

ESTIMACIÓN DE LA HETEROSIS DE F₁ DE MAÍZ, OBTENIDOS POR EL MÉTODO DE LOS HÍBRIDOS CRÍPTICOS

^{1,2}Canteros F. H.; ¹Rudelli, M. M.

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Famaillá, Tucumán, Argentina. ²Facultad de Agronomía Zootecnia y Veterinaria, Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina canteros.francisco@inta.gob.ar

ESTIMATION OF F₁ HETEROSIS IN MAIZE OBTAINED BY THE CRYPTIC HYBRID METHOD

Abstract: Heterosis, is the phenomenon whereby crosses exhibit greater yield, biomass, etc., than their parents. The objective was to estimate relative heterosis (HR%), heterobeltiosis (HB%), and standard heterosis respect to three controls, INTA H45 (HST1%), INTA 2012 (HST2%), and SYN 139 Viptera 3 (HST3%), for maize hybrids (F₁) using the cryptic hybrid method, for yield (RTO), ear length (LE), and plant height (PH). HR% for RTO ranged 157,51 to 753,84%, HB% 95,22 to 628,28%; HST1% -28,92 to 9,91%, HST2% -41,21 to -3,42% and HST3% -43,21 to -6,72%. LE, HR% ranged -3,59 to 39,71%, HB% -7,75 to 39,71%, HST1% -15,92 to 22,8%, HST2% -31,61 to 7,67%, and HST3% -16,35 to 22,18%. PH, HR% ranged -28,01 to 1,2%, HB% -56,07% to -2,26%, HST1% -20,12 to 6,69%; HST2%, -19,29 to 8,21% and HST3%, -20,98 to 5,94%. The six highest-yielding hybrids showed high HR% for RTO, ranged 240,32 to 753,84%, HB%, 231,12 to 628,28%, HST1% 1,36 to 16,76%; HST2% and HST3%, were low and negative. The HR% F₁ for RTO were high, predominating dominance effects in their parents.

Palabras claves: heterosis relativa, heterobeltiosis, heterosis estándar

Keywords: relative heterosis, heterobeltiosis, standard heterosis.

Introducción

El maíz junto al trigo y el arroz, son las especies cultivadas más importantes del mundo (FAO, 2026). La producción mundial estimada en 2019-20 fue de 1.138 millones de tn. (AMIS, 2020); en Argentina la producción durante la campaña 2025-26, fue de 71,5 millones de tn., con un rendimiento promedio de 7.200 kg.ha⁻¹. El cultivo de maíz en la región Noroeste de la República Argentina (NOA) es importante en la dieta humana, la alimentación de animales, etc., además contribuye a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas por su aporte de rastrojos, aspecto crítico en el manejo de los suelos de la región. Los rendimientos medios del NOA, son de 5.000 a 6.000 kg.ha⁻¹. El área sembrada en la campaña 2025-26, fue de 1.380.000 ha y un rinde estimado 5.000 a 6.000 kg.ha⁻¹.

La heterosis o vigor híbrido, se refiere al fenómeno por el cual, los cruzamientos exhiben mayor rendimiento, biomasa, velocidad de desarrollo, etc., que sus progenitores. La búsqueda de las mejores combinaciones de líneas con heterosis, es el fin principal de un programa de mejoramiento de maíz, destinado a la producción de híbridos. En el mejoramiento vegetal se busca aumentar los rendimientos, lo que lleva a los mejoradores a replantearse continuamente los métodos utilizados y sobre todo la eficiencia de los resultados, ya que es importante conocer el desempeño de los híbridos antes de su comercialización, pues este es un proceso costoso.

El método de los “híbridos crípticos”, fue propuesto por Villena (1965), Lonquist y Willians (1967) y Hallauer (1967). Esta metodología, permite identificar muy temprano

las líneas cuyos genotipos en cruza específicas expresan un alto grado de heterosis (Villena, 1965) y determinar temprano el uso de estas en un programa de mejoramiento.

El objetivo de este trabajo fue estimar la heterosis, respecto al valor promedio de los progenitores o heterosis relativa, heterosis respecto al mejor de los progenitores o heterobeltiosis y heterosis respecto a tres híbridos testigos, heterosis útil o heterosis estándar, para el rendimiento, largo de espiga y altura de planta, de F₁ obtenidos a través del método de los híbridos crípticos.

Materiales y Métodos

En la metodología de los híbridos crípticos, los individuos de las poblaciones son caracterizados como híbridos simples por el cruzamiento de dos linajes de progenies o líneas, que los mejoradores todavía no tienen fijadas en un genotipo, y por lo tanto son linajes ocultos o crípticos, por lo tanto, este método consiste en identificar híbridos y posteriormente intentar aislar las líneas, de linajes ocultos o crípticos, que podría reconstituir este cruzamiento (Braganti Toppa, 2012).

El ensayo se llevó a cabo en el campo experimental del Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido, del Centro de Investigaciones Agropecuarias del INTA (IIACS-CIAP) (27° 03' LS; 64° 15' LW; 330 m.s.n.m.). El mismo se encuentra en la Llanura Deprimida Salina, departamento Leales, Tucumán, suelo Hapludol cumúlco-fase salino sódica, con textura franco limoso ligeramente ácido a neutro en superficie y levemente alcalino por debajo de los 30 cm. La temperatura media anual es de 19,5 °C, la de enero es de 25 °C y la de julio de 12 a 12,5 °C. La precipitación anual es de 850 mm y la ETP es de 950 mm anuales. El clima es de tipo subtropical subhúmedo con estación seca.

Los grupos heteróticos A y B se originaron de manera separada por el intercruzamiento de líneas que hacían de padres de diversos híbridos del programa de mejoramiento de maíz del IIACS-CIAP (PMMS), que previamente fueron convertidas a QPM (Quality Protein Maize), por el método de retrocruza, utilizándose como padres donantes las líneas de CIMMYT CML161 y CML165, a cada grupo se le introgresó resistencia a las imidazolinonas "RI". En la campaña 2017-18, los híbridos del primer ciclo (HC₁), 22 en total, obtenidos en invernáculos en el invierno de 2017 y sus 27 líneas (L) S₁ (Tabla 1), se sembraron en ECR, en bloque completos al azar con 2 repeticiones. Se usaron como testigos dos híbridos simples no OGM's del PMMS, INTA H45 (T1) liberado en 1995 e INTA 2012 (T2) liberado en 2012 para comparar las heterosis respecto a híbridos del programa, y un híbrido simple OGM SYN 139 Víptera 3 (T3) de Syngenta recomendado para el NOA y liberado en 2012. Los híbridos crípticos (HC), se obtuvieron mediante cruzamientos recíprocos, entre plantas de los grupos heteróticos A y B, donde al menos una de ellas tenga dos espigas, como lo señalan Lonquist y Willians (1967) y Hallauer (1967). La siembra se realizó el 2 de enero de 2018, la parcela experimental fue de un surco de 5,00 m de longitud, espaciada a 0,70 m con 20 plantas espaciadas a 0,25 m. Se sembraron 3 semillas por golpe y luego se raleó a una planta. Se fertilizó con 50 kg.ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-46-0) a la siembra y 200 kg.ha⁻¹ de urea (46% N) en estado V6. Los caracteres medidos en este trabajo, fueron:

- Rendimiento ajustado a 14,5 % de humedad del grano en kg.ha⁻¹ (RTO). Se obtuvo cosechando a mano la parcela, y luego se procedió a la trilla de las espigas con máquina desgranadora estacionaria. Se pesó en balanza electrónica granaria marca Kretz. Se midió dos veces la humedad de los granos de cada parcela con humidímetro (DIKEY-

John MULTI-GRAIN). Se promediaron los valores y se llevaron todas las muestras a 14,5% de humedad, refiriéndose el peso de la parcela experimental en kg.ha⁻¹.

- Longitud de espigas en cm (LE), se determinó a través la medición de espigas 5 plantas al azar estimando el promedio.
- Altura de planta en m (PH), se midió la distancia, desde la base de la planta hasta el extremo superior de la panoja, de 5 plantas al azar, dentro de cada parcela.

Tabla 1. Híbridos de primer ciclo (HC₁) y líneas S₁(L), utilizados en el ensayo.

Código	Genotipo	Código	Genotipo	Código	Genotipo	Código	Genotipo
HC11	37-2-1*36-2-1	HC115	9-3-1*8-2-1	L4	168-1	L18	8-2-1
HC12	183-1-1*168-1-1	HC116	7-3-1*6-3-1	L5	117-6	L19	7-3
HC13	117-6-2*112-7-2	HC117	7-3-2*6-3-2	L6	112-7	L20	6-3
HC14	207-1*206-1	HC118	63-2-1*164-4-1	L7	207-1	L21	63-2
HC15	115-4-1*114-7-1	HC119	177-1-1*178-1-1	L8	206-1	L22	164-4
HC16	115-4-2*114-7-2	HC120	177-1-2*178-1-2	L9	115-4	L23	177-1
HC17	115-5-1*116-1-1	HC121	81-4-3*82-4-3	L10	114-7	L24	178-1
HC18	115-5-2*116-1-2	HC122	139-2-1*118-1-1	L11	115-5	L25	81-4
HC19	115-5-4*116-1-4	T1	INTA H 45	L12	116-1	L26	82-4-3
HC110	159-2-2*164-7-2	T2	INTA 2012	L13	159-2	L27	139-2
HC111	165-2-1*164-4-1	T3	SYN 139 Víp 3	L14	164	L28	118-1
HC112	73-2-1*185-10-1	L1	37-2	L15	73-2		
HC113	73-2-2*185-10-2	L2	36-2-1	L16	185-10		
HC114	73-2-3*185-10-3	L3	183-1	L17	9-3		

El análisis de la varianza, se hizo con el programa INFOGEN. Las heterosis relativa (HR%), heterosis respecto al mejor de los progenitores o heterobeliosis (HB%) y heterosis respecto a híbridos testigos o heterosis estándar (HS%), INTA H45 testigo 1 (HST1%), INTA 2012 testigo 2 (HST2%) y SYN 139 Viptera 3 testigo 3 (HST3%). Se utilizó el método de Turner (1953) y Hayes (1955).

$$HR\% = \frac{F_1 - MP}{MP} \times 100 \quad HB\% = \frac{F_1 - BP}{BP} \times 100 \quad HS\% = \frac{F_1 - TT}{TT} \times 100$$

Las pruebas de significancia de las heterosis si hicieron con pruebas *t*, como se muestra abajo:

$$t_{cal HR\%} = \frac{F_1 - MP}{SE_d} \quad ; \quad t_{cal HB\%} = \frac{F_1 - BP}{SE_d} \quad ; \quad t_{cal HS\%} = \frac{F_1 - TT}{SE_d}$$

Para calcular el error estándar de la heterosis estimada, se usó la media al cuadrado del error del análisis de la varianza.

$$\text{Para: } HR\%: SE_d = \sqrt{3MSe/2r} \quad ; \quad HB\% \text{ y } HS\%: SE_d = \sqrt{2MSe/r}$$

F₁: filial 1

MP: valor medio de los progenitores

BP: valor del mayor progenitor

TT: valor de los testigos

SE_d: error estándar

MSe: cuadrado medio del error

r: número de repeticiones

Resultados y Discusión

En este estudio se determinó la HR%, HB% y la HST1%, HST2% y HST3%. Siendo los testigos T1 y T2 híbridos de maíz del PMMS, liberados en 1995 y 2012 respectivamente, en tanto T3 era un híbrido comercial de buen posicionamiento y difusión a nivel regional de SYNGENTA. El propósito de la determinación de las HS%, es ver que ocurrió con los

valores de heterosis de los nuevos F_1 , con respecto a los híbridos del PMMS y un híbrido comercial.

El análisis de la varianza (Tabla 2), detectó diferencias estadísticas para todos los caracteres evaluados salvo para PRO.

Tabla 2. Cuadrados medios de los caracteres evaluados en el ensayo.

Fuente de Variación	GL	RTO	LE	HP
Rep	1	13866798,50**	0,53	0,21
Genotipo	53	27034765,60*	7,95 **	0,40**
Error	53	2761153,95	1,41	0,19
Promedio		9067,66 kg.ha ⁻¹	16,67 cm	2,72 m
CV %		29,76	7,90	5,39

* y ** indican el nivel de significancia al 5% y 1% respectivamente.

Las determinaciones de heterosis para RTO (Tabla 3), muestran para HR% del RTO, valores entre 157,51 (HC₁₁) y 753,84% (HC₁₆), en tanto para la HB% entre 95,22% (HC₁₂) y 628,28 % (HC₁₆), para la HST1% entre -28,92 y 9,91%, HST2% entre -41,21 y -3,42%, HST3% de -43,21 y -6,72%. Ninguna de las heterosis estimadas mostró significancia. Se seleccionaron 6 híbridos F_1 por RTO (HC₁₈, HC₁₉, HC₁₃, HC₁₆, HC₁₈ y HC₁₉), por no diferenciarse significativamente del RTO, de los testigos. Para estos F_1 , la HR% varió entre 240,32 y 753,84%; la HB%, 201,85 y 628,28. Los F_1 selectos, mostraron HST1% positivas entre 1,36 y 16,57% (Tabla 3). En tanto HST2% y HST3% fueron negativas. Esto muestra que hubo un avance con respecto al T1, no así respecto T2 y T3. Si bien los valores HST2% y HST3%, dieron negativos para los seis F_1 selectos, sus rendimientos no se diferenciaron significativamente de los testigos que más rindieron T3 y T2. Los valores de HR% y HB% para RTO en este trabajo, son similares a los reportados por Ordás (1991), Saleh (1994) y Gaytán-Bautista (1997). Las altas HR% y HB% estimadas, revelan la alta diversidad entre los grupos heteróticos a los cuales pertenecen las líneas parentales de los F_1 , como señalan trabajos de Prasad y Singh (1986) y Saleh (1995), aunque la heterosis tal como mencionan Falconer y Mackay (1996) no solo está en función de la divergencia entre los parentales, sino también está dado por la dominancia. Los valores de HR% y HB% fueron altos para RTO, en tanto para el resto de los caracteres estuvieron dentro de valores normales encontrados por otros autores. Pudiéndose esperar una caída de la heterosis, a medida que avance el proceso de endocria de las líneas, por el aumento del RTO de estas como señala Duvick (2004).

Tabla 3. Resultado de prueba de LSD de Fischer, para rendimiento (RTO) y HR%, HB%, HST1%, HST2% y HST3% estimadas.

Código F_1	RTO (kg.ha ⁻¹)	HR%	HB%	HST1%	HST2%	HST3%
HC ₁₁	9051,72 ABCDEF	380,02	291,12	-6,22	-22,43	-25,07
HC ₁₂	6860,46 F	180,84	95,22	-28,92	-41,21	-43,21
HC ₁₃	8521,51 BCDEF	314,24	231,39	-11,71	-26,97	-29,46
HC ₁₄	9782,58A BCDEF	300,46	268,16	1,36	-16,16	-19,02
HC ₁₅	7767,00 DEF	255,35	223,63	-19,53	-33,44	-35,71
HC ₁₆	8533,71 BCDEF	290,43	255,57	-11,58	-26,87	-29,36
HC ₁₇	7952,45 CDEF	157,72	150,75	-17,61	-31,85	-34,17
HC ₁₈	11269,32 ABC	265,21	255,34	16,76	-3,42	-6,72
HC ₁₉	10501,17 ABCD	240,32	231,12	8,80	-10,01	-13,07
HC ₁₁₀	7120,00 EF	191,46	159,58	-26,23	-38,98	-41,06
HC ₁₁₁	6952,71 F	157,51	131,76	-27,96	-40,42	-42,45

Continuación tabla 3

HC ₁₂	9253,23 ABCDEF	278,79	208,44	-4,13	-20,70	-23,40
HC ₁₃	11250,70 ABC	360,56	275,02	16,57	-3,58	-6,87
HC ₁₄	7698,40 DEF	215,14	156,61	-20,24	-34,03	-36,27
HC ₁₅	8877,39 ABCDEF	269,89	179,92	-8,02	-23,92	-26,52
HC ₁₆	10611,99 ABCD	753,84	628,28	9,95	-9,06	-12,16
HC ₁₇	9247,22 ABCDEF	644,03	534,61	-4,19	-20,75	-23,45
HC ₁₈	10372,25 ABCDE	266,70	245,74	7,47	-11,11	-14,14
HC ₁₉	10607,81 ABCD	341,99	201,85	9,91	-9,09	-12,19
HC ₂₀	9193,93 ABCDEF	283,08	161,62	-4,74	-21,21	-23,89
HC ₂₁	9774,15 ABCDEF	221,22	208,19	1,27	-16,24	-19,09
HC ₂₂	8288,87 CDEF	271,94	168,62	-14,12	-28,97	-31,39
T1	9651,64 ABCDEF					
T2	11668,75 AB					
T3	12080,58 A					
DMS	3332,89					

La LE (Tabla 4), mostraron significancia para las HB% de F₁ HC₁₂₁, y todas las HST1%, HST2% y HST3%, siendo las HST2% todas negativas, salvo HC₁₇. La HR% varió entre -3,45% (HC₁₁) y 39,71% (HC₂₁), la HB% entre -7,75% (HC₁₀) y 36,64% (HC₂₁). En tanto, la HST1% varió entre, -15,92% (HC₁₄) y 22,8% (HC₂₁), HST2%, -31,61% (HC₁₄) y -0,10% (HC₂₁) y HST3% entre, -16,35% (HC₁₄) y 22,18% (HC₂₁). Los valores de HR% para los F₁, selectos variaron entre, 20,67 y 38,89%. La HB% varió entre, 14,88 y 30,34%. Las HST1% fueron de entre 1,46 y 13,06%, las HST2%, -17,46 y -8,03, en tanto los valores de HST3% fueron de, 0,95 y 12,48%. Los valores de heterosis para LE fueron dispares y bajos respecto al RTO, Niyonzima (2018) reportan resultados similares para este carácter. Es de destacar que las F₁ selectas, tuvieron una LE superiores a los T1 y T3, no así respecto al T2, que fue el de mayor longitud.

Tabla 4. Resultado de prueba de LSD de Fischer, para longitud de espiga (LE) y HR%, HB%, HST1%, HST2% y HST3% estimadas

Genotipos	LE (cm)	HR%	HB%	HST1%	HST2%	HST3%
HC ₁	17,52 AB	38,66	32,13	11,59*	-9,22*	11,03*
HC ₂	17,70 AB	27,94	23,34	12,74*	-8,29*	12,17*
HC ₃	15,80 BC	18,89	17,47	0,64*	-18,13*	0,13*
HC ₄	17,55 AB	29,52	14,48	11,78*	-9,07*	11,22*
HC ₅	15,75 BC	7,84	2,67	0,32*	-18,39*	-0,19*
HC ₆	17,23 AB	17,97	12,32	9,75*	-10,73*	9,19*
HC ₇	16,61 B	24,19	18,22	5,80*	-13,94*	5,26*
HC ₈	16,18 BC	20,97	15,16	3,06*	-16,17*	2,53*
HC ₉	16,14 BC	20,67	14,88	2,80*	-16,37*	2,28*
HC ₁₀	15,60 BC	3,59	-7,75	-0,64*	-19,17*	-1,14*
HC ₁₁	14,15 CD	-3,45	-6,85	-9,87*	-26,68*	-10,33*
HC ₁₂	16,37 BC	26,95	24,87	4,27*	-15,18*	3,74*
HC ₁₃	15,93 BC	23,54	21,51	1,46*	-17,46*	0,95*
HC ₁₄	13,20 D	2,37	0,69	-15,92*	-31,61*	-16,35*
HC ₁₅	16,82 B	17,54	8,03	7,13*	-12,85*	6,59*
HC ₁₆	17,34 AB	27,69	26,11	10,45*	-10,16*	9,89*
HC ₁₇	17,82 AB	31,22	29,60	13,50*	-7,67*	12,93*
HC ₁₈	17,75 AB	38,89	25,71	13,06*	-8,03*	12,48*
HC ₁₉	17,40 AB	30,48	30,34	10,83*	-9,84*	10,27*
HC ₂₀	17,72 AB	32,88	32,73	12,87*	-8,19*	12,29*
HC ₂₁	19,28 AB	39,71	36,64*	22,80*	-0,10*	22,18*



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

Continuación tabla 4

HC ₁₂₂	16,84 B	29,34	27,48	7,26*	-12,75*	6,72*
T1	15,70 BC					
T2	19,30 A					
T3	15,78 BC					
DMS	2,39					

*indican el nivel de significancia al 5%.

En cuanto a HP (Tabla 5), para este carácter se buscó heterosis negativa, siendo HB% el desempeño de los F₁ respecto a la línea de menor valor, ya que se busca plantas bajas, que permitan aumentar la densidad de plantas por hectárea. La heterosis para HP, mostró significancia de la HB% en algunos F₁. Los valores HR% variaron entre -28,01% (HC₁₁₆) y 4,2% (HC₁₁₁). Los de HB% entre, -56,07 (HC₁₁₉) y -2,26% (HC₁₁₁). En tanto la HST1% varió entre, -20,42% (HC₁₁₁) y 6,69% (HC₁₇), para HST2%, -19,29% (HC₁₁₁) y 8,21% (HC₁₇) y HST3%, -20,98 (HC₁₁₁) y 5,94% (HC₁₇). Los valores de los F₁ selectos variaron para HR%, entre, -14,4 y -28,01 %. Para HB%, -56,07 y -19,21 %, todos los valores precedentes mostraron significancia, salvo HC₁₉. Los valores de HST1% estuvieron entre, -6,34 y 3,87%, para HST2%, -5 y 5,36 %, y HST3%, -6,99 y 3,15%. La heterosis en general mostró valores bajos para este carácter, similares a los reportados por Niyonzima (2018).

Tabla 5. Resultado de prueba de LSD de Fischer, para altura de planta (HP) y HR%, HB%, HST1%, HST2% y HST3% estimadas.

Genotipos	HP (m)	HR%	HB%	HST1%	HST2%	HST3%
HC ₁	2,97 AB	-22,22	-42,11*	4,58	6,07	3,85
HC ₂	2,77 ABCDEF	-16,25	-22,03	-2,46	-1,07	-3,15
HC ₃	2,75 BCDEFG	-20,36	-35,47	-3,17	-1,79	-3,85
HC ₄	2,69 CDEFGH	-21,00	-43,85*	-5,28	-3,93	-5,94
HC ₅	2,85 ABCD	-19,82	-25,55	0,35	1,79	-0,35
HC ₆	2,97 AB	-23,06	-30,84*	4,58	6,07	3,85
HC ₇	3,03 A	-22,94	-32,31*	6,69	8,21	5,94
HC ₈	2,95 ABC	-20,85	-28,82*	3,87	5,36	3,15
HC ₉	2,73 BCDEFG	-14,47	-19,21	-3,87	-2,50	-4,55
HC ₁₀	2,60 DEFGHI	-20,58	-33,33*	-8,45	-7,14	-9,09
HC ₁₁	2,26 J	4,20	-2,26	-20,42	-19,29	-20,98
HC ₁₂	2,63 DEFGH	-22,62	-30,20*	-7,39	-6,07	-8,04
HC ₁₃	2,72 BCDEFG	-25,18	-34,65*	-4,23	-2,86	-4,90
HC ₁₄	2,35 J	-13,40	-16,34	-17,25	-16,07	-17,83
HC ₁₅	2,77 ABCDEF	-10,29	-13,99	-2,46	-1,07	-3,15
HC ₁₆	2,66 DEFGH	-28,01	-46,15*	-6,34	-5,00	-6,99
HC ₁₇	2,45 HIJ	-21,84	-34,62*	-13,73	-12,50	-14,34
HC ₁₈	2,74 BCDEFG	-16,42	-23,98	-3,52	-2,14	-4,20
HC ₁₉	2,70 CDEFGH	-25,93	-56,07*	-4,93	-3,57	-5,59
HC ₂₀	2,53 EFGHI	-20,95	-46,24*	-10,92	-9,64	-11,54
HC ₂₁	2,95 ABC	-21,02	-31,70*	3,87	5,36	3,15
HC ₂₂	2,86 ABCD	-20,98	-31,19*	0,70	2,14	0,00
T1	2,84 ABCD					
T2	2,80 ABCDE					
T3	2,86 ABCD					
DMS	0,27					

* indican el nivel de significancia al 5%.

Lo importante es que los valores de HR% y HB% en diferentes magnitudes fueron negativos, salvo HR% de la F₁ HC₁₁₁. Este trabajo, al igual que Rodríguez-Pérez (2016),

reporta valores negativos de heterosis para PH, que como señala De La Cruz (2010) son deseables en maíz. En tanto, nuestros resultados son contrarios a los reportados por Saleh (2002), quien no encuentra híbridos significativamente bajos, comparados con un testigo.

Kaeppler (2011), señala que no todos los caracteres necesariamente tienen heterosis, como sucedió en este trabajo, con el peso de mil semillas (datos no mostrados), por otro lado Labroo (2021) afirman que el grado de heterosis depende del ambiente e inclusive puede disminuir, además pueden exhibir diferentes magnitudes dependiendo del carácter a estudiar. Longin (2013) y Huang (2015), afirman que no hay correlación entre el nivel de heterosis de los diferentes caracteres, que es lo que se observó entre el RTO y el resto de los caracteres estudiados. La heterosis entre las líneas que formaron las F_1 , puede deberse en parte a la dominancia y es posible que este correlacionada con la distancia genética de los genotipos que les dieron origen. La ganancia en productividad de los F_1 , puede ser atribuida a la complementariedad entre los grupos heteróticos *per se*, que resulta de realizar selección recurrente recíproca, que es el caso del método de mejora utilizado.

Conclusiones

Los resultados obtenidos para RTO, muestran altos valores de HR% y HB%, lo cual revela la existencia de diversidad entre las poblaciones, que conforman estos nuevos grupos heteróticos del PMMS. En tanto para HS% revelan valores aceptables en HST1% y negativos para todos los HST2% y HST3%. En cuanto a los F_1 selectos, todos los valores de HST1% fueron positivos, demostrando un avance con respecto al T1. En cuanto al carácter LE, para HR% y HB% se encontraron valores positivos de diferentes magnitudes, y algunos valores negativos. Para HST1% y HST3%, se encontraron valores positivos y negativos de diferente magnitud, en tanto para HST2% todos los valores fueron negativos y ningún de los F_1 superó en LE al T2. Y si bien LE es un carácter, relacionado al RTO, vemos que el T3, que tuvo el de mayor RTO, la LE fue menor respecto a los F_1 selectos. Para HP, la HR% todos fueron negativas, salvo para un HC_1 , HB% todos los valores fueron negativos y muchos significativos al 5%. Para HST1%, HST2% y HST3%, los valores variaron entre negativos y positivos, y si bien valores positivos son desfavorables, los encontrados en este trabajo, son de baja magnitud. En cuanto a los F_1 selectos, salvo para HC_{18} , todos fueron negativos que es lo que se busca en el PMMS, que es bajar la altura de planta, respecto a los padres y los testigos. La importancia del cálculo de la heterosis en el PMMS, radica en saber el punto de partida y poder medir la evolución de esta, a lo largo del tiempo. Y si bien los valores HR% y HB% de RTO fueron altos y podría esperarse una caída, en los otros dos caracteres (LE; HP), es de esperar que, con un eficiente trabajo de selección, sus valores aumenten. Por último, determinar las HST%, nos permite conocer, que ocurrió con la heterosis, sobre todo de los F_1 selectos, respecto a dos híbridos del PMMS (T1; T2), y el posicionamiento respecto un híbrido comercial (T3). En nuestro caso los resultados fueron negativos respecto a RTO, aunque con el avance de los ciclos, se puede mejorar. Y se tuvieron resultados positivos de LE respecto a T1 y T3 y de PH respecto a los tres testigos.

Apoyo financiero: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Referencias Bibliográficas

AMIS (Agricultural Management Information System). 2020. Sitio web institucional (en línea). Roma, Italia. Disponible en <http://www.amis-outlook.org/home/>

- Braganti Toppa, E. V.; da Silva C. J., Zoz, T.; y Marcondes Novaes Silva, T. (2012). Análise comparativa dos métodos de obtenção de linhagens "standard" e híbridos crípticos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa*. (Mossoró-RN-Brasil). 7(1), 29-32.
- De la Cruz-Lázaro, E.; Castañón-Nájera, G.; Brito-Manzano, N. P.; Gómez-Vázquez, A.; Robledo-Torres, V.; y Lozano del Río, A. J. (2010). Heterosis y aptitud combinatoria de poblaciones de maíz tropical. *Phyton (Buenos Aires)*, 79(1), 11-17.
- Duvick, D. N.; Smith, J. S. C.; y Cooper, M. (2004) Long-Term selection in a commercial hybrid maize breeding program. *Plant Breeding Reviews*, 24(2):109-150.
- Falconer, D. S.; y Mackay T. (1996). Introduction to Quantitative Genetics. 3rd ed. Pearson, New York, USA.
- FAO. 2026. Land statistics 2001–2024 – Global, regional and country trends. FAOSTAT Analytical Briefs, No. 129. Rome. <https://doi.org/10.4060/ce0789en>
- Gaytán-Bautista, R.; y Padilla-Ramírez, J. S. (1997). Heterosis estimation for different quantitative maize characteristics using highland and subtropical progenitors. In *A Book of Abstracts. The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops: An International Symposium* (pp. 36-37).
- Hallauer, A. R. (1967). Development of single-cross hybrids from two-eared maize populations 1. *Crop Science*, 7(3), 192-195.
- Hayes, H. K.; Immer, F. R.; y Smith, D. C. (1955). Methods of plant breeding. Mc, Grow Hill Book Co., Inc., New York (pp.165-180).
- Huang, X.; Yang, S.; Gong, J.; Zhao, Y.; Feng, Q.; Gong, H.; y Han, B. (2015). Genomic analysis of hybrid rice varieties reveals numerous superior alleles that contribute to heterosis. *Nature communications*, 6(1), 6258.
- Kaeppler, S. (2011). Heterosis: one boat at a time, or a rising tide?. *New Phytologist*, 189(4).
- Labroo, M. R.; Studer, A. J.; y Rutkoski, J. E. (2021). Heterosis and hybrid crop breeding: a multidisciplinary review. *Frontiers in genetics*, 12, 643761.
- Lonnquist, J. H.; y Williams, N. E. (1967). Development of Maize Hybrids through Selection among Full-Sib Families 1. *Crop Science*, 7(4), 369-370.
- Longin, C. F. H.; Gowda, M.; Mühleisen, J.; Ebmeyer, E.; Kazman, E.; Schachschneider, R.; y Reif, J. C. (2013). Hybrid wheat: quantitative genetic parameters and consequences for the design of breeding programs. *Theoretical and applied genetics*, 126(11), 2791-2801.
- Niyonzima, P.; Nagaraja T. E.; Lohithaswa C.; Mysore, U.; Pavan, R.; y Niyitanga, F. (2018). Estimate of magnitude of heterosis for grain yield and its contributing characters in maize (*Zea mays* L.). Recuperado el 21/07/2026, de https://ijaeb.org/uploads2018/AEB_03_149.pdf/
- Ordás, A. (1991). Heterosis in crosses between American and Spanish populations of maize. *Crop science*, 31(4), 931-935.
- Prasad, S.K. y Singh, T.P. (1986). Heterosis in relation to genetic divergence in maíz (*Zea mays* L.). *Euphytica* 35, 919-924.
- Rodríguez-Pérez, G.; Zavala-García, F.; Treviño-Ramírez, J. E.; Ojeda-Zacarías, C.; Mendoza-Elos, M.; Herrera, S. A. R.; y Ortiz, F. C. (2016). Aptitud combinatoria y heterosis entre líneas de dos tipos de maíz para grano. *Interciencia*, 41(1), 47-54.
- Saleh, G. B.; Sujiprihati, S.S.; y Yap T.C. (1994). Performance of maize hybrids from locally-developed inbred lines. In: Proceedings of the First National Congress on Genetics, 7-8 Nov., 1994. Kuala Lumpur: Genetics Society of Malaysia.
- Saleh, G. B.; Sujiprihati, S.S.; y Yap T.C. (1995). Development and performance of maize hybrids in Malaysia. In Proceeding of the Second Asian Crop Science Conference, August 21-23, 1995, Fakui, Japan: Asian Crop Science Society.
- Saleh, G. B.; Abdullah, D.; y Anuar, A. R. (2002). Performance, heterosis and heritability in selected tropical maize single, double and three-way cross hybrids. *The Journal of Agricultural Science*, 138(1), 21–28. doi:10.1017/S0021859601001757
- Turner, J.H. Jr. (1953) A study of heterosis in upland cotton: I. Yield of hybrids compared with varieties. *Agron J* 45:484–486
- Villena, W. (1965). Selección de líneas para habilidad combinatoria general y específica en el primer ciclo de selección recurrente recíproca en poblaciones de Eto Blanco y Colima 14. *XI Reunión Anual PCCMCA*, 31-34. Ciudad de Panamá. Panamá. Marzo 16 al 19.