



Heterosis útil y caracteres asociados al rendimiento en híbridos de maíz amarillo duro bajo condiciones de secano en Tarapoto

Useful heterosis and traits associated with yield in hard yellow corn hybrids under dryland conditions in Tarapoto

Elías Huanuqueño Coca*¹; Andres Casas Díaz²; Jorge Jiménez Dávalos³

¹ Departamento Académico Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apartado postal 12-056 - La Molina, Lima, Perú. Email: ehh.coca@lamolina.edu.pe

² Departamento Académico Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apartado postal 12-056 - La Molina, Lima, Perú. Email: cda@lamolina.edu.pe

³ Departamento Académico Fitotecnia, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, Apartado postal 12-056 - La Molina, Lima, Perú. Email: jjjimenezd@lamolina.edu.pe

Recepción: 29/10/2018; Aceptación: 05/06/2019

Resumen

Híbridos con heterosis útil superan a las variedades que siembra el agricultor, híbridos con heterosis o heterobeltiosis positiva superan a sus progenitores que son líneas endocriadas (que han perdido vigor) que siembra el mejorador. Con los objetivos de (1) identificar híbridos con valores de heterosis útil promisorios y (2) averiguar la posibilidad de seleccionar híbridos superiores en base a caracteres asociados al rendimiento de grano, se han evaluado 27 genotipos de maíz amarillo duro en condiciones de siembra en secano en la campaña de abril – agosto del 2016 en Tarapoto, bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones. Se evaluaron: aspecto de plántula, altura de planta, altura de mazorca, total de hojas, hojas sobre la mazorca superior, número de mazorcas, diámetro de tallo, peso de una mazorca, porcentaje de desgrane, hileras/mazorca, granos/hilera, semillas por mazorca, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, diámetro de coronta, peso de semilla, rendimiento de grano, heterosis útil y el punto de inserción de la mazorca superior. Se identificó 17 híbridos simples con valores de heterosis útil promisorio que fluctuaron entre 10 y 70 %, los híbridos H-4 y H-20 superaron en 71% y 55%, respectivamente al rendimiento obtenido por el testigo local. El 69%, 68%, 65%, 52%, 43% y 41% de la variación en el rendimiento de grano está explicado por el aspecto de plántula, semillas por mazorca, peso de mazorca, granos por hilera, diámetro de mazorca y longitud de mazorca, respectivamente.

Palabras clave: maíz amarillo; heterosis útil; asociación de caracteres; híbridos simples; vigor híbrido.

Forma de citar el artículo: Huanuqueño *et al.*, 2019. Heterosis útil y caracteres asociados al rendimiento en híbridos de maíz amarillo duro bajo condiciones de secano en Tarapoto. Anales Científicos 80 (1): 259-268 (2019).

DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v80i1.1393>

Autor de correspondencia (*): Elías Huanuqueño Coca. Email: ehh.coca@lamolina.edu.pe

© Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Abstract

Hybrids with useful heterosis outweigh to the varieties sown by the farmer, hybrids with heterosis or positive heterobeltiosis outnumber their progenitors, which are inbreeding lines (which have lost vigor) that sows the breeder. With the objectives of (1) identifying hybrids with promising useful heterosis values and (2) investigating the possibility of selecting higher hybrids based on traits associated with grain yield, 27 genotypes of hard yellow corn were evaluated in sowing conditions in dry season in April - August 2016 in Tarapoto, under the Randomized Complete Block Design with three replicates. The following traits were evaluated: seedling appearance, plant height, height of ear, total leaves, leaves on the upper ear, number of ears, diameter of stem, weight of an ear, percentage of weeding, rows / ear, grain / row, seeds per ear, ear length, ear diameter, cob diameter, seed weight, grain yield, useful heterosis and the insertion point of the upper ear. We identified 17 simple hybrids with promising values of useful heterosis that fluctuated between 10% and 70%, hybrids H-4 and H-20 exceeded in 71% and 55%, respectively, to the yield obtained by the local control. The 69%, 68%, 65%, 52%, 43% and 41% of variation in grain yield is explained by seedling appearance, seeds per ear, ear weight, grains per row, ear diameter and length of ear, respectively.

Keywords: yellow corn; useful heterosis; association of traits; simple hybrids; hybrid vigor.

1. Introducción

Con excepción del Callao, el maíz amarillo duro (*Zea mays* L.) se cultiva en todas las regiones del Perú. Entre los años 2010 y 2014 en el Perú, se han sembrado alrededor de 290000 hectáreas por año, aproximadamente el 50% del área de siembra corresponde a las siembras hechas en la selva, sin embargo, el cultivo no es rentable porque los rendimientos son bajos, entre 1,5 y 2,5 t/ha, se han registrado en la selva (MINAGRI, 2017).

Para mejorar la eficiencia en la selección de genotipos superiores para un carácter tan complejo como el rendimiento de grano, una de las alternativas es el estudio de las asociaciones con otros caracteres que reflejan efectos positivos o negativos. En *Brassica napus* ssp. oleifera L. Özer *et al.* (1999), encontraron correlaciones entre el rendimiento de semilla con el número de vainas por planta y el peso de 1000 semillas. Khazaei *et al.* (2010), observaron correlación entre el rendimiento de grano con el número y peso de semillas. Mock y Skrdla (1978), encontraron correlaciones bajas en maíz entre caracteres de plántula evaluados a los 42 días de sembrado con los días transcurridos hasta la floración femenina. Cervantes *et al.* (2014), obtuvieron correlación significativa entre el vigor inicial de plántula con el número de hileras por mazorca, peso y rendimiento de grano.

Darwin (1876), fue el primer científico que estudio del vigor híbrido y la depresión endogámica de manera sistemática. La heterosis o vigor híbrido que se manifiesta en los híbridos, representa la superioridad en tamaño, biomasa y fertilidad, que caracteriza a la progenie del cruce entre padres de genotipos diferentes (Shull, 1952; Wallace y Brown, 1956; Hayes, 1963). La base genética de la heterosis ha sido debatida durante casi cien años sin un consenso emergente (Duvick, 2001; Birchler, 2003; Crow, 1948). Para explicar el fenómeno de heterosis se han formulado varias hipótesis: 1) la hipótesis de la dominancia explica la heterosis por la acción conjunta de múltiples loci con el alelo favorable siendo parcial o completamente dominante (Bruce 1910; Keeble y Pellew, 1910; Jones, 1917; Collins, 1921); 2) en la hipótesis de sobredominancia, los alelos homocigóticos dominantes en un locus son diferentes a los alelos también dominantes en el mismo locus del otro progenitor, de manera que cuando los dos dominantes se juntan en el híbrido F_1 , ambos alelos pueden interactuar para generar un fenotipo superior en comparación con las líneas homocigotos (Duvick, 2001; Birchler, 2003; Crow, 1948); 3) la hipótesis de epistásis, atribuye la heterosis a las interacciones epistáticas entre genes no alélicos (Richey, 1942; Schnell y Cockerham, 1992); 4) en la hipótesis de pseudo-sobredominancia, el fenotipo superior en el híbrido F_1 puede atribuirse

a una pequeña región cromosómica, que contiene dos o más loci diferentes que están ligados en fase de repulsión. La presencia de alelos superiores en el híbrido conduce a un mejor fenotipo debido a la complementación, dando la impresión de sobredominancia (Duvick, 2001; Birchler, 2003; Crow, 1948).

Dependiendo del criterio utilizado para comparar el rendimiento de un híbrido, la heterosis puede ser expresada de tres maneras; (a) heterosis media (el rendimiento de la F_1 en comparación con el rendimiento promedio de sus progenitores), (b) heterobeltiosis (el rendimiento de la F_1 en comparación con el del mejor progenitor en el cruce) y (c) heterosis útil (el rendimiento de la F_1 en comparación con la mejor variedad adaptada a la región) (Gupta, 2000).

Las líneas endogámicas son pocas productivas porque han perdido vigor como consecuencia de la acumulación de loci con alelos recesivos, por lo que es fácil lograr heterosis y heterobeltiosis positivas cuando se cruzan líneas homocigotas, por lo tanto, si se quiere ofrecer un producto que genere excedentes a los agricultores, los futuros híbridos tienen que superar a la mejor variedad que se cultiva en la zona. Por lo que esta investigación se realizó con los objetivos de (1) identificar híbridos con valores de heterosis útil promisorios y (2) averiguar la posibilidad de seleccionar híbridos superiores en base a caracteres asociados al rendimiento de grano.

2. Materiales y métodos

Ubicación del experimento y manejo agronómico

El experimento estuvo ubicado en Tarapoto y la siembra fue hecha el 02 de abril del 2016, conocido en la selva como “campana chica”, para diferenciar de la “campana grande” que se realiza en setiembre, mientras que la cosecha se realizó el 06 de agosto del 2016. El manejo agronómico (mecanización del terreno, aplicación de fertilizante y control químico de insectos) del experimento fue llevado a cabo de acuerdo a las recomendaciones establecidas para un lote comercial de producción de granos. No se regó, por lo que el desarrollo del maíz dependió de las lluvias (siembra en seco).

Material vegetal y características de la parcela experimental

Veinticinco híbridos simples (H-1, H-2, H-3, H-4, H-5, H-6, H-7, H-8, H-9, H-10, H-11, H-12, H-13, H-14, H-15, H-16, H-17, H-18, H-19, H-20, H-21, H-22, H-23, H-24 y H-25) de maíz amarillo duro formados con líneas S, seleccionados en La Molina, más dos testigos (Marginal 28T, testigo local y PM-213, testigo de La Molina) fueron sembrados en parcelas de 3,52 m², donde la distancia entre surcos fue de 80 cm y entre golpes 40 cm, manteniendo 2 plantas/golpe y 11 golpes/parcela bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar con tres repeticiones.

Características evaluadas

El aspecto de plántula (ADP) fue determinado a los 22 días después de la siembra, para ello se consideró el vigor y la uniformidad en una escala de 1=muy malo, 2=malo, 3=regular, 4=bueno, 5=excelente; los caracteres: altura de planta (APL), altura de mazorca (AMZ), total de hojas (THO), hojas sobre la mazorca superior (HSM), número de mazorcas (NMZ) y diámetro de tallo (DTA) fueron evaluados en 10 plantas competitivas por parcela y repetición, APL se evaluó desde la superficie del suelo hasta la base de la panoja, AMZ desde la superficie hasta el nudo de inserción de la mazorca superior y DTA en el entrenudo más próximo al suelo, todos expresados en centímetros. El peso de una mazorca (PMZ) se obtuvo de dividir el peso de todas las mazorcas entre el número de mazorcas expresado en gramos. El porcentaje de desgrane (PDD) se determinó dividiendo el peso de las semillas entre el peso de las mazorcas expresado en por ciento. Los caracteres: hileras/mazorca (HPM), granos/hilera (GPH), semillas por mazorca (SPM), longitud de mazorca (LMZ), diámetro de mazorca (DMZ), diámetro de coronta (DCR), fueron evaluados en 10 mazorcas tomadas aleatoriamente y expresados en centímetros. Para determinar el peso de semilla (PSE) se contó 400 semillas y se registró el peso en gramos. Finalmente, el rendimiento de grano (RDG) se determinó con la siguiente fórmula:

$$RDG = Pc * 0,971 * ID * Fh * Ff * (10000 \text{ m}^2/3,52 \text{ m}^2),$$

donde:

- RDG = Rendimiento de grano (kg/ha).
Pc = Peso de mazorcas cosechada por parcela.
0,971 = Factor de contorno.
ID = Índice de desgrane (peso de grano/peso de mazorca).
2,52m² = Área de la parcela.
Fh = Factor de corrección por humedad, ajustado al 14%.
Ff = Factor de corrección por fallas.

La heterosis útil (HU) se estimó comparando el rendimiento del híbrido simple con la mejor variedad comercial de la zona, expresado en por ciento (Virmani *et al.*, 1997), para lo cual se usó la fórmula siguiente:

$$HU = [(RDG.HS - RDG.T) * 100 / RDG.T],$$

donde:

RDG.HS = rendimiento de grano del híbrido simple.

RDG.T = rendimiento de grano del testigo, variedad Marginal 28T.

Análisis estadístico

El análisis de varianza fue hecho para cada característica de acuerdo al diseño de bloques completos al azar. Al presentarse diferencias entre los tratamientos se realizó la prueba de comparación de medias Tukey al 5%. Además, se analizaron las correlaciones entre las variables evaluadas mediante Pearson al 95%. Para los cálculos de las correlaciones y regresiones se utilizó programa estadístico SPSS, versión 20 (Statistical Package for the Social Sciences).

3. Resultados y discusiones

El análisis de varianza (Tabla 1) detectó diferencias estadísticas para todos los caracteres evaluados y los valores de los coeficientes de variación indican que la conducción del experimento fue eficiente.

Heterosis útil para rendimiento de grano

El rendimiento de grano del testigo M-28T (6,36 t/ha) fue superado estadísticamente por los híbridos H-4 y H-20 (Tabla 2).

Veinte híbridos mostraron valores positivos de HU, sin embargo, para el presente experimento, el rendimiento mínimo a partir del cual se puede cubrir el costo de la semilla híbrida y obtener ganancias es 6,97 t/ha alcanzado por el H-14 que equivale a un valor de HU igual a 9,6%, de esta manera, en 17 híbridos (Figura 1) se podría obtener ganancias con solamente reemplazar la semilla. Los valores de HU de los 17 híbridos fluctuaron entre 10 y 71%. Resultados similares, pero en *Cucurbita moschata* DUCH, fueron encontrados por Toro (2009), donde la HU para rendimiento por parcela fue de 11,3% y para rendimiento por fruto fue de 40,7% en comparación con el testigo Bolo Verde.

Los coeficientes de correlación mostrados en el Tabla 3, indican que el rendimiento de grano presenta correlación positiva considerable (>0,75) con el aspecto de plántula lo que significa que aquellos genotipos con buen aspecto de plántula tienden a producir mayor rendimiento de grano; así mismo, genotipos con mayor número de semillas por mazorca, peso de mazorca y granos por hilera también tienden a tener mayor rendimiento; del mismo modo, valores de correlación positiva media (>0,50) fueron encontrados con respecto a granos por hilera, diámetro de mazorca, longitud de mazorca y altura de planta. Resultado similar fue encontrado por Cervantes *et al.* (2014) quienes luego de estudiar las correlaciones fenotípicas entre caracteres agronómicos y de rendimiento en maíz determinaron que el vigor inicial de la plántula se relacionó con el número de hileras por mazorca, rendimiento de grano y peso de grano, estos resultados posiblemente se deben a que tanto el aspecto de plántula (vigor de plántula) y el rendimiento de grano (ambos poligénicos) podrían estar controlado por genes pleiotrópicos o que algunos de ellos están ligados. El aspecto de plántula mostró también estar correlacionado con caracteres que son componentes del rendimiento como PMZ, HPM, GPH, SPM, PDD, LMZ, DMZ, además de ALP, AMZ, THO y DTA.

Tabla 1: Cuadrados medios de siete caracteres evaluados en 27 genotipos de maíz amarillo duro. Tarapoto, abril del 2016

Fuente de variación	GL	Rendimiento de grano (t.ha)	Aspecto de planta	Peso de una mazorca (g)	Índice de desgrane (%)	Semillas por mazorca	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)
Bloques	2	2012851,2	0,3	3076,6 **	2,8	2727,3	292,9	156,0
Genotipos	26	10552224,5 **	1,7 **	3858,0 **	23,7 **	22327,8 **	1029,0 **	1035,5 **
Error	52	1027680,2	0,3	330,7	1,8	2486,1	182,3	172,4
C.V. (%)		13,9	16,4	8,8	1,6	8,8	5,5	11,3
Promedio		7,31	3,3	206,6	85,1	569,3	247,2	116,3

* y ** indica el nivel de significación al 5% y 1%, respectivamente.

Tabla 2: Comparación de promedios de siete caracteres evaluados en 27 genotipos de maíz amarillo duro. Tarapoto, abril del 2016

Genotipo	Rendimiento de grano (t.ha)	Aspecto de plántula	Peso de una mazorca (g)	Índice de desgrane (%)	Semillas por mazorca	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)
H-4	10,89 a	4,67 a	251,7 ab	84,9 bcdefgh	699,7 a	262,0 abc	124,0 abc
H-20	9,89 ab	4,67 a	229,7 abcde	85,8 abcdefg	669,4 ab	263,3 abc	118,7 abcde
H-22	9,28 abc	4,00 ab	242,3 abcd	87,4 abcde	642,7 abcd	233,7 bcd	96,7 bcde
H-7	8,93 abc	3,67 ab	249,5 abc	87,1 abcde	684,6 ab	261,0 abc	133,3 abc
H-16	8,76 abcd	4,00 ab	201,6 bcdef	87,0 abcde	583,8 abcd	262,3 abc	134,7 abc
H-18	8,69 abcd	3,33 ab	269,1 a	82,0 ghij	659,5 abc	268,7 ab	123,3 abc
H-17	8,58 abcd	3,33 ab	256,3 ab	84,1 defghi	569,2 abcd	278,7 a	146,7 a
H-3	8,55 abcd	4,00 ab	231,4 abcde	84,8 bcdefgh	677,5 ab	255,3 abc	127,0 abc
H-12	8,32 abcd	3,33 ab	213,0 abcdef	83,2 efghi	534,6 bcd	255,0 abc	132,3 abc
H-11	7,77 abcd	3,00 abc	212,0 abcdef	85,2 bcdefgh	599,1 abcd	247,7 abc	106,0 abcde
H-15	7,59 bcd	3,67 ab	191,9 cdef	89,0 ab	548,9 abcd	247,0 abc	113,7 abcde
H-23	7,56 bcd	3,33 ab	208,6 bcdef	88,6 abc	607,7 abcd	250,7 abc	128,7 abc
H-19	7,54 bcd	3,67 ab	231,2 abcde	85,7 bcdefg	600,1 abcd	255,7 abc	118,7 abcde
H-25	7,50 bcd	3,67 ab	200,1 bcdef	88,3 abcd	606,1 abcd	237,0 abcd	101,3 bcde
H-24	7,38 bcd	3,33 ab	222,8 abcde	85,2 bcdefgh	623,3 abcd	250,7 abc	121,7 abed
H-8	7,24 bcd	3,33 ab	192,8 cdef	82,2 fghij	552,7 abcd	250,9 abc	138,3 ab
H-14	6,97 bcd	3,33 ab	203,1 bcdef	87,0 abcde	569,5 abcd	248,0 abc	115,3 abcde
H-1	6,92 bcd	3,00 abc	191,5 cdef	85,4 bcdefgh	530,4 bcd	222,3 cd	97,0 bcde
H-10	6,81 bcd	3,00 abc	200,6 bcdef	84,7 cdefgh	535,2 bcd	236,7 abcd	95,3 cde
H-13	6,57 cd	3,00 abc	163,4 fgh	87,1 abcde	510,3 cd	239,3 abcd	114,0 abcde
H-21	6,37 cd	3,00 abc	184,5 defg	83,3 efghi	487,8 def	254,0 abc	126,0 abc
M-28T	6,36 cd	3,33 ab	189,4 def	90,1 a	549,2 abcd	263,7 abc	147,3 a
PM-213	6,10 cd	3,00 abc	206,7 bcdef	86,3 abcdef	502,4 cde	262,0 abc	127,3 abc
H-6	6,08 cd	3,33 ab	214,2 abcdef	81,3 hij	591,6 abcd	230,0 bcd	94,7 cde
H-9	5,69 de	2,67 bc	183,8 efg	83,3 efghi	541,7 abcd	238,3 abcd	98,7 bcde
H-2	2,46 ef	1,33 c	131,0 gh	80,2 ij	351,0 ef	203,0 d	81,3 de
H-5	2,32 f	1,33 c	105,9 h	78,0 j	341,9 f	198,3 d	77,0 e

Medias con la(s) misma(s) letra(s) en la misma columna no son diferentes estadísticamente, Tukey ($p < 0,05$).

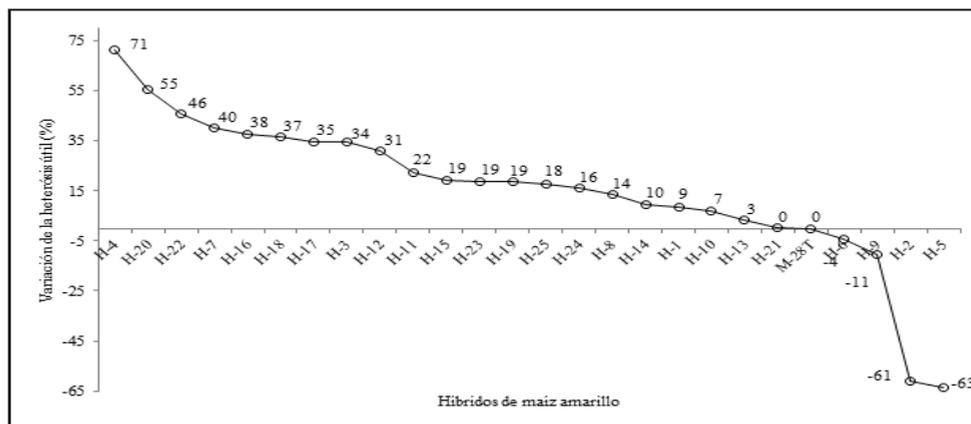


Figura 1: Variación de la heterosis útil para rendimiento de grano de 25 híbridos de maíz amarillo con respecto al testigo local, M-28T=0%

Por otro lado, es importante tener en cuenta las correlaciones negativas, que en los genotipos evaluados (Tabla 3) se encontró que: cuanto mayor es el número de hileras por mazorca menor es el peso de las semillas y la mazorca estará ubicado debajo del punto medio de la planta (PIM); del mismo modo, cuanto mayor es el diámetro de la coronta menor es la altura de planta y el PIM estará debajo del punto medio; finalmente a mayor número de hojas sobre la mazorca el PIM tiende a estar debajo del punto medio de la planta.

Rendimiento de grano (RDG), aspecto de plántula (ADP), peso de una mazorca (PMZ), peso de semilla (PSE), hileras/mazorca (HPM), granos/hilera (GPH), semillas por mazorca (SPM), porcentaje de desgrane (PDD), longitud de mazorca (LMZ), diámetro de mazorca (DMZ), diámetro de coronta (DCR), altura de planta (APL), altura de mazorca (AMZ), total de hojas (THO), hojas sobre la mazorca superior (HSM), número de mazorcas (NMZ), diámetro de tallo (DTA) y punto de inserción de la mazorca superior (PIM).

Los resultados del análisis de regresión (Figura 2) indican que el aspecto de plántula puede explicar el 69% de la variación en el rendimiento de grano, según la ecuación de la línea de regresión, al pasar de una escala de evaluación en plántula (ADP) a la escala

siguiente superior se incrementa 1,9785 t/ha de rendimiento de grano. Este resultado es de mucha importancia porque nos permitiría seleccionar de un número grande de genotipos, a los mejores híbridos en solo 22 días después de la siembra (para condiciones de siembra en secano en Tarapoto), de manera que se acelera el proceso de selección y se ahorra dinero ya que se podría seleccionar en pequeñas áreas o incluso en macetas. Así mismo el 68%, 65%, 52%, 43% y 41% de la variación en el rendimiento de grano (Figura 2) esta explicado por: semillas por: mazorca, peso de mazorca, semillas por hilera, diámetro de la mazorca y longitud de mazorca, respectivamente, resultados similares encontrados por Khazaei *et al.* 2010, cuando evaluaron maíz dulce.

Si la mazorca superior está ubicada encima del punto medio de la planta tendrá menos hojas sobre la mazorca y el rendimiento de grano mostrará una tendencia a ser mayor (Figura 3), datos que concuerdan con los resultados obtenidos por Huanuqueño y Tobaru (2015), quienes demostraron que no hubo diferencias en cuanto al rendimiento de grano si se elimina la panoja y la hoja bandera en comparación con una planta con todas sus hojas sobre la mazorca, esto indica que no es necesario muchas hojas sobre la mazorca para obtener altos rendimientos.

Tabla 3: Coeficientes de correlación y niveles de significancia para 18 características evaluados en 27 genotipos de maíz amarillo duro. Tarapoto, 2016

	RDG	ADP	PMZ	PSE	HPM	GPH	SPM	PDD	LMZ	DMZ	DCR	ALP	AMZ	THO	HSM	NMZ	DTA	PIM	
RDG	1																		
ADP	0,834**	1																	
PMZ	0,804**	0,597**	1																
PSE	-0,014	-0,192	0,12	1															
HPM	0,301**	0,236*	0,189	-0,258*	1														
GPH	0,717**	0,635**	0,794**	-0,039	-0,146	1													
SPM	0,824**	0,707**	0,829**	-0,189	0,436**	0,824**	1												
PDD	0,395**	0,426**	0,241*	-0,124	0,017	0,446**	0,394**	1											
LMZ	0,641**	0,535**	0,800**	0,109	-0,111	0,832**	0,682**	0,274*	1										
DMZ	0,657**	0,454**	0,739**	0,155	0,471**	0,412**	0,641**	0,124	0,344**	1									
DCR	0,15	-0,022	0,283*	0,302**	0,341**	-0,096	0,104	-0,194	0,011	0,462**	1								
ALP	0,570**	0,503**	0,554**	0,012	-0,152	0,692**	0,544**	0,362**	0,637**	0,299**	-0,241*	1							
AMZ	0,413**	0,383**	0,399**	-0,058	-0,216	0,561**	0,390**	0,355**	0,517**	0,114	-0,265*	0,880**	1						
THO	0,262*	0,233*	0,331**	0,015	-0,144	0,399**	0,289**	0,249*	0,342**	0,074	-0,294**	0,571**	0,500**	1					
HSM	0,097	0,082	0,199	0,168	-0,026	0,191	0,162	-0,06	0,147	0,109	-0,078	0,102	-0,211	0,542**	1				
NMZ	0,041	0,085	-0,031	-0,094	-0,047	0,044	0,017	0,115	-0,102	-0,049	-0,076	0,038	0,078	0,310**	0,103	1			
DTA	0,410**	0,324**	0,589**	0,106	0,021	0,501**	0,468**	0,164	0,498**	0,428**	0,072	0,451**	0,260*	0,462**	0,460**	-0,118	1		
PIM	0,208	0,214	0,198	-0,106	-0,229*	0,349**	0,191	0,284*	0,323**	-0,06	-0,237*	0,619**	0,918**	0,349**	-0,434**	0,097	0,053	1	

*y ** significativo 5% y 1% de niveles de probabilidad, respectivamente,

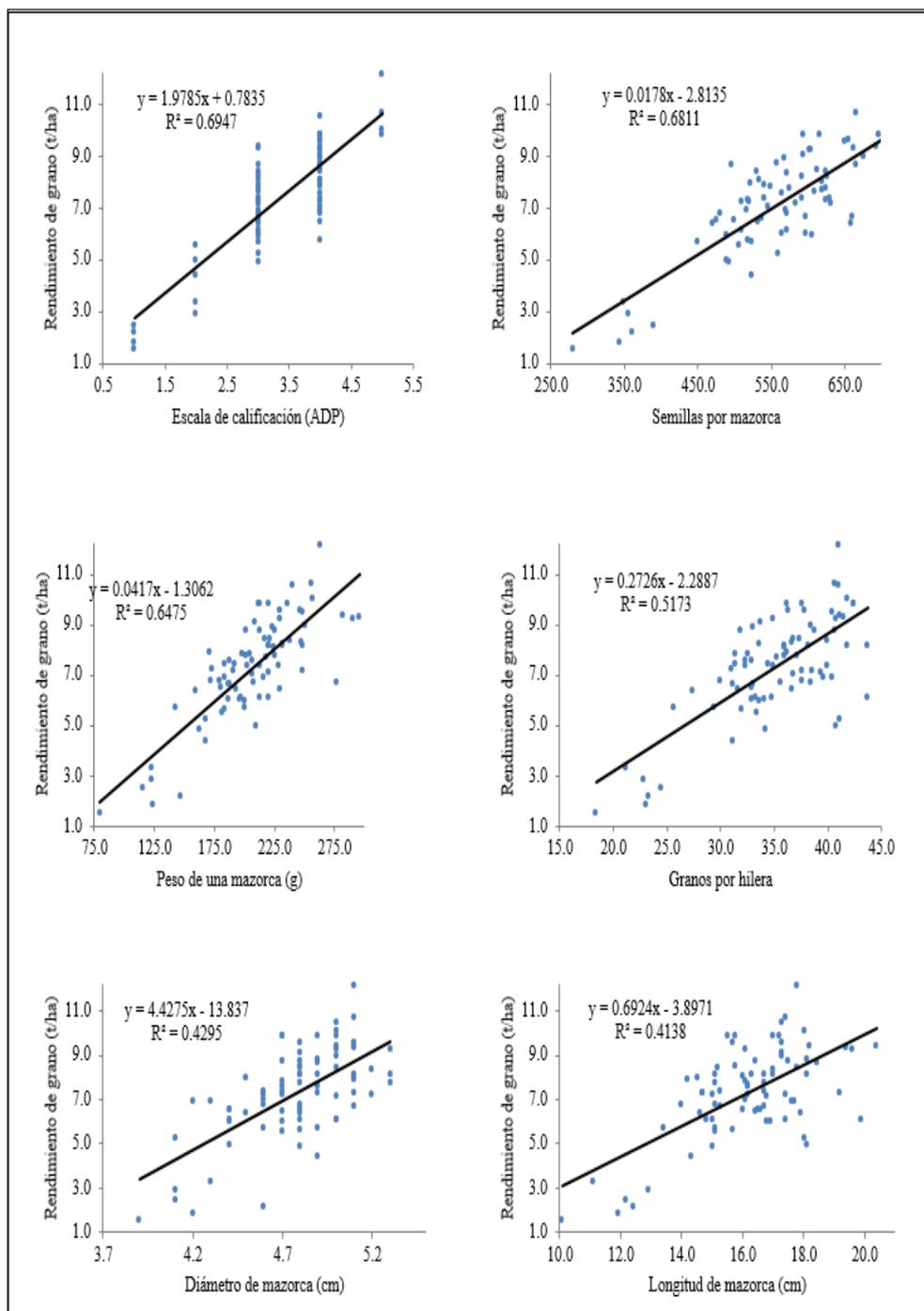


Figura 2: Ecuación de regresión lineal simple del rendimiento de grano con seis caracteres y valor de R²

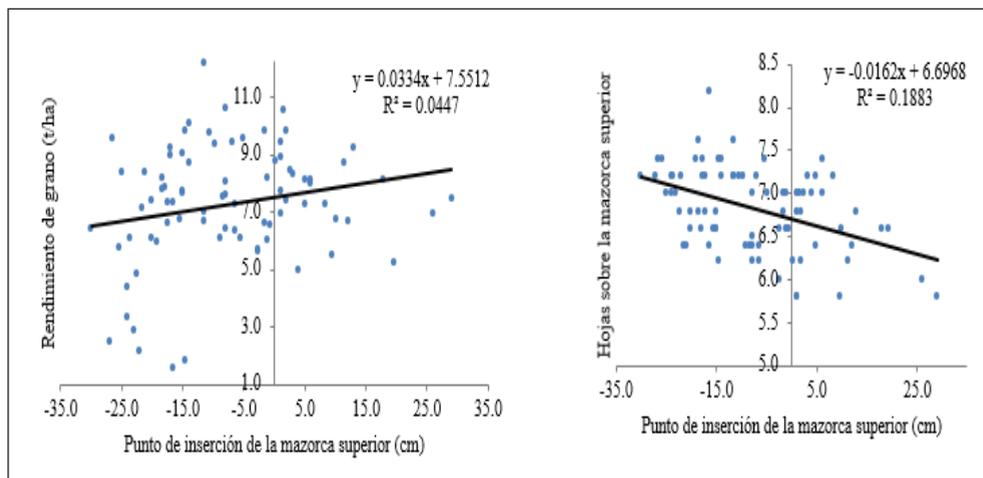


Figura 3: Ecuación de regresión lineal simple del rendimiento, hojas sobre la mazorca superior y punto de inserción de la mazorca superior y valor de R^2

4. Conclusiones

Se identificó 17 híbridos simples con valores de heterosis útil entre 10 y 70 % con los que el agricultor podría obtener ganancias con solamente el reemplazo de la semilla. Valores de heterosis útil menores, no permitirían cubrir el costo de la semilla híbrida que aproximadamente es tres veces más, si se compara con el costo de la semilla del testigo. Los híbridos H-4 y H-20 superaron en 71% y 55%, respectivamente al rendimiento obtenido por el testigo local.

El 69%, 68%, 65%, 52%, 43% y 41% de la variación en el rendimiento de grano esta explicado por el aspecto de plántula, semillas por mazorca, peso de mazorca, granos por hilera, diámetro de mazorca y longitud de mazorca, respectivamente.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación Para el Desarrollo Agrario por el financiamiento de la investigación.

6. Literatura citada

Birchler, J. A.; Auger, D. L.; Riddle, N.C. 2003. *Plant Cell* 15: 2236–2239.

Bruce, A.B. 1910. The Mendelian theory of heredity and the augmentation of vigor. *Science* 32: 627-628.

Cervantes, F.; Gasca, M.; Enríquez, E.; Mendoza, M.; Guevara, A.; Vásquez, F.; Herrera, S. 2014. Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres y rendimiento de maíz. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 2(1): 7-18.

Collins, G.N. 1921. Dominance and vigor of first generation hybrids. *Am. Nat.* 55: 116-133.

Crow, J.F. 1948. *Genetics* 33: 477–487.

Darwin, C. 1876. *The Effects of Cross and Self Fertilization in the Vegetable Kingdom* (Murry, London).

Duvick, D.N. 2001. *Nat. Rev. Genet.* 2: 69-74.

Gupta, S.K. 2000. *Plant Breeding: Theory and Techniques*. Published by Updesh Purohit for Agrobios, India.

Hayes, H.K. 1963. *A Professor's Story of Hybrid Corn*. Burgess Publishing, Minneapolis, MN.

Huanuqueño, E.; Tobaru, J. 2015. Efecto de diferentes formas de emasculación en el rendimiento de maíz amarillo (*Zea mays L.*) *Anales Científicos* 76(1): 26-30.

Jones, D.F. 1917. Dominance of linked factors as a means of accounting for heterosis. *Genetics* 2: 466-479.

- Keeble, F.; Pellew, C. 1910. The mode of inheritance of stature and of time of flowering in peas (*Pisum sativum*). *J. Genet* 1: 47-56.
- Khazaei, F.; Agha, M.; Yari, L.; Khandan, A. 2010. Study the correlation, regression and path coefficient analysis in sweet corn (*Zea mays* var. *saccharata*) under different levels of plant density and nitrogen rate. *ARPJ Journal of Agricultural and Biological Science* 5(6): 14-19.
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. 2017. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias. Consulta a la base de datos de la OEEE (Cultivos).
- Mock, J.; Skrdla, J. 1978. Evaluation of maize plant introductions for cold tolerance. *Euphytica* 27: 27-32.
- Özer, H.; Oral, E.; Dođru, Ü. 1999. Relationships between yield and yield components on currently improved spring rapeseed cultivars. *Tur. J. of Agriculture and Forestry* 23: 603-607.
- Richey, F.D. 1942 Mock-dominance and hybrid vigor. *Science* 96: 280-281.
- Schnell, F.W.; Cockerham, C. 1992 Multiplicative vs. arbitrary gene action in heterosis. *Genetics* 131: 461-469.
- Shull, G.H. 1952. Beginnings of the heterosis concept. In *Heterosis*, J.W. Gowen (ed.), pp. 14-48. Iowa State University. Press, Ames, IA.
- Toro, S. 2009. Heterosis y habilidad combinatoria entre poblaciones seleccionadas de (*Cucúrbita moschata* DUCH. EX POIR). Tesis Magíster en Ciencias Agrarias: Énfasis en Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 105p.
- Virmani, S.; Viraktamath, C.; Casal, C.; Toledo, R.; Lopez, M.; Manalo, J. 1997. *Hybrid Rice Breeding Manual*. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, p.194.
- Wallace, H.A.; Brown, W. 1956. *Corn and its early fathers*. Michigan St. University Press, East Lansing, MI.