



**MINISTERIO DE AGRICULTURA PESCA Y ALIMENTACION**  
**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRARIAS**

**CORRELACIONES GENOTIPICAS Y AMBIENTALES  
EN EL MAIZ**

F. CASAÑAS, LI. BOSCH, F. NUEZ

**INVESTIGACION AGRARIA**  
**Producción y Protección Vegetales**

# **CORRELACIONES GENOTÍPICAS Y AMBIENTALES EN EL MAÍZ**

**F. CASAÑAS  
LI. BOSCH**

Dpto. de Agronomía. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona  
Urgell, 187. 08036 Barcelona

**F. NUEZ**

Dpto. de Genética. E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera, 14. 46022 Valencia

## **RESUMEN**

Se estudian las correlaciones genotípicas y ambientales entre diversos caracteres del maíz empleando una variedad de polinización abierta, líneas puras, e híbridos obtenidos mediante su cruzamiento. A través de la comparación de los resultados experimentales se propone un modelo jerarquizado que explique las principales correlaciones genotípicas, basado en los efectos pleiotrópicos. En el nivel superior se hallarían los días a floración masculina y femenina, muy correlacionados entre sí. Este par de caracteres tendría un efecto pleiotrópico importante con otros dos pares de caracteres: nudos hasta la primera espiga/nudos totales y altura hasta la primera espiga/altura total. Más alejada de las floraciones aunque con correlación importante se halla la producción. El número de espigas está poco relacionado con los caracteres anteriores. Las correlaciones ambientales resultan similares a las genotípicas lo cual apoya la hipótesis de la pleiotropía, siendo particularmente interesante la correlación negativa entre los días a floración y la mayoría de los caracteres vegetativos, resultante del alargamiento del ciclo al estar sometida la planta a condiciones ambientales desfavorables.

**PALABRAS CLAVE:** Correlaciones genotípicas y ambientales, maíz, pleiotropía.

## **INTRODUCCION**

La estimación de las correlaciones genéticas entre caracteres de interés agronómico es importante porque contribuye a perfilar la organización genética de la planta indicándonos efectos pleiotrópicos y/o ligamiento, y porque permite estimar respuestas correlacionadas bajo selección. Este doble

---

Recibido: 7-10-87.

Aceptado para su publicación: 26-1-89.

Redactor asociado: J. I. Cubero.

interés, teórico y práctico, ha generado una considerable cantidad de datos procedentes de todo tipo de materiales.

En líneas puras los caracteres predominantemente asociados con la producción son la altura de la planta y primera espiga, el número de espigas y los días a floración (Jenkins, 1929; Jugenheimer, 1958; Musijko, Trifimov, 1965; El-Lakany, Russell, 1971), aunque Obilana y Hallauer (1974), hallan esta última correlación de signo negativo. Los resultados son similares cuando se emplean híbridos (Jenkins, 1929; Musijko, Trifimov, 1965; Patil et al., 1969; Singh, Chaudari, 1969; Vianna, Silva, 1978). También aquí existen citas de correlación negativa entre producción y días a floración (Lanza, Dionigi, 1974).

En variedades de polinización abierta y sintéticas la producción también parece genéticamente correlacionada con la altura de la planta y de la primera espiga, el número de espigas y los días a floración (Lindsey et al., 1962; Chi et al., 1969; Shehata, 1975; Utkhede, Shukla, 1976). En contraste con ellos diversos autores citados por Hallauer y Miranda (1981) hallan en la variedad BSSS, correlación negativa entre los días a floración y la producción.

Pretendemos comparar aquí resultados procedentes de ensayos propios sobre materiales diferentes con la abundante bibliografía existente, con objeto de establecer un modelo que explique satisfactoriamente tanto las correlaciones genotípicas entre determinados caracteres del maíz como el grado de variación conjunta que dichos caracteres presentan bajo la influencia del ambiente.

## **MATERIAL Y METODOS**

Se utilizaron tres diseños experimentales:

### **Dialelo de líneas puras**

Se trata de un dialelo completo con cruzamientos directos y recíprocos entre 7 líneas puras: F2, 40-4, W64A, P21, B14A, R2-5 y CI31A, que presentaban un gradiente de precocidad entre ellas. El ensayo de los cruzamientos y líneas se efectuó en la comarca del Vallés Occidental (Barcelona), en condiciones de regadío y con una densidad de plantación de 12.000 plantas/ha. El diseño empleado fue el de 3 bloques aleatorizados, con 6 plantas de cada genotipo por bloque. En cada planta se controlaron los siguientes caracteres:

Días a floración masculina (m).

Días a floración femenina (f).

Número de espigas con grano en el tallo principal (E).

Número de nudos hasta la primera espiga en el tallo principal (N).

Número total de nudos en el tallo principal (NT).  
 Altura en cm hasta la primera espiga del tallo principal (A).  
 Altura en cm del tallo principal (AT).  
 Número de hijuelos (F).  
 Número de espigas con grano en los hijuelos (EF).  
 Producción de mazorca seca en el tallo principal (P).  
 Producción de mazorca seca en los hijuelos (PF) y  
 Producción total de mazorca (PT).

En los híbridos se calcularon las correlaciones genotípicas entre todos los pares posibles de caracteres mientras que en las líneas no se consideraron hijuelos ya que la mayoría de ellas no los tenían. Puesto que el dialelo no reveló diferencias entre cruces directos y recíprocos se fusionaron los datos correspondientes. A pesar de que el empleo de las correlaciones entre valores fenotípicos medios como estimador de las correlaciones genotípicas tiene el inconveniente de arrastrar correlaciones ambientales, se ha utilizado esta estimación por considerar que puede dar una aproximación suficientemente buena (Nuez et al., 1984).

### **Cruzamientos entre líneas**

El ensayo estaba constituido por un numeroso grupo de líneas públicas a partir de las cuales se obtuvieron híbridos siguiendo un doble patrón de cruzamientos: liso-ciclo corto  $\times$  dentado-ciclo largo ( $C \times L$ ) y liso-ciclo medio  $\times$  dentado-ciclo medio ( $M_1 \times M_2$ ). Las líneas que se emplearon en cada grupo fueron:

C: F71, F59, F212, F83, F225, F215, CG14, F227, F1649, F226, F228, CG8, F131, F65, F7, F201, F2, F196, F192.

L: B59, B73, 27Q, 51HK89, NC232, F570, BHMD, Mo15, B65, B84, B37, NC230, B57, B52, Z1, Mo17, B49, CI31A.

$M_1$ : IUK-22, F564, F481, F576, F522, F485, F483, 00-91, F502, 4-RE, 00-79, F534, F575, IUK-5, 3-RE, F208, F120, 0-10, F431, F64.

$M_2$ : F549, F542, A632, F546, A639, M14, F497, C103, SD115, WF9, A641, B65, Oh43, IUK-07, A619, F113, W64A, F230.

Mediante estas 75 líneas puras y siguiendo los patrones de cruzamiento antes mencionados se obtuvieron 460 híbridos diferentes (194 de origen  $C \times L$ , y 266 de origen  $M_1 \times M_2$ ).

El ensayo de las líneas y de los híbridos se efectuó también en el Vallés Occidental, mediante un diseño de 20 bloques aleatorizados, con un representante de cada genotipo en cada bloque. La prueba realizada en regadío tenía una densidad de plantación de 15.600 plantas/ha. En cada planta se controlaron los siguientes caracteres: m, E, P, N, NT, A, AT y F.

Para la estimación de las correlaciones genotípicas se procedió de la misma manera que en el dialelo, es decir, considerando por separado líneas

e híbridos y empleando los valores fenotípicos medios de cada carácter y genotipo como estimador del valor genotípico. Para cada genotipo se calculó también la correlación ambiental entre todos los pares posibles de caracteres, empleando los valores fenotípicos de las 20 repeticiones.

### **Variedad de polinización abierta**

Se empleó una variedad de polinización abierta procedente de Asturias, de elevada precocidad y que no había estado sometida a selección consciente. Después de efectuar cruzamientos controlados se analizaron un total de 235 familias de hermanos completos agrupadas en 81 familias de medio hermanos, dispuestas en el campo mediante un diseño de 20 bloques, con un representante de cada familia en cada bloque. El ensayo se desarrolló en el mismo lugar y bajo las mismas condiciones que los dos anteriores y con una densidad de 41.600 plantas/ha. En cada planta se controlaron: m, N, NT, E y P.

El análisis de la varianza (covarianza) jerárquico permitió estimar las componentes de la variación (covariación) y asimilarlas a las varianzas (covarianzas) genéticas tanto aditivas como no aditivas (Falconer, 1960). Con las particiones de las varianzas y covarianzas en genotípicas (aditivas y dominantes) y fenotípicas se calcularon los correspondientes coeficientes de correlación. Los errores de las estimas se calcularon mediante los métodos propuestos por Tallis (1959) y Mode y Robinson (1959).

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Dialelo de líneas puras**

Para el conjunto de las líneas puras se obtuvieron elevadas correlaciones genotípicas entre las floraciones masculina y femenina y entre N, NT y A con ellas (Tabla 1, Figura 1a). Estos caracteres vegetativos presentan también buenas correlaciones entre sí. Correlaciones similares en las líneas puras son citadas por Jenkins (1929) y Jugenheimer (1958), excepto en el caso de la altura total que este último autor halla fuertemente correlacionada con la floración masculina.

En el grupo de los híbridos destaca el elevado valor de los coeficientes de correlación, todos ellos positivos y significativos (Tabla 2, Figura 1b). Se observa que existe una fuerte correlación entre los días a floración masculina y femenina (señalada ya en otros conjuntos de híbridos por Jenkins, 1929) y de todos los caracteres vegetativos y de producción de grano con respecto a ellas, excepto el número de espigas que parece un carácter menos relacionado con los días a floración. Correlaciones de los caracteres vegetativos y de producción de grano con las floraciones han sido indicadas ante-

TABLA 1

**VALORES DEL COEFICIENTE DE CORRELACION GENOTIPICA ENTRE CARACTERES, EN LAS LINEAS DEL ENSAYO DIALELO (\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.025$ ; \*\*\*  $p \leq 0.01$ )**

*Value of the genotypic correlation coefficient between traits, in the inbreds of the diallel trial.  
(\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.025$ ; \*\*\*  $p \leq 0.01$ )*

		<b>m</b>	<b>f</b>	<b>E</b>	<b>P</b>	<b>N</b>	<b>NT</b>	<b>A</b>	<b>AT</b>
Días a floración masculina	(m)		0.99***	0.21	0.38	0.98***	0.89***	0.76*	0.25
Días a floración femenina	(f)			0.33	0.41	0.96***	0.86**	0.79*	0.27
Número de espigas	(E)				0.06	0.10	-0.02	-0.01	-0.11
Producción	(P)					0.34	0.65	0.56	0.92***
Nudos hasta la primera espiga	(N)						0.88***	0.85**	0.25
Nudos totales	(NT)							0.77*	0.61
Altura hasta la primera espiga	(A)								0.48
Altura total	(AT)								

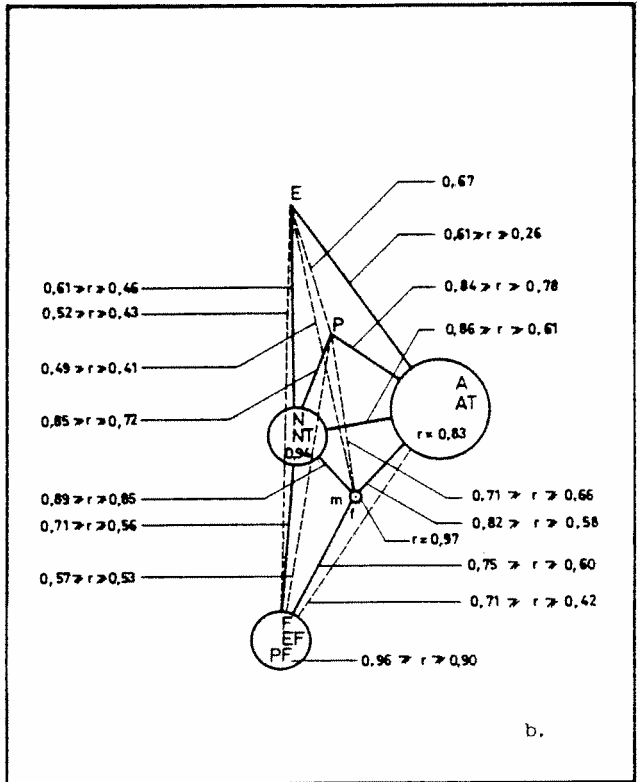
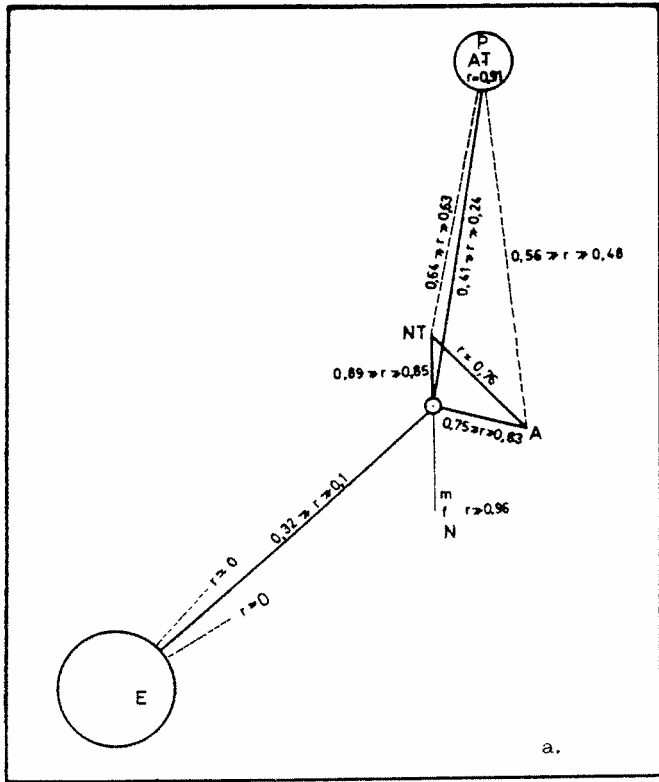


Fig. 1.—Dialelo. Correlaciones genotípicas en las líneas puras (a) e híbridos (b). Las distancias entre caracteres son inversamente proporcionales al coeficiente de correlación.

Diallel. Genotypic correlations in the inbreds (a) and hybrids (b). The distances between traits are inversely proportional to the correlation coefficient.

TABLA 2

**VALORES DEL COEFICIENTE DE CORRELACION GENOTIPICA ENTRE CARACTERES EN LOS HIBRIDOS DEL ENSAYO DIALELO. (\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.025$ ; \*\*\*  $p \leq 0.01$ )**

*Values of the genotypic correlation coefficient between traits, in the hybrids of diallel trial.  
(\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.025$ ; \*\*\*  $p \leq 0.01$ ).*

		m	f	E	P	N	NT	A	AT	F	EF	PF	PT
Días a floración masculina	(m)		0.98***	0.41*	0.66***	0.87***	0.87***	0.77***	0.58***	0.64***	0.67***	0.60***	0.71***
Días a floración femenina	(f)			0.50***	0.71***	0.89***	0.86***	0.82***	0.60***	0.74***	0.76***	0.71***	0.79***
Número espigas tallo principal	(E)				0.67***	0.62***	0.47***	0.62***	0.26	0.44**	0.47***	0.53***	0.70***
Producción tallo principal	(P)					0.77***	0.85***	0.85***	0.79***	0.57***	0.54***	0.57***	0.94***
Nudos hasta la primera espiga	(N)						0.91***	0.86***	0.62***	0.65***	0.71***	0.72***	0.94***
Nudos totales	(NT)							0.83***	0.78***	0.57***	0.60***	0.57***	0.83***
Altura hasta la primera espiga	(A)								0.83***	0.69***	0.71***	0.71***	0.89***
Altura total	(AT)									0.45**	0.44**	0.43**	0.72***
Número de hijuelos	(F)										0.96***	0.91***	0.78***
Espigas con grano	(EF)											0.95***	0.78***
Producción hijuelos	(PF)												0.82***
Producción total	(PT)												



riormente por Jenkins (1929), Chase y Nanda (1967), Hesketh et al. (1969), Cross y Zuber (1973) y Rood y Major (1981a y 1981b).

Los caracteres vegetativos de la planta presentan también importantes correlaciones entre sí (Tabla 2 y Figura 1b), destacando la relación entre N/NT (en concordancia con la hallada por Jenkins, 1929), A/AT (señalada también por Schuster et al., 1979) y P/PT, explicable por ser P una componente muy importante de PT.

Los caracteres de los hijuelos están muy bien correlacionados entre sí lo cual es explicable por tratarse de caracteres jerarquizados. Sin embargo, la elevada correlación que presentan con los caracteres del tallo principal contrasta con la correlación negativa hallada por Rood y Major (1981a) entre número de hijuelos y días a floración, en un dialelo de líneas muy precoces.

### **Cruzamientos entre líneas**

Se observan dos grupos de caracteres con elevada correlación genotípica entre sí y con los días a floración: N/NT y A/AT (Tabla 3, Figura 2a). La producción está menos relacionada con los días a floración. El número de espigas únicamente está correlacionado con la producción y el número de hijuelos no presenta correlaciones significativas con los demás caracteres.

Estos resultados son plenamente consistentes con los que hemos hallado en el dialelo, con la salvedad de que aquí la altura de la planta está genotípicamente más correlacionada con la altura de la primera espiga y menos con la producción. Esta segunda situación es más representativa debido al mayor número de líneas empleadas. Además se aproxima a la mayoría de referencias bibliográficas (Jugenheimer, 1958; Schuster et al., 1979).

Los resultados obtenidos en los híbridos son muy semejantes a los obtenidos en las líneas (Tabla 4, Figura 2b). Además, las correlaciones entre m, N/NT, A/AT, y P concuerdan plenamente con las estimadas en los híbridos del dialelo y con la bibliografía allí mencionada.

Respecto a las correlaciones ambientales no existen diferencias notables entre el grupo de las líneas y el de los híbridos (Tablas 5 y 6), lo cual indicaría que la naturaleza genética del material no modifica apreciablemente este tipo de correlación, por lo que puede decirse que no está afectada por la interacción genotipo  $\times$  ambiente. Se observa que las correlaciones más destacables son las mismas que las genotípicas, es decir, N/NT, A/AT, ambos grupos entre sí y con P (especialmente A/AT) y finalmente E/P. Todo ello puede interpretarse desde el punto de vista de procesos metabólicos que se modifican en proporciones similares al producirse cambios ambientales.

Otro aspecto interesante es la correlación negativa aunque débil, que presentan la mayoría de los caracteres con respecto a los días a floración masculina. Ello no parece difícil de justificar si pensamos que las situaciones

TABLA 3

COEFICIENTES DE CORRELACION GENOTIPICA EN EL CONJUNTO DE LAS 75 LINEAS (\*\*\*)  $p \leq 0.01$ *Genotypic correlation coefficients in the group of 75 inbreds. (\*\*\*)  $p \leq 0.01$* 

		<b>m</b>	<b>N</b>	<b>NT</b>	<b>A</b>	<b>AT</b>	<b>F</b>	<b>E</b>	<b>P</b>
Días a floración masculina	(m)		0.82***	0.85***	0.58***	0.53***	-0.01	-0.14	0.53***
Nudos hasta la primera espiga	(N)			0.91***	0.81***	0.63***	-0.02	0.06	0.53***
Nudos totales	(NT)				0.68***	0.68***	0.02	0.06	0.65***
Altura hasta la primera espiga	(A)					0.84***	0.02	0.13	0.53***
Altura total	(AT)						0.02	0.10	0.67***
Número de hijuelos	(F)							0.19	0.11
Número de espigas	(E)								0.3***
Producción	(P)								

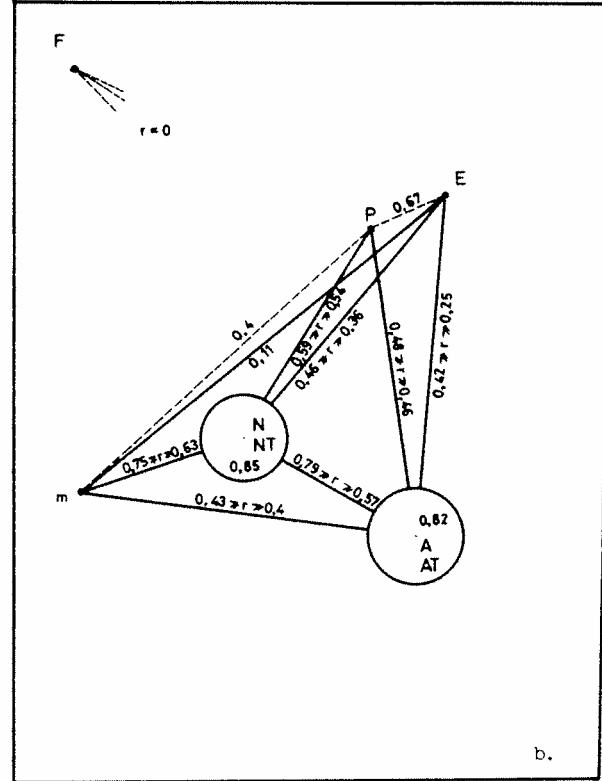
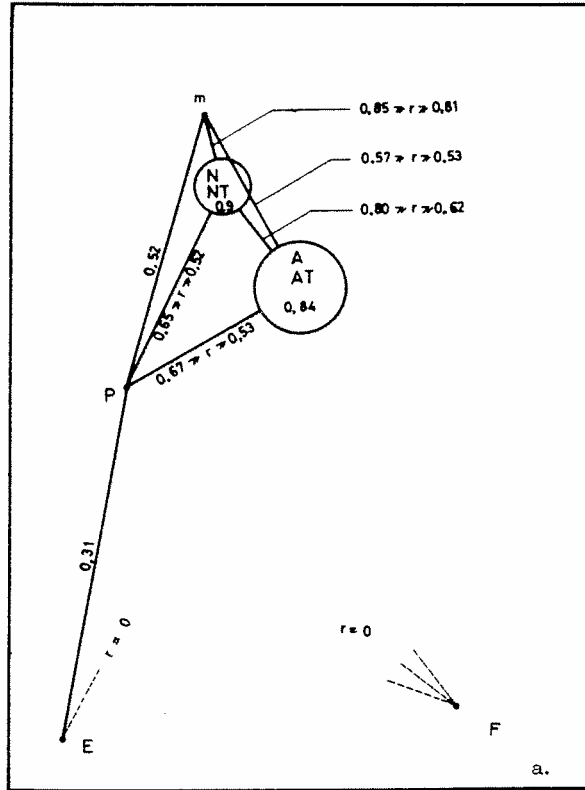


Fig. 2.—Cruzamiento entre líneas. Correlaciones genóticas en las líneas puras (a) e híbridos (b). Las distancias entre caracteres son inversamente proporcionales al coeficiente de correlación.

*Crosses among inbreds. Genotypic correlations in the inbreds (a) and hybrids (b). The distances between traits are inversely proportional to the correlation coefficient.*

TABLA 4

**COEFICIENTES DE CORRELACION GENOTIPICA EN EL CONJUNTO DE LOS 460 HIBRIDOS**  
 (\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*\*  $p \leq 0.01$ )

*Genotypic correlation coefficients in the group of 460 hybrids (\*  $p \leq 0.05$ ; \*\*\*  $p \leq 0.01$ )*

		<b>m</b>	<b>N</b>	<b>NT</b>	<b>A</b>	<b>AT</b>	<b>F</b>	<b>E</b>	<b>P</b>
Días a floración masculina	(m)		0.63***	0.76***	0.41***	0.44***	-0.05	0.12***	0.41***
Nudos hasta la primera espiga	(N)			0.85***	0.80***	0.57***	0.03	0.47***	0.54***
Nudos totales	(NT)				0.58***	0.58***	-0.01	0.37***	0.60***
Altura hasta la primera espiga	(A)					0.82***	0.10*	0.43***	0.47***
Altura total	(AT)						0.01	0.26***	0.49***
Número de hijuelos	(F)							0.01***	-0.02
Número de espigas	(E)								0.67***
Producción	(P)								

**TABLA 5**  
**CORRELACIONES AMBIENTALES EN EL CONJUNTO DE LAS 75 LINEAS PURAS**

*Environmental correlations in the group of 75 inbreds*

		<b>m</b>	<b>N</b>	<b>NT</b>	<b>A</b>	<b>AT</b>	<b>F</b>	<b>E</b>	<b>P</b>
Días a floración masculina	(m)	—0.01(.) 0,32(..)		—0.07 0.36	—0.06 0.34	—0.15 0.33	—0.08 0.23	—0.09 0.25	—0.12 0.35
Nudos hasta la primera espiga	(N)	+ 2 (!) — 3 (—)		0.75 0.17	0.56 0.19	0.22 0.31	0.01 0.31	0.14 0.28	0.16 0.29
Nudos totales	(NT)	+ 0 — 7	+61 — 0		0.42 0.22	0.33 0.33	0.00 0.26	0.15 0.84	0.19 0.33
Altura hasta la primera espiga	(A)	+ 4 — 5	+34 — 0	+24 — 0		0.61 0.23	0.08 0.24	0.22 0.29	0.39 0.33
Altura total	(AT)	+ 0 —11	+ 9 — 0	+19 — 1	+47 — 0		0.05 0.22	0.18 0.33	0.48 0.30
Número de hijuelos	(F)	+ 0 — 1	+ 2 — 2	+ 4 — 2	+ 4 — 0	+ 2 — 0		0.06 0.19	0.02 0.24
Número de espigas	(E)	+ 0 + 5	+ 3 — 0	+ 4 — 0	+11 — 0	+12 — 0	+ 2 — 0		0.37 0.36
Producción	(P)	+ 0 — 9	+ 8 — 0	+ 5 — 1	+25 — 0	+36 — 0	+ 3 — 1	+32 — 0	

- (.) Media de los valores del coeficiente de correlación ambiental calculado en cada una de las 75 líneas.  
 (..) Desviación típica del conjunto de coeficientes de correlación.  
 (!) Número de coeficientes significativos y positivos ( $p \leq 0.05$ ).  
 (—) Número de coeficientes significativos y negativos ( $p \leq 0.05$ ).

- (.) *Mean of the environmental correlation values calculated in each one of the 75 inbreds.*  
 (..) *Typical deviation of the whole of correlation coefficients.*  
 (!) *Number of coefficients significant and positives ( $p \leq 0.05$ ).*  
 (—) *Number of coefficients significant and negatives ( $p \leq 0.05$ ).*

**TABLA 6**

**CORRELACIONES AMBIENTALES EN EL CONJUNTO DE LAS 460 HÍBRIDOS**

*Environmental correlations in the group of 460 hybrids*

		<b>m</b>	<b>N</b>	<b>NT</b>	<b>A</b>	<b>AT</b>	<b>F</b>	<b>E</b>	<b>P</b>
Días a floración masculina	(m)		0.05(.) 0.29(..)	0.03 0.30	0.08 0.29	0.01 0.29	-0.02 0.26	-0.08 0.26	-0.13 0.28
Nudos hasta la primera espiga	(N)	+ 34 (!) - 9 (-)		0.71 0.16	0.62 0.19	0.21 0.27	0.08 0.26	0.20 0.25	0.21 0.26
Nudos totales	(NT)	+22 -25	+457 - 0		0.42 0.23	0.39 0.24	0.13 0.24	0.14 0.26	0.19 0.26
Altura hasta la primera espiga	(A)	+31 -11	+406 - 0	+211 - 1		0.54 0.21	0.10 0.27	0.28 0.26	0.37 0.27
Altura total	(AT)	+16 -18	+ 72 - 6	+186 - 0	+321 - 0		0.10 0.24	0.21 0.25	0.44 0.24
Número de hijuelos	(F)	+13 -11	+ 20 - 7	+ 27 - 5	+ 29 - 6	+ 24 - 1		-0.00 0.25	0.05 0.28
Número de espigas	(E)	+ 8 -25	+ 59 - 2	+ 43 - 3	+127 - 1	+ 66 - 2	+ 8 - 16		0.59 0.28
Producción	(P)	+ 7 -38	+ 66 - 5	+ 59 - 3	+186 - 3	+229 - 1	+ 27 - 12	+363 - 0	

(.) Media de los valores del coeficiente de correlación ambiental calculado en cada una de las 460 híbridos.

(..) Desviación típica del conjunto de coeficientes de correlación.

(!) Número de coeficientes significativos y positivos ( $p \leq 0.05$ ).

(-) Número de coeficientes significativos y negativos ( $p \leq 0.05$ ).

(.) *Mean of the environmental correlation values calculated in each one of the 460 hybrids.*

(..) *Typical deviation of the whole of correlation coefficients.*

(!) *Number of coefficients significant and positives ( $p \leq 0.05$ ).*

(-) *Number of coefficients significant and negatives ( $p \leq 0.05$ ).*

de estrés reducen la expresión de los caracteres vegetativos de la planta y simultáneamente retrasan la floración (Larson, Hanway, 1977).

### **Variedad de polinización abierta**

Los valores estimados de las correlaciones genotípicas indican relaciones similares a las de los experimentos anteriores, existiendo elevada correlación entre N/NT y días a floración por un lado y producción por otro (Tabla 7). La elevada correlación genotípica entre la altura de la planta y la altura de la primera espiga hallada en variedades de polinización abierta por Lindsey et al., (1962) y Obilina y Hallauer (1974), concuerda con la elevada correlación que en nuestro experimento se presenta entre N y NT. La escasa correlación detectada entre días a floración masculina y producción, que contrasta con los valores obtenidos en los dos experimentos anteriores, parece atribuible al tipo de material y ha sido señalada por los autores citados arriba.

Por lo que respecta a las correlaciones fenotípicas (Tabla 7) lo más destacable es que siguen la misma estructura de las correlaciones genotípicas pero con valores algo más bajos. Estos valores más bajos son especialmente acusados en las correlaciones que mantienen los diversos caracteres con los días a floración (la relación entre m y P llega a hacerse negativa). Esto es debido a la acción conjunta de los efectos genéticos y ambientales. Las correlaciones ambientales son de signo contrario a las genotípicas en algunos casos (Tabla 8).

## **CONCLUSIONES**

Se observa una gran coherencia entre los tres ensayos y también con los datos bibliográficos por lo que respecta a las correlaciones genotípicas. Ello da consistencia a un modelo que sintetice y explique estas correlaciones.

De hecho, desde un punto de vista genético parecen razonables las fuertes correlaciones detectadas entre m/f, N/NT y A/AT. Además la constancia de dichas correlaciones en todo tipo de materiales hace pensar en relaciones pleiotrópicas. Verosíblemente también pueden atribuirse a la pleiotropía las correlaciones que en las líneas e híbridos se presentan entre la mayoría de los caracteres de una parte y los días a floración de otra. En efecto, si suponemos que la floración determina el fin de los procesos de crecimiento de la parte vegetativa de la planta, es lógico pensar que exista un efecto limitante de la expresión de dichos caracteres en función del ciclo de floración. Cuanto más largo sea el ciclo mayor posibilidad de expresión del resto del genotipo. La mayor intensidad de esta correlación en líneas e híbridos en comparación con la variedad, puede ser debido a que se trata de materiales seleccionados. Ello hace más notoria la acción limitante del ciclo en la expresión del resto del genotipo, al que hay que suponer una acumulación de genes favorables para cada carácter. El hecho de que la producción no

TABLA 7

**CORRELACIONES GENOTÍPICAS Y FENOTÍPICAS EN LA VARIEDAD DE POLINIZACIÓN ABIERTA. LAS ESTIMACIONES DE LAS CORRELACIONES GENOTÍPICAS SE HALLAN POR ENCIMA DE LA DIAGONAL Y HACIA LA DERECHA. LAS ESTIMACIONES DE LAS CORRELACIONES FENOTÍPICAS SE HALLAN POR DEBAJO DE LA DIAGONAL Y HACIA LA IZQUIERDA**

*Genotypic and phenotypic correlations in the open pollinated variety.  
Estimates of genotypic correlations are above and right of the diagonal, and estimates of phenotypic correlations are below and left of the diagonal*

	<b>Días a floración masculina</b>	<b>Número de nudos hasta 1.<sup>a</sup> espiga</b>	<b>Número total de nudos</b>	<b>Producción</b>
Días a floración masculina		0.37 ± 0.11	0.46 ± 0.10	0.17 ± 0.12
Número de nudos hasta la 1. <sup>a</sup> espiga	0.11 ± 0.02		0.81 ± 0.04	0.30 ± 0.11
Número total de nudos	0.19 ± 0.02	0.71 ± 0.01		0.47 ± 0.09
Producción	-0.13 ± 0.02	0.23 ± 0.02	0.31 ± 0.02	



**TABLA 8****CORRELACIONES AMBIENTALES EN LA VARIEDAD DE POLINIZACION ABIERTA***Environmental correlations in the open pollinated variety*

	<b>Días a floración masculina</b>	<b>Número de nudos hasta 1.ª espiga</b>	<b>Número total de nudos</b>	<b>Producción</b>
Días a floración masculina		$-0.06 \pm 0.08$	$-0.07 \pm 0.11$	$-0.31 \pm 0.08$
Número de nudos hasta la 1.ª espiga			$0.64 \pm 0.05$	$0.18 \pm 0.07$
Número total de nudos				$0.16 \pm 0.09$
Producción				

esté tan correlacionada con los días a floración como los nudos y la altura se explicaría al tratarse de un carácter complejo en el que intervienen factores no tan claramente relacionados con los días a floración como los citados anteriormente. Lo mismo puede hacerse extensivo para el carácter número de espigas, que sí influye en la producción pero está poco influido por el ciclo del material desde el punto de vista fisiológico (Motto, Moll, 1983).

Los caracteres de los hijuelos están muy correlacionados entre sí porque están jerarquizados. En todo caso la relación entre el número de hijuelos y el resto de caracteres del tallo principal solo resulta consistente en los híbridos del dialelo, siendo difícil extraer conclusiones de él al tratarse de un ensayo con mucho parentesco entre genotipos y por ser éste un carácter muy influenciado por la densidad de plantación.

Respecto a las correlaciones genotípicas podríamos establecer una estructura funcional jerarquizada, con grupos de fuerte correlación interna. En el nivel superior se encontraría el par de caracteres día a floración masculina y femenina, en el segundo nivel se hallarían Nudos hasta la primera espiga/Nudos totales y Altura hasta la primera espiga/Altura total y en el tercer nivel se situaría la Producción. Este modelo ilustra las presumibles relaciones pleiotrópicas que estos caracteres guardan entre sí, siendo la floración el carácter jerárquico superior.

Por lo que respecta a las correlaciones ambientales se muestran muy similares en su estructura a las correlaciones genotípicas, lo cual refuerza la idea de que las correlaciones genotípicas halladas son atribuibles a pleiotropía más que a ligamento, aunque este último factor podría tener importancia en los híbridos del dialelo y justificaría, junto con las correlaciones ambientales, los elevados coeficientes de correlación allí estimados. Especial mención merece el caso de los días a floración que aumentan ante situaciones de ambiente adverso, mientras que los demás caracteres controlados reducen su expresión, lo cual se traduce en correlaciones ambientales negativas aunque débiles.

Toda la evidencia aportada parece indicar que la mayoría de los caracteres estudiados son manifestación de un conjunto de procesos fisiológicos muy relacionados y que se modifican en la misma dirección bajo cambios de tipo genético o ambiental.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado con la colaboración de la «Caixa de Pensions de Catalunya i Balears» y «Caixa Rural Provincial de Barcelona».

## SUMMARY

### **Genotypic and environmental correlations in maize**

Genotypic and environmental correlations between several maize traits are studied using an open pollinated variety, inbreds and hybrids coming from crosses between these inbreds.

Through the comparison of the experimental results a hierarchic model is proposed to explain the principal genotypic correlations, based mainly in pleiotropic effects. The highest level would be occupied by both the days to pollen shedding and the days to silking, strongly correlated between them. This pair of characters would have a very important pleiotropic effect on other two pairs of traits: number of nodes to the ear/total nodes and height to the ear/total height. Yield would be placed further away from flowering time but still with high correlation with it. The number of ears appears not to be very much related with the other traits. Environmental correlations result similar to the genotypic ones a result that strengthens the hypothesis based on pleiotropic effects. Of particular interest is the negative correlation between days to flowering from one hand and the majority of the vegetative traits from the other hand, as a result of the lengthening of the cycle when the plant is growing in unfavorable environmental conditions.

KEY WORDS: Genotypic and environmental correlations, maize, pleiotropy.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CHASE S.S., NANDA D.K. 1967. 4) Number of leaves and maturity classification in *Zea mays*. *Crop Sci.* 7:431-432.
- CHI R.A., EBERHART S.A., PENNY L.H. 1969. Covariances among relatives in a maize variety (*Zea mays* L.). *Genetics* 63:511-520.
- CROSS H.Z., ZUBER M.S. 1973. Interrelationships among plant height, number of leaves, and flowering dates in maize. *Agronomy Jour.* 54:71-74.
- EL-LAKANY M.A., RUSSELL W.A. 1971. Relationship of maize characters with yield in testcrosses of inbreds at different plant densities. *Crop Sci.* 11:698-701.
- FALCONER D.S. 1960. Introduction to quantitative genetics. New York. The Ronald Press Comp.
- HALLAUER A.R., MIRANDA F.P. 1981. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State Univ. Press.
- HESKETH J.D., CHASE S.S., NANDA D.K. 1969. Environmental and genetic modification of leaf number in maize, sorghum, and hungarian millet. *Crop Sci.* 9:460-463.
- JENKINS M.T. 1929. Correlation studies with inbred and cross bred strains of maize. *Jour. Agric. Res.* 30:677-721.
- JUGENHEIMER R.W. 1958. Hybrid maize breeding and seed production. F.A.O. of U.N.
- LANZA F., DIONIGI A. 1974. Correlation between earliness and yield in maize. *Annali dell' Instituto Sperimentale Agronomico* 5:383-403.
- LARSON E.E., HANWAY J.J. 1977. Corn production. En "Corn and corn improvement", editado por G.F. Sprague, pp. 625-699. *Agronomy n. 18*, Am. Soc. Agron. Madison.
- LINDSEY M.F., LONNQUIST J.H., GARDNER C.O. 1962. Estimates of genetic variance on open-pollinated varieties of Cornbelt corn. *Crop Sci.* 2:105-108.
- MODE C.G., ROBINSON H.F. 1959. Pleiotropism and the genetic variance and covariance. *Biometrics* 15:518-537.
- MOTTO M., MOLL R.H. 1983. Prolificacy in maize: a review. *Maydica XXVIII*: 53-76.
- MUSIJKO A.S., TRIFIMOV V. 1965. Correlation of characters in maize inbred lines and hybrids. *Rep. Agric. Sci.* 2:114-118.
- NUEZ F., PALOMARES G., CUARTERO J. 1984. About the estimation of genotypic correlations in plant breeding. *Genét. Ibér.* 36: 95-103.
- OBILANA A.T., HALLAUER A.R. 1974. Estimation of variability of quantitative traits in BSSS by using unselected maize inbred lines. *Crop Sci.* 14:99-103.
- PATIL S.J., HAYAVADAN P.V., MAHADEVAPPA M. 1969. Interrelationship between grain yield, ear height and internode characters in *Zea mays*. *Mysorer Agric. Jour.* 3:273-276.

- ROOD S.B., MAJOR D.J. 1981a. Inheritance of tillering and flowering-time in early maturing maize. *Euphytica* 30:327-334.
- ROOD S.B., MAJOR D.J. 1981b. Diallel analysis of leaf number, leaf development rate, and plant height of early maturing maize. *Crop Sci.* 21:867-873.
- SCHUSTER W.Z., CERNJUL, POSSELT U. 1979. Correlations between various characters of inbred strains of corn and the relationship between inbred strains and their hybrids tested at three different ecological locations. *Theor. Appl. Genet.* 55:35-47.
- SHEHATA A.H. 1975. Associations among metric attributes in varietal maize populations in relation to their future improvement. *Egypt. Jour. Genet. Cytol.* 4:66-89.
- SINGH R., CHAUDART L.B. 1969. Relationship of certain agronomic characters of maize hybrids with yield. In *Maximization of Agricultural Production* pp. 137-141. Agricultural Sci. India. Calcutta. India.
- TALLIS G.M. 1959. Sampling errors of genetic correlation coefficients calculated from the analyses of variance and covariance. *Aust. Jour. of Stat.* 1:35-43.
- UTKHEDE R.S., SHUKLA 1976. Path coefficient analysis and its implications in maize improvement. *Egyptian Jour. Gen. Cytol.* 5:164-169.
- VIANNA R.T., SILVA J.C. 1978. Genetic correlations and general combining ability in inbred lines of maize (*Zea mays* L.). *Ceres* 25:242-265.