

DETERMINACIÓN DE CARACTERES DISCRIMINANTES EN ESPIGA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ

C. BANCHERO¹, N. BARTOLONI¹, S. RENTERÍA¹ y G. MARRASSINI¹

Recibido: 29/12/99

Aceptado: 18/10/00

RESUMEN

Se efectuó un análisis estadístico discriminante en un grupo de 12 híbridos argentinos de maíz con el fin de detectar cuáles son los caracteres macroscópicos en espiga que más contribuyen a dicha discriminación con el fin de mejorar la respuesta a la selección fenotípica. Para ello se efectuaron mediciones en 12 caracteres en espiga, a saber: longitud de espiga, diámetro medio de la espiga, diámetro en la base de la espiga, número de granos por hilera, número de hileras, número de cariopses, número de chalas, peso de chalas, peso de grano, peso de la espiga, peso de marlo y peso total. Se dividió el análisis en grupos según la clase de híbrido: 2X, 3X ó 4X. La prueba realizada para evaluar el nivel general de discriminación (λ de Wilks) y la prueba con respecto a las distancias euclidianas (F Snedecor) entre grupos resultaron altamente significativas lo cual implica la existencia de variación fenotípica estadísticamente significativa entre grupos y oportunidades para aumentar la respuesta a la selección. Se calcularon raíces canónicas para dar cuenta de la naturaleza de la discriminación hallada. La variable peso total resultó la más importante en la composición de la primera variable canónica en híbridos simples mientras que para el grupo de híbridos tres vías las variables más importantes a este respecto resultaron ser el peso de la espiga y el peso de los granos. Finalmente, para el grupo de híbridos dobles ha sido una diferencia entre el peso de los granos y el peso total la variable más importante.

Palabras clave. Maíz - Análisis discriminante - Selección - Mejoramiento

DETERMINATION OF DISCRIMINANT TRAITS IN CORN HYBRIDS EARS

SUMMARY

A discriminant statistical analysis was conducted on a group of 12 Argentine corn hybrids to detect the most significant macroscopic ear traits, which mostly contribute to such discrimination in order to enhance their response to the phenotypical selection. Measurements were taken on twelve ear traits: diameter, row number cariopses number, chaff number, and weight, kernel weight, ear weight, cob weight, and total weight. The analysis was split into groups by hybrid type: 2X, 3X or 4X. The test conducted to assess the general level of discrimination (λ of Wilks), and the test on the euclidian distances among groups were significant. This means that there is a statistically significant variation among groups and implies the existence of chances to increase the response to the selection. Canonic roots were estimated to account for the nature of discrimination. Total weight was the most important variable for the first canonic variable in one-way-hybrids, whereas ear weight and kernel weight were the most important variables for the three-way-hybrids. The most significant variable for the two-way-hybrids was the difference between kernel weight and total weight.

Key words. Corn – Discriminant analysis – Selection – Breeding

INTRODUCCIÓN

La identificación de caracteres macroscópicos que podrían resultar de interés para el mejorador ha sido y es un tópico de gran importancia en Mejoramiento Vegetal. Conocer el grado de variabilidad

entre poblaciones en producción tales como híbridos y, además, conocer la naturaleza de esa variación puede resultar de interés central en el momento de delinear un plan de mejoramiento.

El tema de la variabilidad genética en pobla-

¹Cátedra de Genética, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires - Argentina.

ciones comerciales se ha estado examinando durante muchos años en razón de la importancia que reviste para el Mejoramiento (Duvick, 1984, 1987, 1992). Las fuentes de germoplasma empleadas ordinariamente por los mejoradores tienen una base genética más o menos estrecha (Fowler y Mooney, 1990; Marshall, 1989; Peeters y Galwey, 1988). Dentro de ese esquema, se han utilizado análisis estadísticos multivariados con el fin de conocer la naturaleza de esa variabilidad (Seal, 1964; Seber, 1984; Whitehouse, 1969). Se han empleado métodos multivariados tanto para clasificar y ordenar poblaciones, como para construir funciones discriminantes (Felsenstein, 1982; Goodman, 1973). El uso del análisis discriminante y de la construcción de variables canónicas permite obtener una estimación de la composición de la variabilidad entre y dentro de poblaciones de manera tal que no se vea oscurecida por correlaciones, maximizando la variación entre grupos y minimizándola dentro de grupos (Camussi *et al.*, 1985).

El objetivo central en este trabajo fue determinar cuáles son los caracteres macroscópicos que efectivamente contribuyen a la variación fenotípica entre híbridos comerciales de maíz con el fin de mejorar la respuesta a la selección fenotípica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las poblaciones empleadas fueron híbridos comerciales gentilmente cedidos por tres empresas privadas que operan en Argentina: Pioneer SA, Dekalb SA y Cargill SACI. Los productos utilizados se detallan en el Cuadro N° 1.

Se utilizó un diseño aleatorizado con 20 plantas por híbrido, sembradas en hileras, con 70 cm de separación, en el campo experimental de la Cátedra de Genética. Se midieron los siguientes caracteres en espiga: longitud de espiga (cm) (LONGESP), diámetro medio de la espiga (cm) (DMESPIG), diámetro en la base de la espiga (cm) (DBESPIG), número de granos por hilera (NGRANHIL), número de hileras (NHILERAS), número de cariopses (NCARIOP), número de chalas (NCHAL), peso de chalas (gr) (PESCHAL), peso de grano (gr) (PESGRANO), peso de la espiga (gr) (PESESPIG), peso de marlo (gr) (PESMARLO) y peso total (gr) (PESTOTAL).

El análisis de los datos consistió en un análisis discriminante general seguido por el cálculo de las distancias de Mahalanobis entre híbridos y, finalmente, un análisis canónico para determinar las raíces discriminantes. Se realizó un análisis separado para cada tipo de híbrido (2X, 3X y 4X). Dentro del análisis discrimi-

Cuadro N° 1. Productos utilizados en los ensayos indicando el nombre comercial el tipo de híbrido, la empresa generatriz y el índice de utilizado en este trabajo como referencia.

Híbrido	Clase	Empresa	Índice
DK664	2X	Dekalb SA	C6
DK752	2X	Dekalb SA	C7
PN3456	2X	Pioneer SA	C10
PN3162	2X	Pioneer SA	C11
DK3S41	3X	Dekalb SA	C2
PN3478	3X	Pioneer SA	C12
CM31	3X	Cargill SA	C13
CTH92	3X	Cargill SA	C14
DK4F37	4X	Dekalb SA	C3
DK4F91	4X	Dekalb SA	C4
DK762	4X	Dekalb SA	C8
CSD5	4X	Cargill SA	C15

minante se construyeron variables canónicas (Camussi *et al.*, 1985; Whitehouse, 1969) las que tienen la propiedad de maximizar la variación entre grupos, según lo mencionado en el párrafo anterior.

La hipótesis de discriminación entre grupos se probó a través de dos pruebas estadísticas multivariadas: λ de Wilks y distancias euclidianas (a través de una prueba F Snedecor). Una vez determinada la significatividad estadística de las diferencias entre grupos, se procedió a construir las raíces discriminantes.

RESULTADOS

La prueba de hipótesis para la discriminación global (λ de Wilks) permite rechazar la hipótesis de no discriminación para los tres grupos de híbridos con alta probabilidad ($p < 0,001$). Las distancias euclidianas entre grupos resultaron estadísticamente diferentes de 0 ($p < 0,01$), aunque el nivel de significación disminuye progresivamente al pasar de híbridos 2X a 3X y de éstos, a 4X.

Las pruebas χ^2 de remoción de raíces en forma sucesiva permitieron detectar, para el caso de híbridos simples, 3 raíces significativas (2 con eigenvalores mayores a 1 y la tercera con un eigenvalor cercano a 1). Para híbridos 3 vías, se extrajo sólo una raíz con eigen valor mayor a 1 y para el caso de híbridos dobles, se extrajo una raíz con valor mayor a 1 y una segunda raíz con valor muy cercano a 1.

Se construyeron gráficos con las 2 primeras

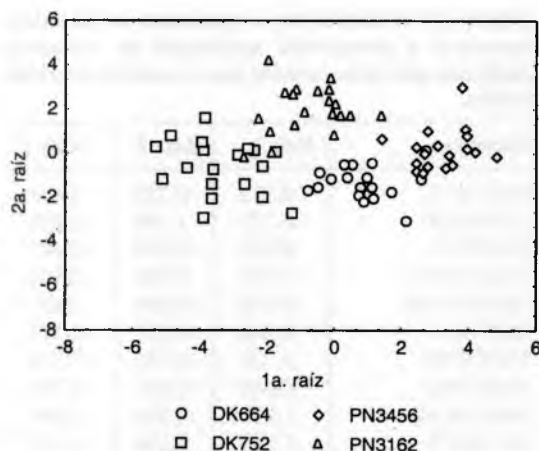


Figura 1. Diagrama de dispersión entre las dos primeras variables canónicas para el caso de híbridos simples.

variables canónicas para cada tipo de híbrido (Figuras 1, 2 y 3) en los que se puede apreciar el gran poder discriminatorio de la primera variable canónica, observando la dispersión entre grupos a lo largo del eje X, especialmente para híbridos simples (Fig. 1). Finalmente, a partir de las distancias euclidianas, se construyeron gráficos de árbol (Figuras 4, 5 y 6) considerando la totalidad de las variables canónicas. Para el caso de híbridos simples (Fig. 4) se destacan netamente 2 grupos a una importante distancia de ligamiento de casi 5 unidades. También para el caso de los híbridos 4X se destacan dos grupos, pero a una distancia menor (casi la mitad) debido a la segregación genética.

Los coeficientes estandarizados correspondientes a las 3 variables canónicas en función de las variables originales, así como la proporción acumulada de la variación total explicada se presentan en los Cuadros N° 2, 3 y 4.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La hipótesis de no discriminación entre poblaciones de híbridos comerciales argentinos puede ser estadísticamente rechazada aunque se debe tener en cuenta que en este estudio sólo se han evaluado 12 híbridos. Si el objetivo es una evaluación completa de la variabilidad entre híbridos comerciales, debe probarse una mayor cantidad de OTUs (Troyer *et al.*, 1988). En este trabajo, la prueba previa de Wilks se hizo como pre-requisito para la concreción de los otros niveles de análisis y

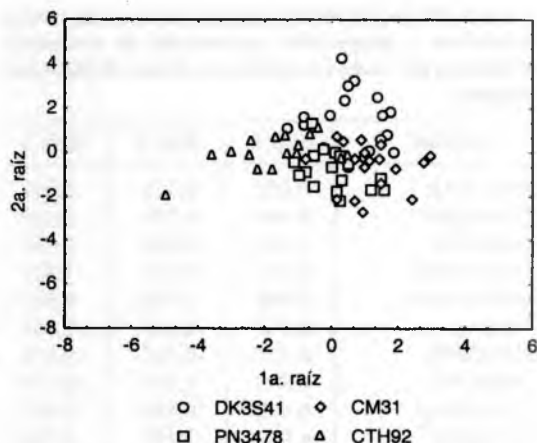


Figura 2. Diagrama de dispersión entre las dos primeras variables canónicas para el caso de híbridos tres vías.

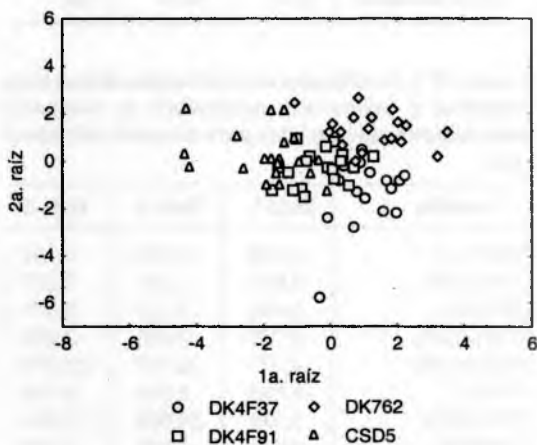


Figura 3. Diagrama de dispersión entre las dos primeras variables canónicas para el caso de híbridos dobles.

no con el fin específico de evaluar la variabilidad entre híbridos argentinos.

Las distancias euclidianas calculadas resultaron todas significativas. El nivel de significación estadística de las pruebas F Snedecor realizadas para probar la hipótesis básica de distancia 0 fueron todos muy significativos pero disminuyendo en la dirección 2X a 3X a 4X. Esto es esperable puesto que tanto los híbridos 3X como los 4X tienen en su composición un cierto grado de segregación genética causada por los cruzamientos que les dieron origen, es decir, tienen materiales originales en común o líneas provenientes de compañías que venden tecnología (semilla fundadora).

Cuadro N° 2. Coeficientes estandarizados de las raíces canónicas y proporción acumulada de variancia explicada por cada variable para el caso de híbridos simples.

Variable	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
PESCHAL	0,080	0,725	0,019
LONGESP	0,099	-0,753	-0,210
DBESPIG	0,206	-0,263	0,394
NGRANHIL	-0,662	0,671	-1,817
PESGRANO	0,649	-1,149	6,031
NCHAL	-0,398	-0,486	0,863
PESESPIG	-0,234	-0,344	-0,176
DMESPIG	-0,995	0,175	-0,179
NHILERAS	-0,448	0,883	-1,013
NCARIOP	-0,962	-2,392	1,226
PESMARLO	-1,403	-0,668	0,579
PESTOTAL	3,050	3,805	-5,311
Eigenvalor	6,224	1,629	0,834
Prop. Acumulada	71,65	90,40	100

Cuadro N° 3. Coeficientes estandarizados de las raíces canónicas y proporción acumulada de variancia explicada por cada variable para el caso de híbridos 3 vías.

Variable	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
PESCHAL	-0,200	-0,300	0,194
LONGESP	0,083	-1,281	0,257
DBESPIG	-0,490	0,225	0,070
NGRANHIL	-0,756	2,400	-1,009
PESGRANO	-4,377	20,353	-22,878
NCHAL	-0,916	0,090	-0,186
PESESPIG	5,898	-24,969	25,934
DMESPIG	-0,224	-0,009	0,268
NHILERAS	-0,093	1,873	0,032
NCARIOP	0,540	-3,265	-0,707
PESMARLO	-1,134	2,717	-2,670
PESTOTAL	0,389	3,813	0,503
Eigenvalor	1,260	0,739	0,441
Prop. Acumulada	51,62	81,91	100,00

En cuanto al objetivo central de este trabajo que era la determinación de los caracteres que causan la discriminación verdadera (en este caso, en cuanto a caracteres en espiga) entre híbridos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

a) entre *híbridos simples*: hay una raíz principal que explica casi el 72% de la variación total y que está compuesta fundamentalmente por la variable PESTOTAL con un coeficiente 3,050 (Fig. 1). En segundo término -en orden de im-

Cuadro N° 4. Coeficientes estandarizados de las raíces canónicas y proporción acumulada de variancia explicada por cada variable para el caso de híbridos dobles.

Variable	Raíz 1	Raíz 2	Raíz 3
PESCHAL	0,392	0,232	0,053
LONGESP	-0,272	-1,780	0,359
DBESPIG	0,098	-0,434	-0,405
NGRANHIL	0,977	0,006	0,466
PESGRANO	6,676	-0,096	-3,655
NCHAL	0,246	-0,231	-0,201
PESESPIG	0,728	-0,515	-0,322
DMESPIG	0,040	-0,467	-0,784
NHILERAS	1,137	-0,261	0,991
NCARIOP	-2,261	1,244	-1,197
PESMARLO	0,053	0,174	-0,984
PESTOTAL	-6,265	1,370	4,986
Eigenvalor	1,655	0,945	0,175
Prop. Acumulada	59,65	93,70	100

portancia dentro de la principal raíz canónica se encuentra la variable PESMARLO. La segunda raíz discriminante, que explica casi un 20% adicional, está compuesta principalmente por la variable PESTOTAL una vez más, y en segundo término por la variable NCARIOP. Como conclusión general, si se ha de reducir la información global acerca de las diferencias entre estos híbridos 2X, se puede concluir que es el peso bruto de la espiga la causa central de las diferencias, no obstante las diferencias que se puedan detectar en otras características.

- b) entre *híbridos tres vías*: en este caso, las variables que más determinan las diferencias también están asociadas con pesos: PESESPIG y PESGRANO. No se trata del peso bruto sino de una diferencia entre PESESPIG y PESGRANO (Fig. 2). Los coeficientes calculados tanto para la primera como para la segunda raíz apuntan a una nueva variable constituida por la diferencia neta entre el peso de la espiga y el peso de los granos ($5,898 \cdot \text{PESESPIG} - 4,377 \cdot \text{PESGRANO}$, para el caso de la primera raíz y $20,353 \cdot \text{PESGRANO} - 24,969 \cdot \text{PESESPIG}$, para la segunda).
- c) entre *híbridos dobles*: la primera raíz, que explica casi el 60% de la variación, está compuesta por una diferencia entre el peso total y el peso de los granos ($6,676 \cdot \text{PESGRANO} - 6,265 \cdot \text{PESTOTAL}$) mientras que la segunda está constituida principalmente por la variable LONGESP y, en segundo grado, por PESTOTAL.

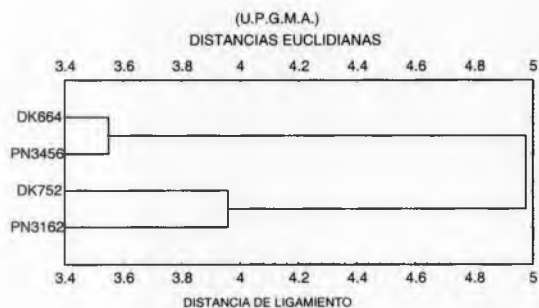


Figura 4. Diagrama de árbol entre híbridos simples.

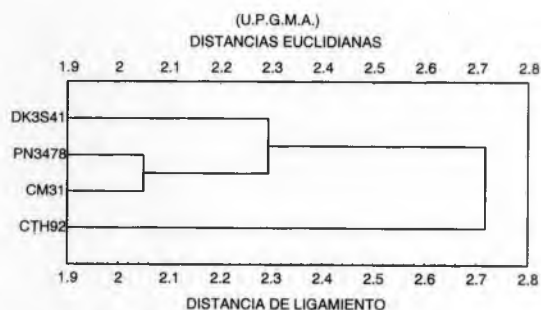


Figura 5. Diagrama de árbol entre híbridos tres vías.

En resumen, al menos para este conjunto de híbridos examinados, parecería que las variables asociadas con la acumulación de biomasa y no con la forma o el tamaño de la espiga, las que más contribuyen a las diferencias entre grupos. Queda clara, además, la influencia de la estructura genética de los tres tipos de población. La especialización alcanzada por las poblaciones homogéneas como los híbridos 2X se puede ver en el alto nivel de discriminación alcanzado (Fig. 1) con respecto a la primera variable canónica mientras que para los otros tipos de población, y en forma creciente (Figs. 2 y 3) se observa el efecto de las segregaciones.

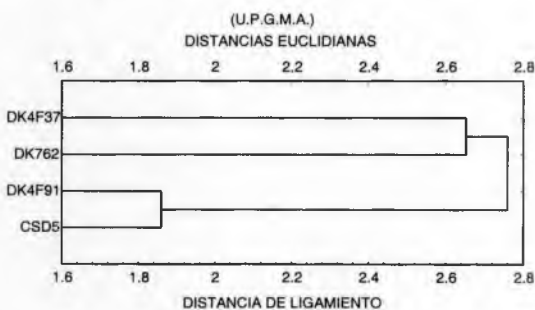


Figura 6. Diagrama de árbol entre híbridos dobles.

BIBLIOGRAFÍA

- CAMUSSI A., E. OTTAVIANO, T. CALINSKI and Z. KACZMAREK, 1985. Genetic distances based on quantitative traits. *Genetics* 111: 945-962
- DUVICK D.N., 1984. Genetic diversity in major farm crops on the farm and in reserve. *Econ. Bot.* 38: 161-178
- DUVICK D.N., 1987. Sources of genetic advances for the future. In JS Burris (ed) *Proc. Ninth Ann. Seed Tech. Conf.* Ames, Iowa: Seed Science Center.
- DUVICK D.N., 1992. Genetic contributions to advances in yield of US maize. *Maydica* 37: 69-79
- FELSENSTEIN J., 1982. Numerical methods for inferring evolutionary trees. *Q. Rev. Biol.* 57: 379-404
- FOWLER C. and P. MOONEY, 1990. *Shattering: Food, Politics y the loss of genetic diversity.* Tucson, Arizona: University of Arizona Press
- GOODMAN M.M., 1973. Genetic distances: measuring dissimilarity among populations. *Yearb. Phys. Anthropol.* 17:1-38
- MARSHALL D.R., 1989. Limitations to the use of germplasm collections in Brown A, Frankel O, Marshall DR and Williams JT (eds) *The use of Plant genetic resources.* In. New York: Cambridge Univ. Press.
- PEETERS J.P. and N.W. GALWEY, 1988. Germplasm collections and breeding needs in Europe. *Econ. Bot.* 42: 503-521
- SEAL H.L., 1964. *Multivariate statistical analysis for biologists.* Methuen: London, 269 págs
- SEBER G. 1984. *Multivariate observations.* Wiley: NY, 686 págs
- TROYER AF, S.J. OPENSHAW and K.H. KNITTLE, 1988. Measurement of genetic diversity among popular commercial corn hybrids. *Crop Sci.* 28: 481-485
- WHITEHOUSE R., 1969. An application of canonical analysis to plant breeding. *Genetica Agrar.* 23: 61-69