmulas: $\hat{g}_i = \frac{P_{yi} - 2y_{..}}{P(P-2)}$, $\hat{s}_{ij} = \bar{Y}_{ij} - \frac{y_{i.} + y_{.j}}{P-2} + \frac{2y_{..}}{(P-1)(P-2)}$, donde, i : Efecto de la HCG de la i -ésima. ij : Efecto de la HCE de la cruce entre la i -ésima línea con la j -ésima línea. P : Número de líneas. $Y_{i.}$: Suma de los promedios de las cruces donde interviene el progenitor i . $Y_{.j}$: Suma de los promedios de las cruces donde interviene la línea j . $Y_{..}$: Suma de los promedios de cruces. \bar{Y}_{ij} : Promedio de las cruces entre las líneas i y j .

Para probar las hipótesis se utilizó:

- a) $H_0: G_i = 0$ $H_a: G_i \neq 0$
b) $H_0: S_{ij} = 0$ $H_a: S_{ij} \neq 0$

También se aplicó una prueba de diferencias de límites significativos similar a una prueba de "t" para los errores estándar de cada una de las pruebas de hipótesis,

siendo las siguientes: $ES(\hat{g}_i) = \sqrt{\frac{(p-1)\hat{\sigma}^2 e}{rp(P-2)}}$

$t = \frac{\hat{g}_i}{ES(1)}$, y $ES(\hat{S}_{ij}) = \sqrt{\frac{(p-3)\hat{\sigma}^2 e}{r(P-1)}}$ $t = \frac{\hat{S}_{ij}}{ES(2)}$

Para calcular la importancia relativa de la HCG y HCE se utilizó: $\frac{(2 \times CM_{HCG})}{(2 \times CM_{HCG} + CM_{HCE})}$.

Resultados y discusión

Análisis de varianza

En la Tabla 4 se observa que los genotipos son altamente significativos para todas las características, por lo que se rechazó la hipótesis nula y se concluyó que los genotipos sí difieren significativamente. También se aprecia que el cuadro medio de bloques incompletos ajustado fue mayor que el error intrabloque para todas las características, por lo que se tuvo que ajustar las medias para su respectiva comparación. El coeficiente de variación para rendimiento de grano fue de 12,309 por ciento, para altura de mazorca 9,197 por ciento, para altura de planta 6,703 por ciento y para días de floración masculina 2,048 por ciento, lo que significa que hubo una buena conducción del experimento. Asimismo, Chura y Tejada (2014) obtuvieron un CV para rendimiento de grano de 12,9 por ciento.

Los resultados estadísticos han demostrado que el diseño de látice parcialmente balanceado tiene una eficiencia de 44,99 por ciento para altura de mazorca, 36,05 por ciento para altura de planta y 4,58 por ciento para días de floración masculina, sobre el diseño de bloques incompletos, mientras que para rendimiento de grano alcanzó un 0,11 por ciento, lo cual indica que también podría haber sido analizado bajo el diseño de bloques completos al azar.

Tabla 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para rendimiento de grano (t/ha), altura de planta (cm), altura de mazorca (cm) y días de floración masculina.

Fuente de variación	GL	Rendimiento de grano	Altura de planta	Altura de mazorca	Días de floración masculina
Repeticiones	2	1,437	308,005	1744,328	12,141
Genotipos (s/aj)	63	7,861	1309,600	747,600	24,275
BI (ajustados)	21	1,081**	482,956**	315,636**	8,801**
Error Intra Bloque	105	0,997	114,996	78,619	5,151
Error DBCA	126	1,011	176,323	118,122	5,760
TOTAL	191	3,275	551,505	319,258	11,934
Promedio	–	8,170 t/ha	198,089 cm	108,719 cm	117,172 días
C.V %	–	12,309	6,703	9,997	2,048
Eficiencia relativa DBCA	–	0,110%	36,050%	44,990%	4,580%

** altamente significativo ($p \leq 0,01$), * significativo ($p \leq 0,05$). GL: grados de libertad.

En la Tabla 5 se muestran las medias ajustadas de rendimiento de grano, altura de planta, altura de mazorca y días de floración masculina alcanzadas por los 64 genotipos evaluados. Para rendimiento de grano se observó el PM-212, 7x2, 7x18, 7x22, 13x6 que obtuvieron 11.430, 10.464, 10.390, 9.882, 9.871 t/ha respectivamente, a una probabilidad al 0,05, lo que demuestra que presentan genotipos similares estadísticamente. Para altura de planta y altura de mazorca, el PM-212 (254,460 cm, 158,700 cm) y (20x11)x♂212 (238,619 cm, 142,686 cm), lo cual indica que los genotipos son similares estadísticamente. Para días de floración masculina, los primeros 29 genotipos son similares estadísticamente.

Por otro lado, el 9x11 presenta el más bajo rendimiento de grano (3.093 t/ha), altura de planta (144,016 cm) y altura de mazorca (65.780 cm), seguido de 20x22, C-701, DK-835, INIA. 606 que presentan menor altura de planta con 147.032, 162,698, 165,825, 181,889 cm respectivamente y para altura de mazorca alcanzan 71,878, 72,699, 96,808, 83,828 cm respectivamente. En las plantas de porte bajo el rendimiento puede ser afectado por las plantas altas. Por ello, Chura y Tejada (2014) señalan que este problema podría verse compensado incrementando la densidad de siembra.

Análisis de la habilidad combinatoria

En la Tabla 6 se observan los efectos en su fuente de variación para la HCG y HCE, los cuales son altamente significativos para todas las variables. Esto nos indica que son diferentes

la HCG y HCE de las líneas y cruzas en cada una de las variables estudiadas.

Cuando la relación HCG: HCE se aproxima a la unidad, se puede inferir un comportamiento basado en efectos aditivos de la HCG sobre los no aditivos (Baker 1978, citado por Guzmán *et al.* 2017). En nuestro caso, todas las variables están cercanas a uno, lo que nos demuestra que es más importante la HCG que la HCE.

En la Tabla 7 se muestra que el efecto de la HCG es altamente significativo estadísticamente para la variable rendimiento de grano, y esto evidencia que todos son diferentes de cero a excepción de la línea 18. El mayor efecto lo presentó la línea 7 con 1.459 que es positivo y las líneas 22, 9 y 11 con valores negativos con $-0,870$, $-0,666$ y $-0,633$ respectivamente. Para altura de planta, las líneas 2, 7, 11 y 12 obtienen valores diferentes de cero con $-12,038$, $-11,122$, $-11,143$ y $-17,508$ respectivamente. Todos tienen valores negativos. Para altura de mazorca las líneas 6 y 11 presentan valores diferentes de cero, donde la línea 5 tiene valor positivo con 8,535 y la línea 11 valor negativo con $-8,385$. En lo referente a la variable días de floración masculina, las líneas 2, 6, 7, 13 y 22 muestran valores diferentes de cero, con $-0,594$, 1,743, $-1,466$, 1,441 y $-0,540$ respectivamente.

Los efectos de la HCG con estimación positiva son los que aportan genéticamente a la expresión de la característica, mientras que aquellos con estimación negativa son los que no benefician dicha expresión, según Caicedo *et al.* (2017) y Rodríguez *et al.* (2016). La línea siete presenta el mayor efecto de HCG para rendimiento de grano

Tabla 5. Medias ajustadas de rendimiento de grano (t/ha), altura de planta (cm), altura de mazorca (cm) y días a floración masculina, de los 64 genotipos evaluados.

Rendimiento de grano en t/ha		Altura de planta en cm		Altura de mazorca en cm		Días de floración masculina en días	
Genotipo	Media	Genotipo	Media	Genotipo	Media	Genotipo	Media
PM-212	11.430	PM-212	254.460	PM-212	158.700	24x20	121.675
7x2	10.464	(20x11)x♂212	238.619	(20x11)x♂212	142.686	20x6	121.325
7x18	10.390	(12x11)x♂212	234.476	20x12	134.245	20x22	121.117
7x22	9.882	20x12	231.413	(12x11)x♂212	129.724	20x13	120.831
13x6	9.871	12x22	223.159	20x6	123.897	PM-702	120.620
12x6	9.733	13x22	222.397	6x24	123.831	PM-212	120.463
13x18	9.726	12x18	220.841	9x22	123.125	6x18	119.415
7x11	9.641	9x18	218.016	12x6	123.037	13x2	119.290
13x11	9.613	12x6	217.794	(12x11)x♂302	122.139	22x24	119.164
C-701	9.568	(18x11)x♂212	217.429	20x11	122.025	(17x6)x♀302	119.104
AG-612	9.496	12x24	214.270	13x22	120.411	22x18	119.100
9x18	9.457	(20x12)x♀302	214.111	(18x11)x♂212	120.025	13x12	119.096
7x6	9.414	(12x11)x♂302	213.651	20x18	119.837	24x18	119.000
(20x11)x♂212	9.412	20x18	213.143	12x22	118.686	(12x11)x♂212	118.943
2x11	9.396	13x12	212.698	12x24	117.906	9x24	118.844
(12x11)x♂212	9.377	9x6	212.460	13x6	117.473	6x2	118.719
7x9	9.346	9x22	211.794	9x6	117.032	6x11	118.615
9x12	9.322	9x12	210.826	(20x12)x♀302	116.996	13x18	118.589
(12x11)x♂302	9.311	20x11	209.587	12x18	115.744	13x9	118.572
12x2	9.267	12x2	208.476	PM-702	115.595	9x11	118.559
DK-834	9.210	11x22	208.476	9x24	115.563	13x11	118.525
7x13	9.205	13x20	204.841	6x22	113.675	11x22	118.446
13x12	9.078	9x24	204.571	13x20	113.243	11x24	118.433
11x24	8.880	20x6	203.333	7x2	112.670	13x22	118.395
PM-702	8.869	6x24	202.952	7x13	111.784	7x20	118.390
2x22	8.855	7x12	202.127	9x18	111.354	7x6	118.364
13x9	8.838	13x6	201.746	7x20	111.349	20x11	118.347
(17x6)x♀302	8.822	13x9	201.714	(17x6)x♀302	111.255	9x6	118.225
7x12	8.788	13x18	201.079	11x24	110.571	6x22	118.047
(18x11)x♂212	8.602	PM-702	200.476	6x2	109.908	(20x12)x♀302	118.000
7x20	8.385	24x18	200.222	7x6	109.687	9x2	117.995
11x18	8.363	6x22	199.794	11x22	109.038	13x6	117.991
9x24	8.332	11x18	199.571	24x18	108.832	6x24	117.848
12x11	8.332	13x11	198.936	13x18	108.362	12x6	117.839
20x12	8.280	7x13	197.619	13x12	108.283	20x12	117.836
9x6	8.261	12x11	196.778	24x20	106.766	7x22	117.817
6x24	8.200	6x18	196.651	13x11	106.387	(20x11)x♂212	117.796
6x18	8.142	24x20	194.016	11x18	106.013	9x12	117.559
20x18	8.139	7x20	189.714	6x18	105.832	2x24	117.541
12x24	8.116	6x11	189.476	6x11	105.653	20x18	117.528
(20x12)x♀302	8.010	7x22	189.365	13x9	105.395	12x11	117.048
6x11	7.825	11x24	189.127	AG-612	104.313	7x2	116.948
INIA-605	7.825	7x2	187.841	12x2	102.725	2x11	116.836
13x22	7.722	7x6	187.698	2x22	102.514	AG-612	116.822
20x6	7.562	6x2	187.111	9x12	102.228	(12x11)x♂302	116.499
6x2	7.550	22x18	187.095	7x18	102.121	12x18	116.347
12x18	7.484	AG-612	187.064	22x24	101.939	11x18	116.268
6x22	7.317	(17x6)x♀302	185.555	7x12	100.964	12x2	116.156
13x20	7.288	2x11	185.317	7x22	100.914	12x24	115.957
20x11	7.191	22x24	185.206	12x11	99.446	(18x11)x♂212	115.886
12x22	7.094	2x20	184.032	2x18	97.743	2x20	115.762
9x22	7.074	2x22	183.937	2x11	97.105	9x22	115.724
9x2	6.871	7x18	183.524	DK-834	96.808	7x12	115.467
2x18	6.766	2x18	182.825	2x24	95.630	7x18	114.940
22x18	6.665	2x24	182.318	22x18	95.618	7x13	114.644
2x20	6.660	INIA-605	181.889	7x11	94.440	9x18	114.069
24x18	6.369	9x2	179.064	2x20	94.219	7x9	113.817
2x24	6.308	7x9	175.905	7x9	93.622	2x18	113.684
11x22	6.230	13x2	171.302	9x2	91.022	7x11	112.753
13x2	6.084	7x11	169.571	13x2	85.710	12x22	112.482
20x22	4.199	DK-834	165.825	INIA-605	83.828	2x22	111.228
22x24	4.106	C-701	162.698	C-701	72.699	INIA-605	110.523
24x20	3.754	20x22	147.032	20x22	71.878	C-701	108.722
9x11	3.093	9x11	144.016	9x11	65.780	DK-834	108.454

DLS ($p \leq 0,05$) = 1,614. DLS ($p \leq 0,05$) = 18,430. DLS ($p \leq 0,05$) = 13,405. DLS ($p \leq 0,05$) = 3,667.

Tabla 6. Cuadrados medios del análisis de variancia para la habilidad combinatoria para rendimiento de grano (t/ha), altura de planta (cm), altura de mazorca (cm) y días a floración masculina de maíz amarillo.

Fuente de variación	GL	Rendimiento de grano	Altura de planta	Altura de mazorca	Días de floración masculina
HCG	8	3,608**	712,149**	236,001**	7,282**
HCE	27	1,884**	166,867**	94,545**	3,908**
Error	70	0,332	38,332	26,206	1,717
Promedio	–	8,366	196,268	105,319	116,877
HCG:HCE	–	79,30%	89,50%	83,30%	78,80%

** altamente significativo ($p \leq 0,01$), * significativo ($p \leq 0,05$). GL: grados de libertad.

Tabla 7. Efectos de la HCG para rendimiento de grano (t/ha), altura de planta (cm), altura de mazorca (cm) y días de floración masculina en 9 líneas de maíz amarillo.

Línea	Rendimiento de grano	Altura de planta	Altura de mazorca	Días de floración masculina
2	-0,239**	-12,038*	-6,165	-0,594**
6	0,171**	3,032	8,535*	1,743**
7	1,459**	-11,122*	-2,336	-1,466**
9	-0,666**	-2,335	-4,714	-0,071
11	-0,633**	-11,143*	-8,385*	0,291
12	0,310**	17,508**	4,080	-0,432
13	0,459**	5,336	3,035	1,441**
18	0,009	2,780	0,033	-0,372
22	-0,870**	7,982	5,918	-0,540*

** altamente significativo ($p \leq 0,01$), * significativo ($p \leq 0,05$).

y una estimación negativa para altura de planta y días de floración masculina, lo cual significa que los efectos aditivos contribuirían a obtener un buen rendimiento de grano. Asimismo, dicha línea tendrá un menor porte de planta y precocidad.

En la Tabla 8 se observa que los efectos de HCE son diferentes de cero estadísticamente para rendimiento de grano en todas las cruzas, a excepción de las cruzas 6x12, 6x13, 7x9, 7x11, 7x12, 7x13, 9x22, 11x12, 11x18 y 12x13. Los mayores efectos se tuvieron con las cruzas 9x18, 9x12, 7x2, 9x11, 6x22, 2x13, 6x11 y 12x22 positivos y negativos con 2,391, 2,256, 2,166, -3,973, -2,679, -2,214, -2,171 y -2,041 respectivamente. En las variables altura de planta y altura de mazorca ninguna de las cruzas fue diferente de cero estadísticamente. Los mayores efectos de HCE para altura de planta se presentan en las cruzas 9x18, 6x12, 9x22, 9x12 y 9x11 con , 35,226, 29,616, 29,004, 28,036 y -38,774 respectivamente; para altura de mazorca se observó en las cruzas 9x22, 9x18, 9x11 y 2x13 con 30,904, 19,133, -26,441 y -21,979 respectivamente, y para días de floración masculina las cruzas 2x18, 2x22, 7x11, 9x18, 12x22 y 18x22 fueron diferentes de cero

estadísticamente. Los mayores efectos de HCE se tuvieron en las cruzas 18x22, 2x22, 12x22, 2x18, 9x18 y 7x11 con 3,135, -6,797, -5,405, -4,341, -3,028, -2,587 respectivamente.

Para rendimiento de grano, la cruz 9x18 presentó el efecto positivo más alto de ACE, debido a la acción génica no aditiva, y puede ser aprovechada para formar híbridos. Por otro lado, la cruz 9x11 tuvo el estimado negativo más bajo de -3,973, lo que permite deducir que la línea nueve probablemente lleve alelos que generan mayor rendimiento de grano en ciertas combinaciones. Por lo tanto, podría ser una línea con buen vigor híbrido y podría usarse como progenitor para la producción de semillas híbridas. El híbrido simple 7x2 obtuvo el mayor rendimiento de grano con 10.464 t/ha y también presentó un efecto alto de HCE. Este híbrido se formó con una línea de alta HCG línea 7 y una de baja HCG línea 2. Similar caso se observa con el híbrido simple 7x18 con un rendimiento de 10.390 t/ha. De la Rosa *et al.* (2000) obtuvieron resultados similares, donde las combinaciones híbridas entre los progenitores

Tabla 8. Efectos de la HCE para rendimiento de grano (t/ha), altura de planta (cm), altura de mazorca (cm) y días de floración masculina en 36 cruzas de maíz amarillo.

Cruza	Rendimiento de grano	Altura de planta	Altura de mazorca	Días de floración masculina
2x6	-0,748**	-0,150	2,220	0,693
7x2	2,166**	0,580	4,981	-1,077
2x9	-1,427**	-8,198	-1,667	-0,030
2x11	1,098**	-1,944	-10,583	-1,190
2x12	0,970**	21,215	-4,963	-1,870
2x13	-2,214**	-15,960	-21,979	1,265
2x18	-1,532**	-4,436	-9,946	-4,341**
2x22	0,557*	-3,325	-5,175	-6,797**
6x7	-0,571*	-1,844	-1,831	1,211
6x9	-1,735**	24,283	5,514	1,071
6x11	-2,171**	1,299	-5,864	1,462
6x12	-0,263	29,616	11,519	0,686
6x13	-0,125	13,569	5,956	0,838
6x18	-1,855**	8,473	-5,685	2,261
6x22	-2,679**	11,616	2,157	0,894
7x9	0,187	-6,905	-4,647	-1,523
7x11	0,483	-13,239	-3,829	-2,587*
7x12	-0,370	19,317	2,695	0,127
7x13	0,046	14,809	13,515	-0,695
7x18	1,231**	0,714	3,852	-0,400
7x22	0,723**	6,555	2,645	2,477
9x11	-3,973**	-38,774	-26,441	1,463
9x12	2,256**	28,036	10,008	0,463
9x13	1,772**	18,925	13,174	1,475
9x18	2,391**	35,226	19,133	-3,028*
9x22	0,008	29,004	30,904	-1,373
11x12	0,289	-5,856	-1,568	0,312
11x13	1,570**	-3,697	5,372	1,789
11x18	0,320	-3,062	4,999	-0,468
11x22	-1,813**	5,843	8,024	1,710
12x13	-0,057	-6,413	-4,152	1,210
12x18	-1,651**	1,730	3,310	-1,539
12x22	-2,041**	4,047	6,251	-5,405**
13x18	0,892**	-3,304	-0,026	0,643
13x22	-1,112**	18,013	12,022	0,449
18x22	-0,840**	-19,935	-15,652	3,135*

** altamente significativo ($p \leq 0,01$), * significativo ($p \leq 0,05$).

que tuvieron las líneas de alta HCG y baja HCG generaron híbridos de mayor rendimiento y mayor efecto de HCE.

Conclusión

La HCG y la HCE fueron importantes para todas las variables estudiadas predominando la HCG. La línea siete presentó la mayor HCG para rendimiento de grano. El mayor efecto de HCE

lo obtuvieron las cruzas 9x18, 9x12 y 7x2 para rendimiento de grano, mientras que las cruzas 7x2, 7x18 y 7x22 mostraron los mayores rendimientos. De esto se desprende que una línea debe tener una alta HCG para alcanzar altos rendimientos de grano. La línea siete es muy importante para formar híbridos de alto rendimiento y utilizarlos en programas de mejoramiento. El híbrido desarrollado con líneas de baja HCG obtuvo el más bajo rendimiento.

Literatura citada

- Bisen, P.; Dadheech, A.; Namrata, N.; Kumar, A.; Solanki, G.; Dhakar, T.
2017. Combining ability analysis for yield and quality traits in single cross hybrids of quality protein maize (*Zea mays L.*) using diallel mating design. *Journal of Applied and Natural Science* 9 (3): 1760-1766.
- Caicedo, M.; Villavicencio, P.; Saltos, E.
2017. Aptitud combinatoria general y específica de líneas puras de maíz amarillo duro y selección de híbridos simples. *Ecuador es calidad: Revista Científica Ecuatoriana*, 4: 36-52.
- Cervantes, F.; Hernández, J.; García, J.; Rangel, J.; Andrio, E.; Mendoza, M.; Rodríguez, G.; Rodríguez, D.
2018. Aptitud combinatoria general y específica de caracteres agronómicos en líneas de maíz (*Zea mays L.*) de baja endogamia. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 34(1): 33-42.
- Chura, J.; Tejada, J.
2014. Comportamiento de híbridos de maíz amarillo duro en la localidad de La Molina, Perú. *IDESIA Chile*, 32(1): 113-118.
- De la Rosa, A.; Gaspar, M.; Rincón, F.; De león, H.
2000. Heterosis, habilidad combinatoria y diversidad genética en híbridos comerciales de maíz (*Zea mays L.*). *Agronomía Mesoamericana*, 11(1): 113-122.
- Guzmán, M.; Díaz, D.; Ramis, C.; Figueroa, R.; Jiménez, R.
2017. Estimación de la aptitud combinatoria y heterosis en híbridos no convencionales de maíz con alto contenido de proteínas. *Bioagro*, 29(3): 175-184.
- Griffing, J.B.
1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian J. Biol. Sci.*, 9(4): 463-493.
- Ministerio de Agricultura y Riego.
2019. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas (DGESEP). Sistema de Información de Abastecimiento y Precios (SISAP). Boletín de Maíz Amarillo Duro. Precios Nacionales e Internacionales Lima. Perú. Disponible en: <https://www.minagri.gob.pe-boletin-de-maiz-amarillo-duro-maiz-2019>
- Núñez, E.; Mendoza, M.; Delgado, A.; Castillo, F.; Sánchez, F.
2019. Análisis genético de componentes nutricionales en cruza simples de maíz de grano blanco. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 42(2): 163-172.
- Rojas, A.; Sprague, F.
1952. A comparison of variance components in corn yield trials. III general and specific combining ability and their interaction with locations a year. *Agronomy Journal*, 44(9): 462-244.
- Rodríguez, G.; Zabala, F.; Treviño, J.; Ojeda, C.; Mendoza, M.; Rodríguez, S.; Cervantes, F.
2016. Aptitud combinatoria y heterosis entre líneas de dos tipos de maíz para grano. *Interiencia*, 41(1): 47-54.
- Sánchez, F.; Mendoza, Ma.; Mendoza, M.; Castillo, F.; Cruz, S.; Castro, S.; Molina, J.
2017. Aptitud combinatoria de líneas endogámicas para la producción de híbridos de maíz (*zea mays l.*) de cruza simple en condiciones de riego. *Agrociencia*, 51(4): 393-407.
- Silva, W.; Alfaro, Y.; Jiménez, R.
2009. Evaluaciones de las características morfológicas y agronómicas de cinco líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. *Revista UDO Agrícola*, 9(4): 743-755.
- Sprague, G.; Tatum, L.
1942. General vs. Specific combining ability in single crosses of corn. *Alliance of crop, soil and environmental science societies*, 34(10): 923-932.