

ESTIMACIÓN DE HETEROsis PARA DIFERENTES CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS EN MAÍZ BAJO TEMPORAL

Héctor A. Paccapelo¹
Sathyanaarayanaiah Kuruvadi²
Humberto de León C.³

RESUMEN

En esta investigación se seleccionaron recursos genéticos básicos de diferentes pilas genéticas, se realizaron 500 autofecundaciones y las líneas S₁ se evaluaron en dos localidades, donde se seleccionaron 12 progenitores sobresalientes en rendimiento, índice de sequía e intervalo de floración. Se sembraron los 12 progenitores y se produjeron los 66 híbridos directos con el método II, modelo I de Griffing (1956). Se evaluaron 81 poblaciones (12 progenitores, 66 cruzas y 3 testigos) bajo condiciones de temporal, con el objetivo de estudiar la variabilidad y estimar heterosis para diferentes características agronómicas.

El análisis de varianza indicó diferencias significativas para: número de hiladas de grano, número de granos por hilera, peso de 1000 granos, días a flor, altura de mazorca y altura de planta. Los rangos de heterosis, heterobeltiosis y heterosis útil para rendimiento fueron -17.94 a 48.78, -25.84 a 29.16 y -13.83 a 50.86%, respectivamente. Los híbridos 5 x 9, 6 x 11, 4 x 5 y 2 x 4 manifestaron máximo porcentaje de heterosis sobre el progenitor superior correspondiente. Los híbridos 1 x 4, 1 x 2, 3 x 9 y 9 x 10 para mazorcas por planta; 4 x 10, 8 x 9 y 2 x 4 para granos por hilera y 5 x 9, 9 x 12 y 9 x 10 para peso de 1000 granos fueron mejores en la manifestación de heterosis sobre su progenitor superior.

Palabras clave: Rendimiento, componentes de rendimiento, heterosis, heterobeltiosis, variabilidad.

1. Tesista Doctorado

2 y 3. Ph. D. y M.C. Maestros Investigadores. Depto. de Fitomejoramiento. Div. de Agronomía. UAAAN.

SUMMARY

In this investigation genetic resources were selected from different gene pools and 500 individual plants were selfed and the S1 lines were evaluated in two localities and finally 12 parents were selected based on grain yield, drought index and flowering interval index. These 12 parents were crossed according to Griffing (1956) method II model I and 66 direct hybrids were obtained. Eighty one populations (12 parents, 66 hybrids and 3 checks) were evaluated under dryland conditions with an objective of studying variability and to estimate heterosis for different agronomic characters.

The analysis of variance indicated significant differences for the following characters: number of rows with grains, number of grains per row, 1000 seed weight, days to flower, height to cob and plant height. The range of heterosis, heterobeltiosis and heterosis util were -17.94 to 48.78; -25.84 to 29.16 and -13.83 to 50.86 % respectively. The hybrids 5 x 9, 6 x 11, 4 x 5 and 2 x 4 manifested maximum percentage of heterosis over their corresponding better parent. The hybrids 1 x 4, 1 x 2, 3 x 9 and 9 x 10 for cobs per plant; 4 x 10, 8 x 9 and 2 x 4 for grains per row and 5 x 9, 9 x 12 and 9 x 10 for grain weight were excelled over their better parent.

Key words: yield, yield components, heterosis, heterobeltiosis, variability.

INTRODUCCIÓN

El estudio de diferentes tipos de heterosis permite en su programa de mejoramiento, identificar más racionalmente las cruzas superiores para diferentes características agronómicas. La heterosis o vigor híbrido, expresado como la diferencia entre F1 y los valores del progenitor medio, depende, para su ocurrencia, de la dominancia de los genes. Los loci sin dominancia no causan ni depresión, ni endogámica, ni heterosis. La magnitud de la heterosis depende de la frecuencia génica entre las líneas. Si éstas al cruzarse no difieren en la frecuencia génica, no habrá heterosis, y ésta será mayor cuando un alelo esté fijado en una línea y el otro, en la otra (Falconer, 1986).

Johnson y Fisher (1981) evalúan el comportamiento de materiales del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en cruzas con Tuxpeño Crema-1, P.B.C.-17 y ETO Blanco, representativos de dos muy bien conocidos grupos heteróticos en el trópico. Materiales precoces e intermedios probados en tres localidades de México exhiben cruzas con un 10% de heterosis respecto al mejor progenitor (heterobeltiosis), aunque no se pueden utilizar directamente por diferencias en el color del grano.

Cortez *et al.* (1981) realizaron cruzas dialélicas entre varios materiales de grano blanco, del CIMMYT, adaptados al trópico, de madurez temprana e intermedia. En cruzas entre materiales intermedios, como el Pool 20 x Población 49 exhiben efecto heterótico altamente significativo.

Existe información sobre la estimación de heterosis para diferentes características agronómicas bajo condición de riego, pero tal información es muy escasa bajo ambiente de temporal. Por lo tanto, en este estudio se evaluaron 12 progenitores con sus 66 cruzas directas, con los siguientes objetivos: estudiar la variabilidad y heterosis, para diferentes características agronómicas, bajo condiciones de temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el campo experimental de Tepalcingo (Morelos), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAAN) se realizaron 500 autofecundaciones en la población Compuesto Precoz, que es el producto de dos generaciones de recombinación genética de diversos materiales como: Obregón Sequía, Pool 26 Sequía, Pool 18 Sequía, La Posta Sequía, Cafime, Compuesto Norteño, VS-201, Zacatecas 58 y Compuesto Calera. Las plantas autofecundadas se seleccionaron en base a su aspecto, precocidad, altura de planta y mazorca, ausencia de enfermedades y aspecto de mazorcas. Las 90 mejores mazorcas bajo condiciones de riego, se evaluaron en las localidades de Parras (Coahuila) y Celaya (Guanajuato). Se aplicó el índice de ponderación libre de Elston (1963) a partir de las variables: rendimiento, precocidad, intervalo de floración, altura de planta, altura de mazorca, aspecto y prolificidad. Las 12 líneas S1 seleccionadas en base al índice de selección se sembraron en Tepalcingo (Morelos), en tres fechas separadas, en Diciembre de 1992, para lograr obtener las 66 cruzas directas entre ellas. Mediante cruzamientos fraternales se incrementó el número de semillas de cada progenitor.

En el campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) de Francisco I. Madero, (Durango), se evaluaron en condiciones de temporal, durante el período comprendido entre junio a noviembre de 1992, 81 poblaciones (12 progenitores, sus 66 cruzas directas y tres híbridos dobles experimentales, utilizados como testigos), en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. Las dimensiones de la parcela experimental fue de un surco de 6 m de largo, separados a 81 cm. Dentro del surco se sembraron 20 matas de dos semillas cada una, separadas a 30 cm, que se aclaraeron a una planta por mata, después de 20 días de siembra. Se aplicó la dosis de 60:30:00 kg/ha de N:P:K en el momento de la siembra. Desde entonces

y hasta la cosecha, el cultivo estuvo estrictamente bajo condiciones de precipitación natural. Se etiquetaron ocho plantas por parcela y se registraron datos sobre las características mencionadas en el Cuadro 1. Se utilizaron promedios de cada carácter, para realizar análisis de varianza y estimar las tres formas de heterosis mediante las fórmulas siguientes:

$$\text{Heterosis} = \frac{F_1 - (P_1 + P_2/2)}{(P_1 + P_2/2)} \times 100$$

donde:

F_1 = promedio de la crusa

P_1 = promedio del progenitor 1

P_2 = promedio del progenitor 2

$$\text{Heterobeltiosis} = \frac{F_1-PS}{PS} \times 100$$

donde:

PS = progenitor superior

$$\text{Heterosis útil} = \frac{F_1-T}{T} \times 100$$

donde:

T = promedio de los híbridos experimentales

Cuadro 1. Análisis de varianza general para diferentes características agronómicas en maíz bajo temporal.

Fuente de Variación	Grados de libertad	Rendimiento	Mazorcas planta ^a	Cuadrados Medios			Peso de 1000 granos	Días a flor	Altura mazorca	Altura planta
				Nº Hileras	Nº Granos hileras	Nº Grano/maz				
Repeticiones	2	21.60*	0.18**	3.14	160.99**	1.80	27.47*	22.56	41.06	
Tratamientos	77	6.43	0.03	5.06**	25.39**	1.10**	22.15**	183.13**	404.94**	
Progenitores	11	4.84	0.07*	10.13**	36.18**	24.10**	52.57**	249.75**	729.29**	
Cruzas	65	23.92	0.03	59.92**	104.15**	1.78	50.00*	824.60**	142.30**	
Prog. vs cruzas	1	6.40	0.03	3.36	22.35**	0.90*	16.57**	146.60**	281.02**	
Error	154	6.59	0.03	2.64	13.68	0.60	8.90	52.53	171.25	
C.V. (%)		17.1	4.36	12.6	20.1	18.8	4.33	15.4	12.8	

^a Significativo al 5%^{**} Significativo al 1%^b Transformado por $Vx + 1$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para diferentes características agronómicas en maíz se presentan en el Cuadro 1, donde se indican diferencias significativas entre tratamientos para las variables: número de hileras de grano por mazorca, número de granos por hilera, peso de 1000 granos, días a flor, altura de mazorca y altura de planta. Las características: rendimiento y mazorcas por planta no manifestaron diferencias significativas; el retraso de las lluvias, extrema sequía y heladas tempranas fueron las causas para que no se expresara el potencial de rendimiento en los genotipos bajo condiciones de temporal. Fischer *et al.* (1983) al evaluar material experimental proveniente de la población Tuxpeño-1, seleccionada por rendimiento en condiciones de buena humedad, no encontraron diferencias significativas en las evaluaciones bajo condiciones de estrés. Sin embargo, las selecciones efectuadas bajo condiciones de estrés tendieron a presentar mejores rendimientos en las evaluaciones bajo riego. En esta investigación se manifestó variabilidad entre progenitores y cruzas, excepto con respecto a rendimiento y mazorcas por planta. El contraste ortogonal entre progenitores vs. cruzas provee una estimación de la heterosis promedio de todas las cruzas, en relación al promedio de los progenitores.

El coeficiente de variación máximo fue de 20.1% entre las características evaluadas, lo que es indicativo de la aceptación en la conducción del experimento y resultados obtenidos.

En el Cuadro 2 se registra la heterosis (H) del híbrido, como incremento en vigor sobre el promedio de los progenitores para las características agronómicas consideradas; la heterobeltiosis (HB) como la superioridad sobre el progenitor superior y la heterosis útil (HU) como la superioridad sobre el promedio de tres híbridos dobles experimentales del Instituto del Maíz de la UAAAN: (255-18-19 x AN 7) x (CN67 x CN 66), (255-18-19 x AN 7) x (CN 66 x CN 61) y (255-18-19 x AN 7) x (VS-201-27 x VS 201-13). La heterosis sobre el promedio de ambos progenitores para el rendimiento de grano varió de -17.94 (8x9), a 48.78 (5x9) %, y 52 de las 66 cruzas (78.78 %) tuvieron valores positivos de heterosis, mientras que 36 de las 66 cruzas (54.54%) superaron al mejor progenitor. Para este tipo de heterosis, los valores extremos fueron -25.84 (8x9) y 29.16 (5x9); para la HU, el 56% de las cruzas analizadas presentaron valores positivos con un rango de -13.83 (8 x 9) y 50.86% (5 x 9). Las cruzas que obtuvieron los valores más altos y positivos para rendimiento en los tres tipos de heterosis fueron 5 x 9 y 6 x 11. Estas cruzas deberán investigarse en el futuro para determinar la mejor combinación para rendimiento. Un método económico de producción de semilla puede utilizarse en estos híbridos no convencionales. Beck *et al.* (1990) encuentran en maíces tropicales precoces e intermedios, heterosis baja sobre el mejor progenitor y niveles moderados de heterosis en la cruce de la población 23 x Pool 26 (9.6%), y 6.7% en la cruce de la población 23 x

Cuadro 2. Heterosis (H), heterobeltiosis (HB) y heterosis útil (HU) en porcentaje para diferentes características agronómicas de 66 cruzas maíz bajo temporal.

Cruzas	Rendimiento			Mazorcas por planta			Nº hileras grano		
	H	HB	HU	H	HB	HU	H	HB	HU
1 x 2	7.68	6.55	6.04	33.98	22.12	53.33	-2.38	-2.51	10.91
1 x 3	4.91	3.38	2.88	4.16	0.00	11.11	-11.97	-14.09	2.39
1 x 4	0.18	-3.59	-4.05	56.25	50.00	66.66	-2.27	-3.13	9.90
1 x 5	2.46	-4.39	-4.85	0.00	-7.40	11.11	-5.24	-9.95	2.16
1 x 6	11.27	10.35	11.66	13.00	4.62	25.55	-16.16	-17.54	-3.25
1 x 7	2.62	-4.45	-4.91	7.52	7.52	11.11	-4.16	-9.07	3.17
1 x 8	-4.24	-6.64	-7.09	-3.84	-13.79	-11.11	-15.76	-19.09	-8.20
1 x 9	-10.39	-17.10	-3.17	-2.91	-11.50	11.11	-13.65	-15.00	-3.56
1 x 10	-3.95	-4.54	-3.81	4.16	0.00	11.11	-3.71	-8.18	4.17
1 x 11	12.13	7.67	7.16	12.35	7.52	11.11	-12.68	-12.68	-0.92
1 x 12	13.62	10.29	9.77	9.09	1.88	20.00	-8.82	-9.75	2.39
2 x 3	11.43	11.19	8.11	1.88	-4.42	20.00	-32.89	-34.41	-21.82
2 x 4	20.58	17.23	13.98	-5.66	-11.50	11.11	-2.40	-3.40	9.90
2 x 5	12.35	5.86	2.92	-3.63	-6.19	17.77	0.57	-4.55	8.59
2 x 6	8.90	6.66	7.92	4.54	1.76	27.77	-4.48	-5.93	10.37
2 x 7	8.72	2.43	-0.40	-20.38	-27.43	-8.88	-15.07	-19.52	-8.43
2 x 8	9.50	7.85	4.87	-18.42	-19.82	3.33	-16.80	-20.20	-9.21
2 x 9	-7.43	-15.18	-0.09	-17.69	-17.69	3.33	-19.03	-20.40	-9.44
2 x 10	-0.15	-2.01	-1.25	0.00	-6.19	17.77	-13.14	-17.27	-5.88
2 x 11	1.25	-1.77	-4.49	-6.06	-17.69	3.33	-11.03	-11.15	1.08
2 x 12	19.03	16.74	13.51	-8.25	-11.50	11.11	-4.12	-5.23	7.81
3 x 4	8.64	5.84	2.47	0.00	0.00	11.11	-33.82	-35.97	-23.68
3 x 5	15.80	9.32	5.84	-3.84	-7.40	11.11	0.69	-6.49	11.45
3 x 6	7.72	5.28	6.53	-23.07	-25.92	-11.11	-32.39	-32.92	-20.04
3 x 7	3.65	-2.14	-5.26	4.16	0.00	11.11	-12.25	-18.63	-3.01
3 x 8	-12.26	-13.39	-16.15	0.00	-6.89	20.00	-5.88	-11.68	5.26
3 x 9	-6.11	-14.14	0.27	25.47	17.69	47.77	-3.17	-6.94	10.91
3 x 10	13.41	11.06	11.92	-7.00	-7.00	3.33	-12.25	-18.18	-2.47
3 x 11	9.96	6.88	3.48	0.00	-7.00	3.33	-8.44	-10.64	6.50
3 x 12	8.54	6.67	3.27	-2.91	-5.66	11.11	-1.47	-4.80	13.46
4 x 5	21.55	17.70	8.32	3.84	0.00	20.00	-25.14	-28.26	-20.04
4 x 6	5.25	0.48	1.68	-10.57	-13.88	3.33	-22.35	-24.40	-11.30
4 x 7	8.82	5.12	-3.25	4.16	0.00	11.11	-10.52	-14.35	-4.56
4 x 8	11.45	9.98	3.96	-7.40	-13.79	11.11	-14.04	-16.66	-7.12
4 x 9	1.15	-9.66	5.51	-5.66	-11.50	11.11	-8.67	-9.30	1.08
4 x 10	0.00	-4.33	-3.59	0.00	0.00	11.11	-11.48	-14.86	-5.10
4 x 11	1.82	1.59	-6.51	-15.74	-21.55	1.11	-7.08	-7.91	4.48
4 x 12	4.19	3.26	-3.24	7.76	4.71	23.33	-10.98	-11.11	-0.92
5 x 6	-4.00	-11.11	-10.06	-20.37	-20.37	-4.44	-17.77	-23.08	-9.75
5 x 7	8.29	8.03	-6.87	0.00	-7.40	11.11	-4.93	-5.07	-3.01
5 x 8	-0.24	-4.64	-9.87	-10.71	-13.79	11.11	-12.88	-13.85	-9.98
5 x 9	48.24	29.16	50.86	-9.09	-11.50	11.11	-9.27	-12.46	-3.79
5 x 10	10.75	2.74	3.53	-10.57	-13.88	3.33	-0.67	-1.05	-1.85
5 x 11	9.18	5.96	-2.92	9.27	-1.85	17.77	-4.09	-0.86	3.40

Continuación...

Cruzas	Rendimiento			Mazorcas por planta			Nº hileras grano		
	H	HB	HU	H	HB	HU	H	HB	HU
5 x 12	-1.47	-5.41	-11.38	3.73	2.77	23.33	-1.59	-5.57	4.95
6 x 7	5.94	-2.11	-0.95	0.00	-7.40	11.11	-34.11	-38.45	-27.78
6 x 8	-11.55	-14.46	-13.44	23.21	25.86	-4.44	-2.79	-8.11	7.81
6 x 9	2.02	-4.88	11.09	21.81	23.89	-4.44	-15.12	-17.81	-3.56
6 x 10	4.12	3.91	5.14	-3.84	-7.40	11.11	-11.94	-17.34	-3.01
6 x 11	26.28	20.30	21.73	-4.12	-13.80	3.33	-16.63	-18.00	-3.79
6 x 12	6.11	2.18	3.39	-6.54	-7.40	11.11	-8.80	-11.21	4.17
7 x 8	9.16	4.11	-1.58	-3.84	-13.79	11.11	-8.47	-9.62	-5.57
7 x 9	1.84	-11.59	3.26	-9.70	-17.69	3.33	-14.98	-18.09	-9.98
7 x 10	5.87	-1.99	-5.24	-3.12	-7.00	3.33	-6.57	-7.06	-4.33
7 x 11	16.51	12.81	3.34	12.35	7.52	11.11	-19.26	-23.39	-13.08
7 x 12	16.94	12.00	4.94	-8.08	-14.15	11.11	-10.17	-13.92	-4.33
8 x 9	-17.94	-25.84	-13.38	-12.28	-13.79	11.11	-23.03	-24.92	-17.49
8 x 10	-2.62	-5.64	-4.91	-1.85	-8.62	17.77	-11.64	-12.29	-8.35
8 x 11	-4.67	-6.24	-11.37	11.88	-2.58	25.55	-9.09	-12.68	-0.92
8 x 12	7.72	7.25	1.38	3.60	-0.86	27.77	15.79	-18.31	-9.21
9 x 10	4.13	-3.10	13.17	20.75	13.27	42.22	-23.41	-25.84	-18.49
9 x 11	6.34	-5.20	10.70	1.01	-11.50	11.11	-15.03	-16.37	-5.10
9 x 12	4.15	-6.23	9.51	-14.67	-17.69	3.33	-19.04	-19.48	-10.52
10 x 11	4.26	-0.47	0.29	13.97	6.00	17.77	-16.09	-19.98	-9.21
10 x 12	2.07	-1.51	-0.75	-2.91	-5.66	11.11	-5.06	-8.56	1.62
11 x 12	15.05	13.77	6.60	-10.41	-18.86	-4.44	-3.30	-4.29	8.59
Promedio		1.49			6.29			-14.42	

Cruzas	Nº granos/hilera			Peso de 1000 granos		
	H	HB	HU	H	HB	HU
1 x 2	-2.21	-2.76	-27.07	7.69	2.39	13.83
1 x 3	17.54	12.17	-7.40	-2.53	-9.32	17.12
1 x 4	18.83	3.96	-22.02	-17.80	-20.80	-5.08
1 x 5	2.63	2.51	-22.97	11.21	3.93	15.55
1 x 6	17.84	8.07	-2.80	-12.53	-15.62	0.93
1 x 7	13.26	12.76	-15.42	-5.55	-10.33	-0.31
1 x 8	18.13	9.81	-17.64	23.48	7.24	19.23
1 x 9	-2.42	-8.74	-31.55	-9.12	-20.18	-11.25
1 x 10	28.84	15.47	-13.93	6.40	-2.95	7.74
1 x 11	27.59	19.65	2.50	9.43	9.28	21.50
1 x 12	25.33	13.87	4.52	8.10	-1.54	9.46
2 x 3	6.74	1.31	-16.36	-18.13	-27.3	-6.09
2 x 4	49.67	31.59	-2.35	-19.33	-31.29	-11.25
2 x 5	10.29	9.60	-17.64	-5.32	-7.02	-6.80
2 x 6	-4.19	-12.59	-21.41	-4.97	-12.67	4.45
2 x 7	11.56	11.42	-17.16	-26.04	-26.16	-25.98
2 x 8	5.71	-1.27	-26.74	-7.72	-16.14	-15.94
2 x 9	22.19	14.81	-14.81	19.33	9.75	10.00
2 x 10	34.60	21.16	-10.09	15.59	10.45	10.71
2 x 11	-11.27	-17.23	-29.10	7.62	2.39	13.60
2 x 12	4.94	-5.13	-12.92	4.24	-0.39	-0.15

Continuación...

Cruzas	Nº granos/hilera			Peso de 1000 granos		
	H	HB	HU	H	HB	HU
3 x 4	7.40	-9.71	-25.47	-15.13	-18.22	5.62
3 x 5	-5.86	-10.11	-25.80	25.13	9.38	41.28
3 x 6	-11.59	-15.21	-23.77	-12.01	-15.31	9.38
3 x 7	11.60	6.05	-12.45	-24.36	-32.92	-13.36
3 x 8	8.47	-18.51	-32.73	15.77	-5.38	22.20
3 x 9	13.33	1.48	-16.22	11.58	-7.86	18.99
3 x 10	4.98	-9.71	-25.47	-14.04	-26.63	-5.23
3 x 11	-8.97	-10.62	-23.44	-12.48	-12.65	4.69
3 x 12	5.68	0.35	-7.87	-19.85	-26.28	-11.64
4 x 5	-23.83	-33.39	-49.95	-47.90	-52.96	-43.62
4 x 6	-21.88	-36.51	-42.92	-7.96	-8.08	10.16
4 x 7	3.03	-9.51	-32.73	-19.20	-25.89	-11.18
4 x 8	-25.48	-30.23	-55.04	2.01	-14.09	2.97
4 x 9	30.43	21.38	-20.75	3.22	-17.62	-1.32
4 x 10	43.55	39.68	-16.98	-6.06	-17.22	-0.78
4 x 11	21.87	0.93	-13.53	-22.01	-24.91	-10.00
4 x 12	20.84	-2.56	-10.56	-22.57	-31.76	-18.21
5 x 6	8.06	-0.83	-10.84	19.01	7.58	28.69
5 x 7	3.09	2.51	-22.97	13.76	11.80	11.80
5 x 8	-26.09	-31.38	-48.44	19.08	10.03	10.03
5 x 9	-12.23	-18.01	-38.39	51.12	41.34	41.34
5 x 10	21.31	8.60	-18.93	18.21	14.96	14.96
5 x 11	7.39	0.77	-13.67	18.08	10.42	10.42
5 x 12	3.22	-6.16	-13.86	-8.13	-10.43	-10.43
6 x 7	-35.55	-41.13	-47.07	-41.56	-46.33	-46.33
6 x 8	18.15	1.41	-8.82	2.79	-13.39	-13.39
6 x 9	2.49	-11.54	-20.47	15.73	-1.43	-1.43
6 x 10	-2.71	-19.20	-27.35	-4.22	-15.55	-15.55
6 x 11	-5.80	-8.02	-17.31	-22.45	-25.29	-25.29
6 x 12	3.47	2.41	-5.99	-20.01	-29.47	-29.47
7 x 8	-15.49	21.12	-41.36	21.30	10.39	10.39
7 x 9	-10.40	-15.86	-37.45	19.37	9.85	9.85
7 x 10	-6.48	-15.86	-37.45	26.47	21.03	21.03
7 x 11	-32.60	-37.05	-46.08	0.88	-4.08	-4.08
7 x 12	13.83	3.59	-4.90	-13.34	-16.73	-16.73
8 x 9	34.76	33.88	-12.59	22.41	20.81	20.81
8 x 10	30.46	25.40	-19.19	19.65	13.51	13.51
8 x 11	3.70	-9.14	-22.16	18.56	3.52	3.52
8 x 12	14.31	-2.72	-10.70	17.58	11.54	11.54
9 x 10	-6.73	-10.91	-41.83	26.58	21.30	21.30
9 x 11	10.37	-2.75	-16.69	16.76	2.60	2.60
9 x 12	24.68	6.68	-2.07	35.82	30.36	30.36
10 x 11	-36.54	-46.25	-53.96	-2.00	-10.64	-10.64
10 x 12	28.50	5.85	-2.83	18.39	18.39	18.39
11 x 12	6.48	2.92	-5.51	-19.31	-26.42	-26.42
Promedio		-2.02			-6.44	

Continuación.....

Cruzas	Altura de planta			Altura de mazorca			Días a flor		
	H	HB	HU	H	HB	HU	H	HB	HU
1 x 2	27.34	12.92	7.40	27.93	7.20	-6.98	-4.48	-4.90	-10.42
1 x 3	-6.45	-15.53	-17.74	32.91	10.35	-2.02	3.01	1.95	-1.93
1 x 4	25.18	10.87	12.79	31.11	7.89	-2.02	-1.70	-2.00	-7.12
1 x 5	10.91	1.29	-3.94	212.64	-1.96	-7.53	-0.39	-1.85	-4.76
1 x 6	26.08	10.18	15.62	47.35	21.25	10.22	-3.63	-4.39	-8.54
1 x 7	7.39	-1.01	-8.00	14.91	-5.28	-14.33	2.79	0.57	-0.99
1 x 8	2.49	-6.88	-10.56	10.57	-10.33	-15.44	-4.36	-10.05	-3.81
1 x 9	16.04	5.98	0.50	10.05	-7.59	-19.48	-4.27	-6.20	-8.06
1 x 10	15.26	1.27	4.94	42.64	18.42	5.14	-0.44	-1.47	-5.23
1 x 11	28.80	13.00	17.51	23.64	-3.51	0.91	-10.00	-7.04	-6.64
1 x 12	8.62	-3.72	-2.33	0.68	-10.86	-32.16	-2.39	-2.92	-7.63
2 x 3	-0.54	-9.24	-13.68	-23.76	-24.63	-33.08	6.41	4.85	0.84
2 x 4	2.11	-1.20	0.50	-4.76	-6.88	-15.44	1.20	0.44	-4.80
2 x 5	6.24	2.78	4.56	9.38	5.51	-1.47	-1.04	-2.91	-5.79
2 x 6	6.87	6.66	1.44	-4.14	-6.27	-14.87	-1.19	-2.36	-6.64
2 x 7	-15.31	-19.27	-15.28	-17.21	-18.90	-26.65	6.19	3.44	1.83
2 x 8	3.21	.98	-2.99	-9.44	-13.06	-18.01	-2.11	-8.33	-1.98
2 x 9	-1.09	-1.29	-6.11	-38.88	-4.61	-16.36	1.47	-1.01	-2.97
2 x 10	1.23	-3.01	0.50	8.06	6.83	-5.14	2.38	0.88	-2.97
2 x 11	9.49	4.81	9.01	6.62	-2.46	2.02	2.18	-1.40	-0.99
2 x 12	-9.23	-12.11	-10.84	-28.66	-33.05	-41.90	-0.90	-1.93	-6.64
3 x 4	1.89	-0.27	1.44	-1.02	-2.22	-11.21	-1.33	-2.05	-5.79
3 x 5	0.68	-0.67	-3.28	12.00	9.25	2.02	-0.43	-0.87	-3.81
3 x 6	1.86	-1.80	3.05	7.88	6.68	-3.12	2.21	1.91	-1.98
3 x 7	-19.10	-21.06	23.13	-23.89	-24.59	-31.80	4.06	2.87	1.27
3 x 8	-2.93	-3.59	-6.11	-10.84	-13.45	-18.38	-4.45	-9.25	-2.97
3 x 9	-3.93	-5.24	-7.72	-8.75	-9.31	-19.48	-5.24	-6.20	-8.06
3 x 10	8.74	5.47	9.29	29.81	29.81	15.25	2.35	2.35	-1.55
3 x 11	5.44	2.09	6.17	6.65	-1.40	3.12	1.15	1.15	-0.56
3 x 12	-12.84	-14.63	-13.39	-19.41	-25.25	-33.63	-0.88	-0.88	-5.23
4 x 5	-31.66	-34.01	-32.87	-24.55	-25.59	-30.51	11.06	11.06	6.50
4 x 6	-15.55	-16.84	-12.73	-4.45	-4.45	-13.23	5.97	5.97	0.42
4 x 7	-5.44	-9.57	-8.00	6.89	6.68	-3.12	5.85	5.85	2.26
4 x 8	-8.22	-10.78	-9.23	11.53	9.35	3.12	4.20	4.20	5.09
4 x 9	-0.57	-3.99	-2.33	5.04	3.23	-6.25	4.25	4.25	0.42
4 x 10	4.05	3.10	6.83	2.45	1.21	-8.08	3.11	3.11	-1.55
4 x 11	-9.37	-10.36	-6.77	6.59	-0.52	4.04	4.78	4.78	2.26
4 x 12	-5.02	-5.20	-3.56	-1.10	-9.10	17.46	3.64	3.64	-1.55
5 x 6	4.73	-0.36	4.56	6.98	5.51	1.47	-0.73	-1.45	-4.38
5 x 7	-4.02	-7.64	-9.89	-12.40	-13.77	-19.48	-2.17	-2.87	-4.38
5 x 8	-5.84	-6.49	-10.18	-18.43	-18.90	-23.52	-2.91	-7.40	-0.99
5 x 9	20.63	20.63	14.39	18.17	14.56	6.98	-2.75	-3.31	-5.23
5 x 10	4.48	0.00	3.62	1.91	-0.59	-7.16	2.48	2.04	-0.99
5 x 11	1.80	-2.72	1.16	0.00	-5.44	-1.10	-4.01	-5.63	-5.23
5 x 12	4.62	0.74	2.67	1.08	-8.56	-14.33	1.62	0.58	-2.48

Continuación.....

Cruzas	Altura de planta			Altura de mazorca			Días a flor		
	H	HB	HU	H	HB	HU	H	HB	HU
6 x 7	-34.60	-38.37	-35.33	-48.27	-48.38	-53.12	7.87	6.32	4.66
6 x 8	-2.53	-6.66	-2.05	-8.54	-10.33	-15.44	-1.77	-6.97	-0.52
6 x 9	-5.96	-10.54	-6.11	-16.49	-18.01	-25.55	-5.55	-6.78	-8.62
6 x 10	-7.52	-8.10	-3.56	-2.04	-3.23	-12.13	-0.29	-0.58	-4.38
6 x 11	-20.09	-20.45	-6.51	-17.51	-23.02	-19.48	3.31	-0.84	1.27
6 x 12	-20.89	-22.25	-18.40	-19.38	-25.91	-32.72	4.74	4.43	-0.14
7 x 8	-18.61	-19.98	-23.13	-24.30	-25.92	-30.14	4.13	0.00	6.93
7 x 9	1.30	0.29	-4.88	-7.02	-8.53	-17.27	1.29	1.00	-0.56
7 x 10	-2.50	-7.57	-4.22	2.66	1.21	-8.08	-4.06	-5.17	-6.64
7 x 11	1.82	-3.63	0.21	-1.50	-8.26	-4.04	0.99	0.00	0.42
7 x 12	-11.18	-15.38	-13.68	-19.20	-25.60	-32.72	4.16	2.44	0.84
8 x 9	11.00	10.23	5.89	-9.89	-13.06	-18.01	-11.18	-14.94	-9.05
8 x 10	12.97	8.85	12.79	13.65	10.33	4.04	-6.68	-11.37	-5.23
8 x 11	20.03	15.45	20.07	4.62	-0.52	4.04	-11.51	-13.62	-7.63
8 x 12	-4.21	-6.80	-5.45	-23.32	-30.79	-34.74	-7.56	-12.69	-6.64
9 x 10	-14.20	-17.88	-14.90	-8.33	-8.90	-19.11	1.02	0.00	-1.98
9 x 11	13.23	96.93	14.02	21.03	11.24	16.36	-3.63	-4.78	-4.38
9 x 12	-14.93	-17.86	-16.51	-11.46	-17.40	-27.57	-1.02	-2.45	-4.38
10 x 11	-11.11	-11.27	-7.72	-8.17	-15.11	-11.21	5.03	2.81	3.25
10 x 12	-5.90	-6.93	-3.56	-12.05	-18.42	-27.57	-0.74	-1.47	-5.23
11 x 12	-29.61	-30.63	-27.86	-43.64	-51.31	-49.08	2.67	0.00	0.42
Promedio		-4.91			-7.23			-1.71	

Pool 20. Vasal y Srinivasan (1991) enfatizan el desarrollo de poblaciones heteróticas que, de esta manera, se vuelven tolerantes a la endogamia y permiten obtener líneas vigorosas y productivas en el desarrollo de híbridos.

Para mazorcas por planta, la heterosis fluctuó entre -23.07 y 56.25%; para HB entre -25.92 y 50%, y para la HU entre -11.11 y 66.66%. La crusa 3 x 6 presentó el valor más bajo en los tres tipos de heterosis y la crusa 1 x 4 el más alto en las tres categorías.

En número de hileras de grano por mazorca 2, 0 y 26 cruzas manifestaron los tres tipos de heterosis (H, HB y HU), respectivamente. La heterosis varió entre -34.11 (6 x 7) y 15.79% (8 x 12); en HB no se encontraron valores positivos y en HU los valores extremos correspondientes son: -27.78 (6 x 7) y 13.46% (3 x 12).

En el número de granos por hilera, la H, HB y HU se manifestó en forma positiva en 44, 32 y 2 cruzas, respectivamente. Los híbridos 2 x 4 y 4 x 10 mostraron los valores positivos más altos H y HB, mientras que los híbridos 1 x 12 y 1 x 11 en HU.

Para el peso de 1000 granos, la H, HB y HU manifestaron valores positivos en 34, 25 y 41 cruzas, respectivamente. Sobresalen los híbridos 5 x 9, 9 x 12 y 7 x 10 por sus elevados valores positivos en los tres tipos de heterosis.

Los valores promedios de heterobeltiosis para rendimiento, mazorcas por planta, hilera por mazorca, granos por hilera, peso de 1000 granos e índice de cosecha fueron: 1.49, -6.29, -14.42, -2.08, -6.44 y -1.44%, respectivamente. Un rango muy amplio de valores en cada característica indicaría la necesidad de evaluar numerosas combinaciones híbridas para seleccionar las superiores.

Las cruzas 6 x 7, 4 x 5 y 11 x 12 para altura de mazorca; 6 x 7, 11 x 12 y 2 x 9 para altura de planta, y 8 x 9 y 8 x 11 para días a flor, manifestaron altos valores de los tres tipos de heterosis en la dirección deseable, por lo que son útiles en programas de mejora genética bajo temporal. La heterobeltiosis promedio para altura de mazorca, altura de planta y días a flor es de -4.91, -7.23 y -1.71, respectivamente. Beck *et al.* (1990) encuentran valores de heterobeltiosis promedio de -1.4 y -1.8% para altura de planta y mazorca, y de -2.4% para días a flor; estos bajos niveles de respuesta heterótica coinciden con otras investigaciones (Barriga y Vencovsky, 1973; Lonnquist y Gardner, 1961 y Paterniani, 1977). En esta investigación el número de granos y peso de 1000 granos parecen contribuir a la heterobeltiosis en rendimiento. La diversidad genética entre las líneas pudo haber contribuido a los valores de heterosis, debido a que se originaron de una población proveniente de la recombinación de materiales genéticos muy diversos. Sin embargo, la causa más probable la constituye los valores elevados de aptitud combinatoria de los progenitores.

CONCLUSIONES

1. Existe amplia variabilidad entre tratamientos para las características evaluadas, excepto en rendimiento y mazorcas por planta.
2. Existe considerable variabilidad para la mayoría de las características estudiadas en los progenitores e híbridos.
3. El número de cruzas con valores positivos de heterosis, heterobeltiosis y heterosis útil fue de 52, 36 y 56 de un total de 66 cruzas, respectivamente.
4. Las cruzas 5 x 9 y 6 x 11 para rendimiento; 1 x 4 y 1 x 2 para mazorcas por planta; 4 x 10 y 8 x 9 para número de granos por hilera; 5 x 9 y 9 x 12 para peso de 1000 granos; 8 x 11 y 8 x 9 para días a flor; 11 x 12 y 6 x 7 para altura de mazorca y de planta, expresaron los mejores valores de heterobeltiosis bajo temporal.

LITERATURA CITADA

- Barriga, P.B. Y R. Vencovsky. 1973. Heterose da producao de graos e de outros caracteres agronomicos em cruzamentos intervarietais de milho. Cienc. Cul. 25:880-885.
- Beck, D.L., S.K. Vasal and J. Crossa. 1990. Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical early and intermediate maturity maize (*Zea mays L.*) germplasm. Maydica. 35:279-285.
- Cortez, H.M., A.C. Rodríguez, M.G. Gutiérrez, J.I. Durán, R. G. Girón y M.G. Oyervides. 1981. Evaluation of broad base improvement populations of maize (*Zea mays L.*) I. Cumulative gene effects and heterosis. UAAAN. Res. Pub. p. 1-43. Buenavista, Saltillo, Coahuila.
- Elston, R.C. 1963. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. Biometrics. 19:85-97.
- Falconer, D.S. 1983. Introducción a la Genética Cuantitativa. Traducido al español por F.M. Sánchez. Ed. Continental S.A. de C.V. México. p. 264-272.
- Fischer, K.S., E.C. Johnson and G.O. Edmeades. 1983. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. CIMMYT. El Batán. México. 20 p.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. Aust. J. Biol. Sci. 9:463-493.
- Johnson, E.C. and K.S. Fischer. 1981. Patrones de heterosis en poblaciones de maíz de CIMMYT. Memorial Reunión Anual de PCCMCA 27: M10/1-32.
- Lonnquist, J.H., C.O. Gardner. 1961. Heterosis in intervarietal crosses in maize and its implications in breeding procedures. Crop. Sci. 1:179-183.
- Paterniani, E. 1977. Avaliacao de cruzamentos semidentados de milho (*Zea mays L.*). Rel. Cient. Inst. Genet. (ESALQ-USP) 11:101- 107.
- Vasal, S.K. and G. Srinivasan. 1991. Breeding strategies to meet changing trends in hybrid maize development. Golden Jubilee Symposium of the Indian Society of Genetics and Plant Breeding. Feb. 1991. New Delhi, INDIA. p. 28.