

# Heterosis en híbridos de maíz producidos de cruzamientos entre progenitores de Valles Altos x Tropicales

Rodolfo Gaytán Bautista<sup>1</sup>  
Netzahualcoyotl Mayek Pérez<sup>2</sup>

## RESUMEN

El desarrollo de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) con altos rendimientos de grano requiere identificar progenitores que produzcan los mejores híbridos potenciales. En este trabajo, se estimó la heterosis y la heterobeltiosis en el rendimiento de grano y peso de 100 semillas; altura de mazorca y de planta; producción de biomasa seca y días a floración masculina y a madurez fisiológica en siete hembras de Valles Altos, doce machos Tropicales, 15 cruzamientos simples y dos testigos que se cultivaron en Pabellón de Arteaga, México, en el año 2000. El rendimiento de grano fue de 0.6 a 3.8 en hembras, de 1.1 a 4.9 en machos y de 4.2 a 8.9 t ha<sup>-1</sup> en cruza. La heterosis para el rendimiento de grano en las cruza fue de 50.7 a 618.6% y la heterobeltiosis de 32.9 a 476.9%. La heterosis se asoció negativamente con la media del rendimiento de grano de los progenitores, debido probablemente a que el germoplasma ha alcanzado su límite de rendimiento.

## ABSTRACT

Develop of maize (*Zea mays* L.) hybrids with high grain yields need the identification of those parents

**Palabras clave:** *Zea mays* L., heterobeltiosis, rendimiento de grano, vigor híbrido.

**Key words:** *Zea mays* L., heterobeltiosis, grain yield, hybrid vigor.

Recibido: 29 de septiembre de 2009, aceptado: 25 de enero de 2010

<sup>1</sup> Campo Experimental Pabellón, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

<sup>2</sup> Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, nmayek@ipn.mx

that produce the best potential hybrids. In this work, heterosis and heterobeltiosis for grain yield and weight of 100 seeds; ear and plant height; dry biomass production; and days to male flowering and to physiological maturity were estimated in seven females from High Valleys, twelve Tropical males, fifteen crosses and two controls growing in Pabellón de Arteaga, México, during 2000. Grain yield was from 0.6 to 3.8 for females, from 1.1 to 4.9 for males, and from 4.2 to 8.9 t ha<sup>-1</sup> for crosses. Heterosis for grain yield in crosses were from 50.7 to 618.7 %, and heterobeltiosis was 32.9 to 476.94%. Heterosis was negatively associated with grain yield mean of parents, probably due the germplasm has reached its yield threshold.

## INTRODUCCIÓN

La heterosis, fenómeno que ocurre cuando el híbrido supera a sus progenitores en características fenológicas de crecimiento y rendimiento, resulta de la interacción de varios factores independientes aportados por los progenitores que participan en la formación de dicho híbrido. El mejoramiento genético de plantas alógamas como el maíz (*Zea mays* L.) enfatiza la síntesis de híbridos donde se capitaliza al máximo la heterosis (Ramírez *et al.*, 2007). Las acciones genéticas aditivas, de dominancia, sobredominancia, epistasis; así como las interacciones genético-ambientales, contribuyen a la existencia de heterosis, que a su vez se basa en el cruzamiento de germoplasma con acervos genéticos y orígenes geográficos distintos (De la Cruz *et al.*, 2003b; Ramírez *et al.*, 2007). Actualmente existe poca información sobre la heterosis producida al cruzar germoplasma de maíz de origen templado (altitud > 2000 msnm) x germoplasma tropical (< 1000 msnm). Se ha reportado heterosis

de 17.2% para rendimiento de grano en cruza entre maíces de zonas templadas, sub-tropicales y tropicales (Malik *et al.*, 2004).

En este estudio se estimó la heterosis y la heterobeltiosis para características el rendimiento de grano, crecimiento y fenología de cruzamientos de maíz de los Valles Altos x Tropicales de México e identificar las mejores combinaciones para el potencial desarrollo de híbridos comerciales de maíz en Aguascalientes, México.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Como se observa en el **Cuadro 1**, el estudio incluyó siete líneas hembra originarias de Valles Altos, 12 líneas macho con origen tropical del norte de Veracruz, México, 15 cruza simples formadas con dichas líneas como progenitoras en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en El Batán, México y, como testigos, el híbrido doble AN-444 y triple AN-447 generados por el Instituto Mexicano del Maíz de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) de Saltillo, México (Vega-Sánchez *et al.*, 2004). Los progenitores se habían avanzado hasta la generación S<sub>7</sub> antes del cruzamiento. El experimento se estableció durante el ciclo agrícola Primavera-Verano de 2000 en el Campo Experimental Pabellón del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México (22° 09' LN, 102° 17' LO, 1912 msnm) en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones donde la unidad experimental fue un surco de 5 m de largo y 0.80 m de ancho, con una planta cada 0.25 m. El experimento se condujo en condiciones de riego y se fertilizó con la fórmula 160-60-00 de NPK. A los 35 días después de la siembra se aplicó la mitad del N y todo el P; a los 50 días se aplicó el resto del N. En cada unidad experimental se registraron los días a inicio de floración masculina

y los días a madurez fisiológica. Al inicio de la madurez fisiológica se midió la altura de planta y de mazorca. A la cosecha se determinó el rendimiento de grano con 14 % de humedad, el rendimiento de biomasa seca y el peso de 100 semillas. Con dicha información se estimó la heterosis (**H**) con relación a la media de los padres y la heterobeltiosis (**HB**) respecto al progenitor superior (hembra o macho) en las 15 cruza simples, ambas expresadas en porcentaje, con base en las ecuaciones 1 y 2 (De la Cruz *et al.*, 2003a, b; Morales *et al.*, 2005).

$$H = \frac{F_1 - \frac{P_1 + P_2}{2}}{\frac{P_1 + P_2}{2}} \times 100 \quad (1)$$

$$HB = \frac{F_1 - P_s}{P_s} \times 100 \quad (2)$$

donde **H** = Heterosis; **HB** = Heterobeltiosis; **F<sub>1</sub>** = Comportamiento del híbrido o cruza de ambos progenitores; **P<sub>1</sub>** = Comportamiento del progenitor hembra; **P<sub>2</sub>** = Comportamiento del progenitor macho; **P<sub>s</sub>** = Comportamiento del progenitor superior. Las variables medidas se sometieron al análisis de varianza (ANVA) y, en los casos en

**Cuadro 1.** Características agronómicas de progenitores de maíz de Valles Altos y Tropicales

Progenitores	Genealogía	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )		Altura (cm)		Peso de 100 semillas (g)	Días a	
		Grano	Materia seca	Mazorca	Planta		Floración masculina	Madurez fisiológica
<b>Hembras (Valles Altos)</b>								
P <sub>7</sub>	BA89-2302-7	3769	5090	70	174	27	89	122
P <sub>18</sub>	BA89-2340-97	2727	5582	43	176	31	79	117
P <sub>15</sub>	BA88-2304-75-1	2559	4909	78	175	24	79	115
P <sub>8</sub>	BA89-2340-56	1924	5418	61	173	26	80	119
P <sub>10</sub>	BA89-168	1367	3814	66	174	27	80	117
P <sub>2</sub>	BA89-2301-92	1334	2469	50	165	24	79	120
P <sub>4</sub>	BA89-268	662	2103	45	173	20	87	119
<b>Promedio</b>		2049	4198	59	173	26	82	118
<b>Machos (subtropical)</b>								
P <sub>69</sub>	BA89-8	4927	5781	65	178	35	85	124
P <sub>48</sub>	2337-40	4790	5996	65	183	29	90	122
P <sub>40</sub>	2337-4	4037	5394	70	181	29	87	117
P <sub>34</sub>	2337-14	4031	5308	71	170	33	89	117
P <sub>44</sub>	2337-2342-24	3321	4603	42	167	27	88	122
P <sub>49</sub>	BA89-2357-11	3145	5225	48	176	20	80	118
P <sub>35</sub>	2337-19	3032	4780	51	165	26	89	115
P <sub>47</sub>	2337-37	2251	5995	56	180	32	91	120
P <sub>46</sub>	2337-35	1621	5485	41	177	26	82	114
P <sub>42</sub>	2337-49	1571	4612	44	172	20	88	117
P <sub>45</sub>	2337-32	1372	4594	44	175	23	89	113
P <sub>53</sub>	BA89-22	1093	4971	39	183	27	79	100
<b>Promedio</b>		2933	5229	53	176	27	86	117

que se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, los promedios se compararon con la Diferencia Mínima Significativa ( $p \leq 0.05$ ). Luego, se realizó un análisis de regresión (Steel y Torrie, 1980) entre el rendimiento de las cruzas ( $Y_h$ ) vs. las diferencias absolutas de los progenitores ( $dp$ ), la media de los progenitores ( $mp$ ) y la heterosis ( $h = Y_h - mp$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza (ANVA), se detectaron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre materiales genéticos para todas las características estudiadas. Las características con mayor variación fueron producción de biomasa seca y rendimiento de grano y menor en características fenológicas (datos no incluidos); lo anterior se debe probablemente a que los progenitores presentaban diferencias en la acumulación de biomasa seca. En otra ocasión ya se habían reportado diferencias significativas en fenología y rendimiento en híbridos de maíz provenientes de poblaciones de clima templado, tropical y sub-tropical (Malik *et al.*, 2004). Las hembras presentaron rendimientos de grano y biomasa seca menores a los de los machos, aunque en el resto de características medidas no se apreciaron diferencias sensibles entre progenitores (**Cuadro 1**). Veintiocho cruzas superaron el rendimiento de grano de los testigos aunque ninguna los superó en producción de biomasa seca. Con excepción de  $P_2 \times P_{52}$ , las cruzas mostraron menor altura de mazorca y de planta y mayor precocidad que los testigos (**Cuadro 2**). Para rendimiento de grano, la **H** promedio fue 177.9% y para **HB** 124.8%. Aunque la hembra  $P_4$  y el macho  $P_{53}$  mostraron los menores rendimientos de grano, su cruce ( $P_4 \times P_{53}$ ) mostró la mayor respuesta heterótica (618%); en cambio  $P_7$  y  $P_{60}$  presentaron el mayor rendimiento de grano, pero su cruce ( $P_7 \times P_{60}$ ) el menor efecto

heterótico (50.7%) (Cuadro 3). La **H** promedio del rendimiento de grano en este trabajo fue similar a la reportada por un estudio (De la Cruz *et al.*, 2003b) y superior a otro (Malik *et al.*, 2004). Esta variación heterótica se debe al origen genético contrastante de los progenitores. Los promedios de **H** y **HB** para producción de biomasa seca fueron 191.8 y 128.1%, respectivamente. Los mayores valores de **H** se encontraron en las cruces  $P_2 \times P_{49}$  (543%) y  $P_4 \times P_{53}$  (537.2 %). El peso de 100 semillas mostró bajos efectos de **H** y **HB**, la cruce  $P_{18} \times P_{42}$  obtuvo el mayor porcentaje de **H**. Los días a floración masculina y a madurez fisiológica se redujeron con la hibridación, lo que coincide con un trabajo (Malik *et al.*, 2004) y puede aprovecharse en la formación de híbridos precoces (De la Cruz *et al.*, 2003a). La heterosis fue positiva en altura de la mazorca y de planta. Las cruces  $P_{18} \times P_{44}$  y  $P_{15} \times P_{35}$  presentaron el mayor efecto heterótico en la altura de mazorca (104.7%) y planta (42.4%), respectivamente (**Cuadro 3**). Los coeficientes de regresión entre el rendimiento de grano de las cruces vs. la diferencia ( $dp$ ) y la media ( $mp$ ) de los progenitores no fue significativa pero con **H** la correlación sí lo fue ( $r = 0.81^{**}$ ), lo que indica que el rendimiento de las cruces aumenta al incrementarse **H** (datos no incluidos). En contraste, **H** se relacionó inversamente con  $mp$ , lo que indica que **H** disminuye al aumentar el rendimiento de grano de los progenitores. La relación de **H** con  $mp$  se explica con el modelo de regresión lineal:

$$H = -0.984(mp) + 6.646 \quad (R^2 = 0.51)$$

La disminución en el rendimiento de grano aquí observada se debe a que el germoplasma ha llegado al límite de su rendimiento, de modo que es necesario adicionar nuevos genes favorables contrastantes entre progenitores que, al conjuntarse en la cruce, promuevan la heterosis en la progenie.



Al incrementarse la heterosis aumenta el rendimiento de las cruces.

**Cuadro 2.** Promedios de características agronómicas en cruzas de maíces

Cruzas	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )		Altura (cm)		Peso de 100 semillas (g)	Días	
	Grano	Materia seca	Mazorca	Planta		Floración masculina	Madurez fisiológica
P <sub>15</sub> xP <sub>35</sub> †	8876	10119	91	226	35	79	118
P <sub>7</sub> xP <sub>54</sub>	8648	12744	102	213	31	81	125
P <sub>4</sub> xP <sub>61</sub>	8561	10409	82	194	29	78	123
P <sub>4</sub> xP <sub>55</sub>	6693	8313	79	194	32	79	123
P <sub>4</sub> xP <sub>34</sub> †	7927	8586	80	188	33	79	117
P <sub>7</sub> xP <sub>61</sub>	7747	11171	83	198	33	80	117
P <sub>10</sub> xP <sub>55</sub>	7641	13616	101	203	30	84	127
P <sub>8</sub> xP <sub>50</sub>	7624	13785	93	205	38	79	121
P <sub>7</sub> xP <sub>56</sub>	7612	12337	97	202	33	82	120
P <sub>8</sub> xP <sub>52</sub>	7531	10456	95	198	34	78	120
P <sub>7</sub> xP <sub>52</sub>	7524	11710	97	201	31	80	124
P <sub>18</sub> xP <sub>47</sub> †	7494	8191	94	200	42	77	117
P <sub>18</sub> xP <sub>48</sub> †	7397	10368	100	204	38	77	116
P <sub>8</sub> xP <sub>51</sub>	7331	9180	72	194	35	79	120
P <sub>8</sub> xP <sub>34</sub> †	7057	13785	93	205	30	79	121
P <sub>4</sub> xP <sub>56</sub>	7007	8329	89	187	30	84	126
P <sub>2</sub> xP <sub>51</sub>	6934	11204	85	193	31	81	121
P <sub>10</sub> xP <sub>59</sub>	7844	12538	83	206	32	80	121
P <sub>2</sub> xP <sub>52</sub>	8434	17809	87	214	34	83	126
P <sub>18</sub> xP <sub>38</sub>	6898	10078	74	203	37	78	124
P <sub>7</sub> xP <sub>60</sub> †	6553	11175	98	202	28	80	120
P <sub>2</sub> xP <sub>49</sub> †	6499	11874	84	212	31	81	121
P <sub>10</sub> xP <sub>59</sub>	6457	10740	91	205	27	79	117
P <sub>10</sub> xP <sub>56</sub>	6416	7739	81	173	28	81	124
P <sub>4</sub> xP <sub>53</sub> †	6306	8264	81	177	30	81	119
P <sub>10</sub> xP <sub>51</sub>	6156	9341	92	180	33	79	120
P <sub>8</sub> xP <sub>61</sub>	6102	8927	86	183	33	78	122
P <sub>10</sub> xP <sub>52</sub>	6071	8807	92	179	30	80	117
P <sub>18</sub> xP <sub>42</sub> †	6050	10587	79	200	39	78	120
P <sub>18</sub> xP <sub>44</sub> †	6047	8707	87	188	41	76	114
P <sub>8</sub> xP <sub>59</sub>	6045	9676	94	195	30	77	122
P <sub>10</sub> xP <sub>50</sub>	5951	7631	81	174	28	79	120
P <sub>15</sub> xP <sub>44</sub> †	5745	7707	80	184	30	79	115
P <sub>4</sub> xP <sub>52</sub>	5371	9012	96	192	33	80	118
P <sub>15</sub> xP <sub>40</sub> †	5363	6390	79	176	34	79	115
P <sub>15</sub> xP <sub>38</sub>	4872	7312	76	181	30	76	116
P <sub>2</sub> xP <sub>56</sub>	4488	11294	85	191	30	78	118
P <sub>15</sub> xP <sub>45</sub> †	4323	6000	78	177	29	77	116
P <sub>18</sub> xP <sub>35</sub> †	7860	10116	91	195	35	79	118
P <sub>18</sub> xP <sub>45</sub> †	4193	6482	86	189	36	76	115
AN-447 (t)	6559	20688	109	232	37	92	130
AN-444 (t)	5627	13918	107	222	36	86	125
Promedio	6735	10378	91	196	33	80	120
D M S (p=0.05)	2.5	4.8	20.8	25.1	7.1	5.2	7.8

†= Cruzamientos en que se determinó heterosis y heterobeltiosis. t = Testigo.

**Cuadro 3.** Heterosis y heterobeltiosis para características agronómicas en cruzas de maíz

Cruzas	Rendimiento de grano		Materia seca		Peso de 100 semillas		Días a				Altura			
							Floración masculina		Madurez fisiológica		Mazorca		Planta	
	H <sup>†</sup>	HB	H	HB	H	HB	H	HB	H	HB	H	HB	H	HB
P <sub>2</sub> x P <sub>49</sub>	190.2	106.7	542.9	380.9	40.9	29.2	1.9	1.3	1.7	0.8	71.4	68.0	24.3	20.5
P <sub>4</sub> x P <sub>34</sub>	237.8	96.7	131.7	61.8	24.5	0.0	-10.2	-11.2	-0.9	-1.7	37.9	12.7	9.6	8.7
x P <sub>53</sub>	618.6	476.9	537.2	293.0	27.7	11.1	-2.4	-6.9	8.7	0.0	92.9	80.0	-0.6	-3.3
P <sub>7</sub> x P <sub>60</sub>	50.7	33.0	184.0	119.6	-9.7	-20.0	-8.1	-10.1	-2.4	-3.2	45.2	40.0	14.8	13.5
P <sub>8</sub> x P <sub>34</sub>	137.0	75.1	170.4	154.4	1.7	-9.1	-6.5	-11.2	2.5	1.7	40.9	31.0	19.5	18.5
P <sub>15</sub> x P <sub>35</sub>	217.5	192.7	34.8	33.0	40.0	34.6	-6.0	-11.2	2.6	2.6	41.1	16.7	42.4	38.3
x P <sub>40</sub>	62.6	32.9	53.9	30.2	28.3	17.2	-4.8	-9.2	-0.9	-1.7	6.8	1.3	-1.1	-2.8
x P <sub>44</sub>	95.4	73.0	85.4	57.0	17.7	11.1	-5.4	-10.2	-3.0	-5.7	33.3	2.6	7.6	5.1
x P <sub>45</sub>	119.9	68.9	90.4	22.2	23.4	20.8	-8.3	-13.5	1.8	0.9	27.9	0.0	1.1	1.1
P <sub>18</sub> x P <sub>35</sub>	172.9	159.2	63.4	25.9	22.8	12.9	-6.0	-11.2	1.7	0.8	93.6	78.4	14.4	10.8
x P <sub>42</sub>	181.5	121.9	221.9	117.8	52.9	25.8	-6.6	-11.4	1.3	0.0	81.6	79.5	14.9	13.6
x P <sub>44</sub>	99.9	82.1	101.1	76.9	41.4	32.3	-9.0	-13.6	-4.6	-6.6	104.7	102.3	9.6	6.8
x P <sub>45</sub>	104.6	53.8	226.1	151.1	33.3	16.1	-9.5	-14.6	0.0	-1.7	97.70	95.5	7.7	7.4
x P <sub>47</sub>	201.1	174.8	248.8	217.2	33.3	31.3	-9.4	-15.4	-1.3	-2.5	89.90	67.9	12.4	11.1
x P <sub>48</sub>	96.8	54.4	185.6	180.8	26.7	22.6	-8.9	-14.4	-2.9	-4.9	85.19	53.9	13.7	11.5
<b>Promedio</b>	177.9	124.8	191.8	128.1	27.0	15.7	-6.6	-10.9	0.3	-1.4	63.3	48.6	12.7	10.7

<sup>†</sup> H = Heterosis; HB = Heterobeltiosis. Valores expresados en porcentaje.

## CONCLUSIONES

La heterosis y heterobeltiosis fueron positivas para rendimiento de grano y de biomasa seca, peso de grano y altura de planta y de mazorca, pero negativa para días a floración y a madurez fisiológica. Los mayores valores correspondieron a la heterosis de los rendimientos de grano y biomasa seca. Al incrementarse la heterosis aumenta el rendimiento de las cruzas, pero la heterosis disminuye al incrementarse el rendimiento de grano de los progenitores.

Los resultados indican que posiblemente los progenitores utilizados han alcanzado el límite de su rendimiento y para promover la heterosis en la progenie es indispensable adicionar nuevos genes favorables contrastantes entre progenitores.

## REFERENCIAS

- DE LA CRUZ, L. E., *et al.*, Aptitud combinatoria y heterosis de líneas de maíz en la Comarca Lagunera. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 26, 279-284, 2003a.
- DE LA CRUZ, L. L., *et al.*, Heterosis y aptitud combinatoria entre híbridos comerciales y germoplasma exótico de maíz en Jalisco, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 26, 1-10, 2003b.
- MALIK, H. N., *et al.*, Estimates of heterosis among temperate, subtropical and tropical maize germplasm. *Asian Journal of Plant Science*, 3, 6-10, 2004.
- MORALES, R. M. M., *et al.*, Diversidad genética y heterosis entre híbridos comerciales de maíz de Jalisco liberados en la décadas de 1990. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 28, 115-126, 2005.
- RAMÍREZ, D. J. L., *et al.*, Propuesta para formar híbridos de maíz combinando patrones heteróticos. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 30, 453-461, 2007.
- STEEL, G. D. R. y J. H. TORRIE, *Principles and Procedures of Statistics: a Biometrical Approach*. 2. ed., United States: McGraw-Hill, 632 pp., 1980.
- VEGA SÁNCHEZ, M. C., *et al.*, Híbridos de maíz de planta media y baja con amplio rango de adaptación a partir de los híbridos AN-360, AN-461 y AN-462. *Resultados de Proyectos de Investigación 2004*, 253-258, 2004.
- Fotografía propiedad del autor.