

# HETEROSIS ENTRE DOS SINTETICOS DE MAIZ EXPRESADA SOBRE CARACTERES MORFOLOGICOS Y REPRODUCTIVOS

**A. ALVAREZ**

**G. GARAY**

**J. GIMENEZ**

Estación Experimental de Aula Dei (CSIC)  
Apdo. 202, 50080 Zaragoza

**J. I. RUIZ DE GALARRETA**

Centro de Investigación y Mejora Agraria  
Apdo. 467-01080 Vitoria

## RESUMEN

Se presentan los resultados de un estudio sobre heterosis entre dos poblaciones sintéticas de maíz, formadas por poblaciones españolas y americanas. Se ha empleado un diseño de bloques completos al azar, dos años y tres repeticiones, estudiando 16 caracteres de planta, mazorca y grano. En la F1 de ambas poblaciones destaca el rendimiento de grano con un 34 p. 100 de heterosis. Existe clara heterosis en alturas de mazorca y planta y nudo de inserción de mazorca, y en otros caracteres de mazorca, como longitud, número de granos por fila y masa de grano. Sin embargo se obtienen valores negativos en floración femenina, número de ramificaciones, y en número de filas. Destaca el alto valor negativo del encamado de planta (-10,3 p. 100) que es un resultado muy beneficioso desde el punto de vista agronómico.

Los coeficientes de variación muestran la gran variabilidad existente en las poblaciones, lo que posibilita la selección en determinados caracteres en un programa de mejora con estas poblaciones sintéticas.

**PALABRAS CLAVE:** Maíz  
Variedades sintéticas  
Heterosis  
Patrones heteróticos  
Variabilidad  
Mejora genética

## INTRODUCCION

La heterosis es un fenómeno biológico que se expresa como el incremento de productividad en la F1 comparado con sus parentales.

La manifestación de heterosis en maíz fue citada por Beal (1880) que incidía sobre los posibles beneficios de los cruces intervarietales. Sin embargo su aplicación fue desarrollada a partir de los estudios de Shull (1908), que versaron sobre

---

Recibido: 18-3-93

Aceptado para su publicación: 10-5-93

Redactor asociado: José M. Lasa

la heterosis del rendimiento y estimularon los trabajos sobre consanguinidad e hibridación.

La heterosis o vigor híbrido ha sido definida por diferentes autores (Mukherjee, Saha, 1982; Jinks, 1983). Paterniani (1973) y Burton (1980) indican que desde el punto de vista práctico el vigor híbrido es importante sólo cuando la descendencia es superior al mejor parental. Cuando una descendencia es superior a la media de los parentales, pero inferior al mejor parental, exhibe heterosis aunque por definición no tiene un valor práctico.

Eberhart *et al.*, (1967) proponen un sistema integrado de mejora por el que se desarrollan dos poblaciones que poseen una gran heterosis de partida cuando se cruzan entre sí, y con la suficiente variabilidad para permitir un rápido progreso genético mediante selección recurrente.

El objetivo último de la mayoría de programas de mejora es el desarrollo de nuevos cultivares híbridos, y la utilización de patrones heteróticos ha sido el factor clave. En el maíz, el patrón heterótico Reid Yellow Dent  $\times$  Lancaster Sure Crop ha sido el más extensamente usado en amplias zonas del planeta (Darrah, Zuber, 1986), aunque Sprague (1984) resalta la importancia de desarrollar patrones heteróticos alternativos que permitan ampliar la base genética y, por consiguiente, reducir la vulnerabilidad de los cultivos. En la actualidad ya se están utilizando otras alternativas como germoplasma tropical (Crossa *et al.*, 1990; Pollak *et al.*, 1991) o europeo (Misevic, 1989). Ordás (1991) destaca la idoneidad de la utilización de un patrón heterótico entre poblaciones del Norte y Sur de España.

Ante la importancia de la aplicación de heterosis en el programa de mejora genética en maíz, que se está llevando a cabo en la Estación Experimental de Aula Dei, se ha planteado el presente trabajo cuyos objetivos fueron: la evaluación de dos poblaciones sintéticas de amplia base genética y de su F1, en base a caracteres morfológicos y reproductivos de planta, mazorca y grano; y el estudio de la heterosis inicial entre ambos sintéticos con los que iniciar dicho programa de mejora.

## MATERIAL Y METODOS

### Material vegetal

Las variedades de maíz utilizadas en este estudio fueron dos poblaciones sintéticas de amplia base genética, EZS1CO y EZS2CO y su híbrido EZS1CO  $\times$  EZS2CO.

- **Sintético EZS1CO:** Está formado por cuatro poblaciones españolas descritas por Sánchez-Monge (1962), de endospermo de grano liso: Hembrilla, Hembrilla/Queixalet, Fino y Amarillo de Utrera.
- **Sintético EZS2CO:** Formado por cuatro poblaciones del Corn Belt norteamericano, de grano dentado y resistentes al taladro del maíz (*Ostrinia nubilalis* Hbn.): AS-3, BS1, BS3 y BS17

### Evaluación de las poblaciones:

- **Localización.** Los ensayos de evaluación tuvieron lugar durante 1989 y 1990 en la finca de la Estación Experimental de Aula Dei (CSIC) en Montañana (Zaragoza).

- **Manejo de los ensayos.** En los días previos a la siembra se realizó un abonado de fondo, a base de 600 kg/ha de complejo 12-24-8. El abonado de cobertera se distribuyó entre los 30 y 35 días después de la siembra, con dosis de 200 kg/ha de urea y 200 de nitrato amónico del 33,5 p. 100. Las siembras se realizaron el 9 de mayo de 1989 y el 30 de abril de 1990, con una sembradora de microparcelas autopropulsada. Ocho riegos por el sistema de inundación de parcela cubrieron todo el período de crecimiento de los ensayos.
- **Diseño experimental.** Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, dos años y tres repeticiones. La parcela elemental constaba de 2 líneas de 5 m y separación entre líneas de 75 cm y plantas a 20 cm entre sí. La densidad final fue de unas 60.000 plantas/ha. Respecto al tamaño de la muestra de plantas controladas que representan a cada población, se tomaron 15 por repetición, es decir, 90 plantas en el conjunto de los dos ensayos.
- **Caracteres evaluados.** Los 16 caracteres morfológicos y reproductivos estudiados en la evaluación se muestran en la Tabla 1. Estos caracteres se consideran adecuados en la caracterización de variedades de maíz y fueron medidos en cada parcela sobre plantas competitivas, tomadas al azar, y considerando sólo plantas individuales, flanqueadas y sanas.

### Análisis de los resultados

Para la caracterización descriptiva de las poblaciones y de su híbrido poblacional se ha procedido al cálculo de sus medias, para cada carácter. A continuación se procedió a combinar los dos experimentos en uno solo y analizar los datos conjuntamente. El análisis aplicado a los tres genotipos, y para cada uno de los 16 caracteres estudiados, pretende poner de manifiesto las diferencias significativas entre las poblaciones. El modelo de análisis utilizado es el expuesto por Steel, Torrie (1981).

- **Aspectos biométricos de la heterosis.** En términos estrictamente biométricos, se puede obtener una estima del grado de heterosis valorando la F1,

**TABLA 1**  
**CARACTERES UTILIZADOS EN LA EVALUACION**  
*Traits evaluated*

Planta		Mazorca y grano	
Floración femenina (días)	FF	Longitud de mazorca (cm)	LM
Altura (cm)	AP	Conicidad de mazorca (%)	CM
Altura de mazorca (cm)	AM	Número de filas	NF
N.º total de nudos	NN	Número de granos/fila	GF
Nudo de mazorca	NM	Longitud de grano (mm)	LG
Superficie de hoja (cm <sup>2</sup> )	SH	Anchura de grano (mm)	AG
N.º ramificaciones pendón	NR	Masa de grano (g)	PG
Encamado (%)	EN	Rendimiento (kg/ha)	RT

respecto de la media de los dos parentales (Robinson *et al.*, 1958). A partir de esta definición el grado de heterosis (H) se puede expresar como:

$$H = \frac{F1 - (P1 + P2)/2}{(P1 + P2)} \times 100$$

Sin embargo desde un punto de vista práctico, se ha considerado de mayor interés la comparación de la F1 frente al mejor parental (Motto, 1989). En nuestro trabajo se ha seguido este último criterio y se ha estimado la heterosis entre las poblaciones mediante la relación:

$$H = \frac{F1 - \text{mejor parental}}{\text{mejor parental}} \times 100$$

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Caracterización agronómica descriptiva

En la Tabla 2 se muestran los valores promedio de las dos poblaciones EZS1 y EZS2 y de su híbrido EZS1 × EZS2, para cada uno de los 16 caracteres estudiados.

La floración femenina presenta en el cruzamiento un valor comprendido entre los de ambas poblaciones, y de forma análoga la superficie de hoja y el número de ramificaciones del pendón.

**TABLA 2**  
**VALORES MEDIOS DE CARACTERES MORFOLOGICOS**  
**Y HETEROSIS**

*Mean values for morphological traits and heterosis*

Carácter	Genotipo			Heterosis (%)
	EZS1	EZS2	EZS1 × EZS2	
Floración femenina .....	77,1 c	83,3 a	81,2 b	-2,5
Altura de planta .....	150,4 c	167,1 b	179,2 a	7,2
N.º de nudos .....	13,0 c	14,3 b	14,8 a	3,5
Altura de mazorca .....	82,3 c	91,4 b	104,9 a	14,8
Nudo de mazorca .....	8,2 c	8,8 b	9,4 a	6,8
Superficie de hoja .....	480,0 b	520,0 a	510,0 a	-1,9
N.º de ramificaciones .....	32,2 a	21,4 c	29,7 b	-7,8
Encamado .....	48,4 a	44,2 b	43,4 b	-10,3
Longitud de mazorca .....	15,9 b	15,7 b	17,6 a	10,7
Conicidad de mazorca .....	10,1 a	6,3 c	7,2 b	-2,9
N.º de filas .....	12,3 c	15,7 a	14,1 b	-10,2
N.º de granos/fila .....	33,9 c	36,7 b	41,6 a	13,4
Longitud de grano .....	9,3 b	10,1 a	10,3 a	2,0
Anchura de grano .....	8,9 a	7,9 c	8,5 b	-4,5
Masa de grano .....	27,0 a	25,3 c	29,4 b	8,9
Rendimiento .....	5.152,0 b	4.945,0 c	6.903,0 a	34,0

Separación de medias por Waller-Duncan (0,01)

Sin embargo, las alturas de planta y de inserción de la mazorca presentan en el cruzamiento un valor superior.

El encamado es uno de los caracteres agronómicos importantes en la producción final, y su disminución es objetivo prioritario en cualquier programa de mejora; el valor en la F1 fue inferior a los que presentaron ambas poblaciones.

Con respecto a caracteres de mazorca, la longitud y el número de granos por fila presentaron valores de F1 superiores a los de las poblaciones.

El rendimiento de grano es el carácter económico más importante en el maíz. En la F1 presenta un valor muy superior a los valores de las dos poblaciones.

El análisis de la heterogeneidad medida a través de los coeficientes de variación, muestra la variabilidad genética contenida en las poblaciones (Tablas 3 y 4), y se pueden agrupar los caracteres en tres grupos:

- De variabilidad baja: floración femenina, número de nudos, nudo de inserción de la mazorca, número de filas y encamado.
- De variabilidad media: número de ramificaciones del pendón, longitud de mazorca, número de granos por fila, longitud, anchura y masa de grano, y rendimiento.
- De variabilidad media-alta: altura de planta y de mazorca, superficie de hoja y conicidad de la mazorca.

### Análisis combinado de varianzas

Del estudio de las Tablas 3 y 4 puede destacarse, en primer lugar, que las diferencias entre los genotipos resultan altamente significativas (0,01) para todos los caracteres, lo cual era esperado por el conocimiento previo del material y por su diferente origen. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores en trabajos similares (Alvarez, Lasa, 1987; Misevic, 1989).

Respecto al efecto ambiente (año), se presentan diferencias altamente significativas (0,01) en los caracteres floración femenina, número de nudos, nudo de la mazorca, número de granos/fila, longitud de grano, encamado y rendimiento.

En relación a las interacciones genotipo  $\times$  año, se presentan diferencias significativas (0,01) en algunos caracteres como encamado y rendimiento, que poseen un fuerte componente de dependencia ambiental.

### Evaluación de la heterosis

En la Tabla 2 se muestran los valores de heterosis, expresada en porcentaje sobre el parental superior.

La floración femenina presenta en la F1 un valor de heterosis de  $-2,5$  p. 100, que desde un punto de vista práctico puede ser positivo por el acortamiento del ciclo vegetativo. Este valor es similar al descrito por otros autores (Castro *et al.*, 1968; Beck *et al.*, 1991). Ordás (1991) obtiene un valor de  $-3,5$  p. 100 en el cruce de dos poblaciones sintéticas españolas.

La altura de planta presenta un valor de heterosis del  $7,2$  p. 100, algo superior al descrito por Misevic (1989) en cruces entre poblaciones yugoslavas y norteamericanas.

La altura de inserción de la mazorca presenta un valor del  $14,8$  p. 100 de heterosis.

**TABLA 3**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS CARACTERES DE PLANTA**  
*Analysis of variance of the plant traits*

Fte. variación	gl	Carácter									
		FF	AP	NN	AM	NM	SH	NR	EN		
Año .....	1	21,6**	5.882,5	7,6**	208,8	13,0**	132.639,9	1,0	1.624,5**		
Genotipo .....	2	4,6**	31.380,9**	2,3**	19.272,1**	2,1**	74.445,0**	41,4**	4,3**		
Bloque (año) .....	4	0,2**	1.637,0	0,2**	583,2	0,1*	29.793,4	0,7	23,4**		
Genotipo * Año .....	2	0,1	103,1	0,2**	170,6	0,1	32.507,0*	1,0	4,2**		
CV .....		2,6	15,6	5,9	21,8	7,8	18,9	14,7	7,1		

\*, \*\* significativo al nivel del 0,05 y 0,01, respectivamente

**TABLA 4**  
**ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS CARACTERES DE MAZORCA Y GRANO**  
*Analysis of variance of the ear and kernel traits*

Fte. variación	gl	Carácter									
		LM	CM	NF	GF	LG	AG	PG	RT		
Año .....	1	0,9*	0,1	0,1	14,7**	7,7**	3,1*	3,2*	560,5**		
Genotipo .....	2	2,6**	16,8**	6,6**	15,8**	1,0**	1,2**	6,1**	148,4**		
Bloque (año) .....	4	0,1	0,5	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	10,1**		
Genotipo * Año .....	2	0,2	0,6	0,2	0,5	0,3	0,1	0,4	8,4**		
CV .....		11,4	17,9	6,5	10,0	12,8	12,7	12,3	14,0		

\*, \*\* significativo al nivel del 0,05 y 0,01, respectivamente

El encamado de planta presenta una heterosis de  $-10,3$  p. 100 semejante a la citada por Hallauer (1984).

En caracteres de mazorca y grano cabe señalar los altos valores positivos de heterosis en longitud de mazorca, número de granos por fila y masa de grano. Estos son caracteres relacionados con el rendimiento y por ello la manifestación de heterosis positiva en los mismos favorecerá la producción final.

El rendimiento es el parámetro más estudiado en el maíz, por lo que la mayoría de los trabajos relativos a la heterosis se refieren al mismo. En este trabajo se obtuvieron valores promedio de heterosis del 34 p. 100 en la F1 de ambas poblaciones. Este notable incremento es causado por los efectos heteróticos debidos probablemente a la diversidad genética de las poblaciones parentales. Robinson *et al.*, (1958) citan un valor del 26 p. 100 en el cruce de dos poblaciones, Jarvis  $\times$  Indian Chief. Kauffman *et al.*, (1982) citan valores del 36 p. 100 en cruces de diferentes poblaciones del Corn Belt. Gerrish (1983) obtiene promedios del 25 p. 100 entre poblaciones caribeñas y del Corn Belt. Oyervides-García *et al.*, (1985) citan valores del 34,8 p. 100 en cruces entre poblaciones BSSS y Lancaster.

Es destacable el amplio resumen presentado por Hallauer, Miranda (1988) sobre trabajos referidos a cruzamientos varietales y su heterosis. Estos autores señalan que en 1.394 cruzamientos la heterosis media fue del 8,2 p. 100 sobre el mejor parental, aunque en los cruzamientos evaluados antes del año 1932 se obtenían valores muy pequeños y a veces negativos. Es a partir de 1955 en que los promedios de las evaluaciones es superior, como el valor del 43 p. 100 citado por Troyer, Hallauer (1968).

En trabajos recientes como el de Misevic (1989) se citan valores promedio del 35,7 p. 100 y concluye que la ventaja del patrón heterótico germoplasma europeo  $\times$  norteamericano radica en la alta frecuencia de alelos favorables para rendimiento de las poblaciones del Corn Belt y la buena adaptabilidad de las variedades europeas. Ordás (1991) obtiene un valor de heterosis del 18,3 p. 100 en cruces entre dos poblaciones sintéticas formadas por variedades españolas del norte y del sur.

En nuestro cruzamiento el alto valor de heterosis obtenido nos permite apuntar la idoneidad de las poblaciones estudiadas con una sustancial varianza genética y alto nivel de rendimiento, y que constituyen un buen patrón heterótico para seleccionar líneas puras adaptadas y de buena aptitud combinatoria para un programa de obtención de híbridos.

## AGRADECIMIENTOS

Los resultados presentados son una parte del Proyecto AGR89-0537 subvencionado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.

## SUMMARY

### Heterosis in crosses between two synthetics of corn based on morphologic and reproductive traits

The results of a study on heterosis between two synthetics of corn, one based on Spanish populations and the other on American populations, are showed. Evaluation was carried out for two years with an experimental design of complete randomized blocks and three replications, using 16 plant, ear and kernel traits. Yield stands up as the higher value in heterosis (34 p. 100), in the crossing between both synthetics. Moreover there is a clear heterosis in plant and ear height and ear node. High values in ear traits, as kernel number per row and kernel weight, are also obtained. However negative values in

silking, tassel branches and ear traits as number of rows are obtained. There is a high outstanding of the negative value of stalk lodging which, however, is very useful from agronomic perspective.

The coefficients of variation of the traits show the large variability present within populations, making possible a selection for them in a breeding program with these synthetic populations.

**KEY WORDS:** Maize  
Synthetics  
Heterosis  
Heterotic patterns  
Variability  
Breeding

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALVAREZ A., LASA J. M., 1987. Asturian populations of maize. I. Morphological-vegetative description and variability. *An. Aula Dei*, 18 (3/4): 177-186.
- BEAL W. J., 1880. *Indian Corn*. Rep. Michigan State Board Agric. 19: 279.
- BECK D. L., VASAL S. K., CROSSA J., 1991. Heterosis and Combining Ability among Subtropical and Temperate Intermediate-Maturity Maize Germplasm. *Crop Sci.* 31: 68-73.
- BURTON G. W., 1980. Utilization of hybrid vigor. In D. R. Wood (ed.) *Crop Breeding* pp. 89-107. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- CASTRO M., GARDNER C. O., LONQUIST J. H., 1968. Cumulative Gene Effects and the Nature of Heterosis in Maize Crosses Involving Genetically Diverse Races. *Crop Sci.* 8: 97-101.
- CROSSA J., TABA S., WELLHAUSEN E. J., 1990. Heterotic Patterns Among Mexican Races of Maize. *Crop Sci.* 30: 1182-1190.
- DARRAH L. L., ZUBER M. S., 1986. 1985 United States farm maize germplasm base and commercial breeding strategies. *Crop Sci.* 26: 1109-1113.
- EBERHART S. A., HARRISON M. N., OGADA F., 1967. A comprehensive breeding system. *Züchter* 37: 169-174.
- GERRISH E. E., 1983. Indications from a Diallel Study for Interracial Maize Hybridization in the Corn Belt. *Crop Sci.* 23: 1082-1084.
- HALLAUER A. R., 1984. Reciprocal Full-Sib Selection in Maize. *Crop Sci.* 24: 755-759.
- HALLAUER A. R., MIRANDA FILHO J. B., 1988. *Quantitative genetics in maize breeding*. 2nd ed. Iowa State Univ. Press, Ames.
- JINKS J. L., 1983. Biometrical genetics of heterosis. In R. Frankel (ed.) *Heterosis*. pp. 1-46. Springer Verlag, Berlin.
- KAUFFMAN K. D., CRM C. W., LINDSEY M. F., 1982. Exotic Germplasm in a corn breeding program. p. 24. Eighteenth Annu. III Corn Breeders School, Urbana, Ill.
- MISEVIC D., 1989. Heterotic patterns among U.S. Belt, Yugoslavian, and exotic maize populations. *Maydica* 34: 353-363.
- MOTTO M., 1989. Caratteri a variabilità continua. In *Genetica dei Cereali*. pp. 365-398. Ed. Agricole. Bologna.
- MUKHERJEE B. K., SAHA B. C., 1982. An analysis of heterosis and heterosis manifest for yield characteristics in intervarietal crosses of maize (*Zea mays* L.). *Egypt. J. Genet. Cytol.* 13: 41-52.
- ORDAS A., 1991. Heterosis in Crosses between American and Spanish Populations of Maize. *Crop Sci.* 31: 931-935.
- OYERVIDES-GARCIA M., HALLAUER A. R., CORTEZ-MENDOZA H., 1985. Evaluation of Improved Maize Populations in Mexico and the U.S. Corn Belt. *Crop Sci.* 25: 115-120.
- PATERNIANI E., 1973. Recent studies on heterosis. In R. Moav (ed.) *Agricultural genetics*. pp. 1-22. John Wiley-Sons, New York.
- POLLAK L. M., TORRES-CARDONA S., SOTOMAYOR-RIOS A., 1991. Evaluation of Heterotic Patterns among Caribbean and Tropical  $\times$  Temperate Maize Populations. *Crop Sci.* 31: 1480-1483.
- ROBINSON H. F., KHALIL A., COMSTOCK R. E., COCKERHAM C. C., 1958. Joint Interpretation of Heterosis and Genetic Variances in Two Open Pollinated Varieties of Corn and their cross. *Genetics* 43: 868-877.
- SANCHEZ-MONGE E., 1962. *Razas de maíz en España*. Publ. Ministerio de Agricultura, Monografía n.º 13, 179 p., Madrid.
- SHULL G. H., 1908. The composition of a field of maize. *Rep. Am. Breeders Assoc.* 4: 296-301.
- SPRAGUE G. F., 1984. Organization of breeding programs. *Illinois Corn Breeding School Proc.* 20: 20-30.
- STEEL R. G., TORRIE J. H., 1981. *Principles and procedures of statistics*. 2nd ed. McGraw-Hill Book Co., New York.
- TROYER A. F., HALLAUER A. R., 1968. Analysis of a diallel set of maize. *Crop Sci.* 8: 581-584.