

COMPROBACIÓN DE LAS PREDICCIONES DE LOS ESTIMADORES DE ALELOS FAVORABLES PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ DULCE

R.A. Malvar*, M.E. Cartea, P. Revilla, P. Soengas y A. Ordás
Misión Biológica de Galicia, CSIC
Apartado 28, 36080 Pontevedra. España

Abstract

Several methods have been used to choose elite American and European field corn inbreds (*Zea mays* L.) to improve the yield of sweet corn for European conditions. Our objective was to compare realized results and predictions of methods to identify potential donors. The estimate of favorable dominant alleles present in the donor but not in the hybrid ($\mu G'$) was checked. The field corn inbreds A632 and EP42 had been identified as the best potential donors for improving yield of sweet corn hybrids. The estimator $\mu G'$ correctly predicted the differences between best and worst donors of favorable alleles for improving yield of sweet corn hybrids. The prediction of the best recipient reasonably fitted the realized results.

Key words: *Zea mays* L., field corn inbreds, sweet corn hybrids, yield

Resumen

Hemos usado varios métodos para elegir líneas de maíz (*Zea mays* L.) grano para mejorar el rendimiento del maíz dulce en condiciones europeas. El objetivo de este trabajo era comparar los resultados obtenidos con las predicciones de los métodos de identificación de donantes potenciales de valor agronómico. El método comprobado fue el estimador de alelos favorables dominantes presentes en el donante pero no en el receptor ($\mu G'$). Las líneas de maíz grano A632 y EP42 habían sido identificadas como las mejores donantes potenciales para mejorar el rendimiento de varios híbridos de maíz dulce. El estimador $\mu G'$ predijo correctamente las diferencias entre los mejores y los peores donantes de alelos favorables. La respuesta obtenida coincidió razonablemente con las predicciones.

Palabras clave: *Zea mays* L., líneas de maíz grano, híbridos de maíz dulce, rendimiento

1. Introducción

El maíz grano se usa para mejorar el rendimiento del maíz dulce en EE.UU. (Tracy, 1994) y en Europa (Cartea et al., 1996a,b; Malvar et al., 1997a,b). Dudley (1984, 1987) desarrolló un procedimiento estadístico para la estimación del número relativo de loci ($\mu G'$) para los que una línea donante difiere de cada padre de un híbrido que se pretende mejorar. Varios métodos estadísticos han sido desarrollados para identificar donantes para mejorar híbridos elite (Gerloff y Smith, 1988a,b; Bernardo, 1990; Metz, 1994).

Gerloff y Smith (1988a,b), Misevic (1989a,b), Zanoni y Dudley (1989a), Bernardo (1990), Stojšin y Kannenberg (1995) y Dudley et al. (1996) para híbridos de maíz grano y Cartea et al. (1996a, b) y Malvar et al. (1997a, b), para híbridos de maíz dulce, encontraron altas correlaciones entre la mayoría de los estimadores. Cada estudio

presentó un estimador diferente como el más adecuado. Estos autores compararon teóricamente los métodos de identificación de alelos favorables.

Cuatro comprobaciones experimentales de métodos de identificación de alelos favorables han sido publicadas por Zanoni y Dudley (1989b), Pfarr y Lamkey (1992a, b) y Hogan y Dudley (1991). Zanoni y Dudley (1989b) evaluaron varios métodos de identificar líneas para mejorar híbridos elite de maíz grano y encontraron que la predicción de los mejores y peores donantes se ajustaba a los resultados obtenidos. Hogan y Dudley (1991) también encontraron que los métodos de identificación de fuentes de alelos favorables para mejorar híbridos elite clasificaba correctamente los donantes. Pfarr y Lamkey (1992a) encontraron que los estimadores predecían correctamente los mejores donantes para rendimiento, aunque no para la precocidad de floración.

Malvar et al. (1997a) usaron los métodos antes mencionados para identificar líneas de maíz grano adaptadas a Europa para mejorar el valor agronómico de siete híbridos de maíz dulce. Las correlaciones entre estimadores fueron elevadas para todos los caracteres. Las líneas de maíz grano A632 y EP42 fueron identificadas como las mejores donantes potenciales para mejorar rendimiento y sus componentes en híbridos de maíz dulce. Nuestro objetivo era comparar los resultados obtenidos y las predicciones de los métodos de identificar donantes potenciales para mejorar el rendimiento de híbridos de maíz dulce.

2. Material y Métodos

Malvar et al. (1997a) evaluaron 11 líneas de maíz grano, W64A, A632, A619, H99, EP29, H104W, A188, F2, EP1, EP32 y EP42, como donantes potenciales para mejorar el rendimiento de siete híbridos de maíz dulce. Los híbridos se hicieron usando siete líneas de maíz dulce como padres (cinco *su1*, EP58, EP59, EP60, V679 y I5125 y dos *su1 se*, IL767b y IL778d).

Para comprobar las predicciones publicadas por Malvar et al. (1997a) elegimos dos híbridos de maíz dulce (V679 × EP60 y I5125 × EP60) que mostraron buena calidad en ensayos anteriores, las mejores donantes (A632 y EP42) para rendimiento y una de las peores donantes (W64A) (Malvar et al., 1997a). Los cruzamientos donante × EP60 y donante × V679, para el híbrido de maíz dulce V679 × EP60 y el cruzamiento donante × EP60, para el híbrido de maíz dulce I5125 × EP60, producidos previamente (Malvar et al., 1997a), fueron autofecundados en 1996 para obtener nueve poblaciones F₂. Los granos sugary de cada F₂ fueron seleccionados y sembrados en 1997. Para el híbrido V679 × EP60, al menos 50 plantas sugary individuales de cada (donante × V679)F₂ fueron cruzados con EP60 y 50 plantas individuales de (donante × EP60)F₂ fueron cruzadas con V679. Para el híbrido I5125 × EP60, 50 plantas individuales de (donante × EP60)F₂ fueron cruzadas con I5125. Por tanto, se obtuvieron nueve poblaciones probadoras. Se eligieron al azar 30 cruzamientos de prueba de cada población pobladora.

Los 30 cruzamientos de cada población probadora, junto a los dos híbridos de maíz dulce originales, se plantaron en un grupo. Había nueve grupos por repetición. Los ensayos consistieron en un diseño de grupos en repeticiones con dos repeticiones y fueron sembrados en 1998 en dos localidades: Pontevedra (42°25'N, 4°57'W, 20 m sobre el nivel del mar) y Pontecaldeas (42°23'N, 4°50'W, 300 m sobre el nivel del mar). Ambas localidades tienen un clima húmedo con una precipitación anual de 1600 mm. Cada parcela experimental consistió en una fila de 20 golpes, con dos granos por golpe. La distancia entre filas fue de 0.8 m y entre golpes de 0.21 m. En el aclareo se

dejó una planta con una densidad final de 60 000 plantas ha⁻¹. El rendimiento se midió en grano seco (Mg ha⁻¹ a 140 g kg⁻¹ de humedad).

Las localidades y las poblaciones probadoras se consideraron efectos fijos, mientras que las repeticiones y los cruzamientos fueron aleatorios. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las diferentes parcelas de cada testigo de maíz dulce. Por esto la media de los dos testigos de maíz dulce se usó como covariable para ajustar las medias de los cruzamientos por diferencias ambientales entre bloques dentro de repeticiones. Los cruzamientos fueron comparados con su correspondiente híbrido P₁ × P₂. Finalmente, se calcularon la varianza genética y la heredabilidad en sentido amplio junto con sus errores para cada población probadora (Knapp et al., 1985) usando el método REML y el procedimiento MIXED de SAS (SAS institute Inc., 1996). De acuerdo con Zanoni y Dudley (1989b), el criterio para comparar la eficacia de un donante potencial es $(X_{TC}-X_C)/\sigma_G$, siendo X_{TC} la media de la población probadora, X_C la media del testigo y σ_G la raíz cuadrada de la varianza genética de la población probadora.

3. Resultados y Discusión

La varianza genética (σ^2_G) del rendimiento fue significativamente distinta de cero para la mayoría de las poblaciones probadoras para ambos híbridos de maíz dulce (Tabla 1). La varianza genotipo × localidad ($\sigma^2_{G \times L}$) no fue significativamente diferente de cero para la mayoría de las poblaciones probadoras del híbrido V679 × EP60 pero sí para I5125 × EP60. Cuando $\sigma^2_{G \times L}$ es significativa se muestra el análisis por localidad. La segunda localidad tiene algunos problemas de heterogeneidad del terreno que pueden afectar las comparaciones. Las estimaciones de heredabilidad (h^2) generalmente no difirieron significativamente de cero, aunque a veces fueron mayores que las publicadas previamente (Hallauer y Miranda, 1988).

La varianza genética esperada, de acuerdo con Zanoni y Dudley (1989b), entre los cruzamientos es $\sigma^2_G = \mu[(\mu_B + \mu_E)(1-a)^2 + (\mu_D + \mu_G)(1+a)^2]/4$, donde 'a' es la dominancia y μ_B , μ_D , μ_E y μ_G son las clases de loci definidas por Dudley (1984), cuando se trata de mejorar el primer padre del híbrido. Cuando la dominancia es completa ($a=1$), la expresión anterior se convierte en $\sigma^2_G = \mu(\mu_D + \mu_G)$. Para el híbrido V679 × EP60, si el donante se cruza con V679, se esperará la mayor varianza genética para la población probadora correspondiente al donante A632, seguido por EP42, y la menor para W64A (Malvar et al., 1997a). De hecho, la mayor varianza fue para la población probadora de EP42 en la segunda localidad, mientras que A632 tuvo la menor varianza (Tabla 1). Los resultados obtenidos son compatibles con la existencia de dominancia parcial ($a \neq 1$). En esta situación deben tenerse en cuenta μ_B y μ_E y así, la mayor varianza será la de EP42, seguida por W64A y finalmente por A632. Si el donante se cruza con EP60, A632 tiene la mayor varianza esperada, seguido por EP42 y la menor varianza es la de W64A. De nuevo la varianza obtenida (Malvar et al., 1997a) fue menor que la esperada para A632 (Tabla 1).

En el caso del híbrido de maíz dulce V679 × EP60, la línea de maíz grano A632 tuvo el mayor μ_G para mejorar el rendimiento, seguida de EP42, mientras que W64A tuvo el menor μ_G . El mejor receptor potencial fue V679 tanto para A632 como para EP42 (Malvar et al., 1997a). Los resultados de este trabajo muestran que el mayor $(X_{TC}-X_C)/\sigma_G$ fue para el donante A632 y el receptor V679, seguido de EP42 y V679 en la primera localidad (Tabla 1). Sin embargo, para la F₂ del donante EP42 cruzado con el receptor EP60, el número de cruzamientos de prueba que superaron el rendimiento del

híbrido V679 × EP60 fue mayor que con el receptor V679. El estimador $\mu G'$ predijo aceptablemente el orden de los mejores donantes y el receptor más adecuado, aunque la predicción falló para el mejor receptor de EP42.

Para el híbrido I5125 × EP60, $\mu G'$ fue máximo para A632, seguido de EP42 y mínimo para W64A (Malvar et al., 1997a). El estimador $(X_{TC}-X_C)/\sigma_G$ fue poco consistente en las diferentes localidades (Tabla 1). Por ejemplo, la población probadora del donante A632 tuvo el máximo $(X_{TC}-X_C)/\sigma_G$ en la primera localidad y el mínimo en la segunda. Las predicciones se cumplieron en la primera localidad. La mayoría de las poblaciones probadoras tuvieron mejor rendimiento que el testigo, por lo que cualquier donante debería mejorar el rendimiento de este híbrido.

Estos resultados muestran que es posible mejorar ambos híbridos de maíz dulce produciendo líneas del cruzamiento A632 × V679 y cruzándolas con EP60 para mejorar el híbrido V679 × EP60, o produciendo líneas de EP42 × EP60 y cruzándolas con I5125 para mejorar el híbrido I5125 × EP60. Los estimadores de alelos favorables, particularmente $\mu G'$, pueden predecir los mejores donantes con cierta fiabilidad.

Malvar et al. (1997a) plantearon que el uso de una mezcla de maíz grano y dulce para predecir el rendimiento del maíz dulce asume algunos riesgos porque el rendimiento podría cambiar en un entorno genético sugary y la calidad no se puede probar al comienzo del proceso de obtención de líneas. El problema de probar la calidad se mantiene hasta etapas posteriores porque no compensa probar muchos genotipos segregantes, particularmente cuando el objetivo es mejorar el rendimiento. Sin embargo, la predicción del valor de líneas de maíz grano como donantes potenciales de alelos favorables para mejorar el rendimiento de híbridos de maíz dulce no ha sido claramente afectada por la mezcla de endospermos grano y dulce.

El estimador $\mu G'$ predijo razonablemente las diferencias entre los mejores y peores donantes de alelos favorables. Asimismo, Hogan y Dudley (1991) y Pfarr y Lamkey (1992b) encontraron coincidencias entre las predicciones y los resultados obtenidos para rendimiento en híbridos de maíz grano.

Agradecimientos

Investigación financiada por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto AGF98-0968) y la Excma. Diputación Provincial de Pontevedra, España.

Referencias

- Bernardo, R. 1990. An alternative statistic for identifying lines useful for improving parents of an elite single cross. *Theor. Appl. Genet.* 80:105-109.
- Cartea, M.E., R.A. Malvar, P. Revilla y A. Ordás. 1996a. Identification of field corn populations to improve sweet corn for Atlantic European conditions. *Crop Sci.* 36:1506-1512.
- Cartea, M.E., R.A. Malvar, P. Revilla y A. Ordás. 1996b. Improvement of early vigor y adaptation of sweet corn to the European Atlantic coast with open-pollinated field corn populations. *Maydica* 41:119-125.
- Dudley, J.W. 1984. A method of identifying lines for use in improving parents of a single cross. *Crop Sci.* 24:355-357.
- Dudley, J.W. 1987. Modification of methods for identifying inbred lines for improving parents of elite single crosses. *Crop Sci.* 27:944-947.
- Dudley, J.W., K.R. Lamkey y J.L. Geadelmann. 1996. Evaluation of populations for their potential to improve three maize hybrids. *Crop Sci.* 36:1553-1559.

- Gerloff, J.E. y O.S. Smith. 1988a. Choice of method for identifying germplasm with superior alleles 1. Theoretical results. *Theor. Appl. Genet.* 76:209-216.
- Gerloff, J.E. y O.S. Smith. 1988b. Choice of method for identifying germplasm with superior alleles 2. Computer simulation results. *Theor. Appl. Genet.* 76:217-227.
- Hallauer, A.R. y J.B. Miranda, Fo. 1988. *Quantitative genetics in maize breeding*. 2nd ed. Iowa State Press, Ames, IA.
- Hogan, R.M. y J.W. Dudley. 1991. Evaluation of a method for identifying sources of favorable alleles to improve an elite single cross. *Crop Sci.* 31:700-704.
- Knapp, S.J., W.W. Stroup y W.M. Ross. 1985. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. *Crop Sci.* 25:192-194.
- Malvar, R.A., M.E. Carrea, P. Revilla y A. Ordás. 1997a. Identification of field corn inbreds adapted to Europe to improve agronomic performance of sweet corn hybrids. *Crop Sci.* 37:1134-1141.
- Malvar, R.A., P. Revilla, M.E. Carrea y A. Ordás. 1997b. Field corn inbreds to improve sweet corn hybrids for early vigor y adaptation to European conditions. *Maydica* 42:247-255.
- Metz, G. 1994. Probability of net gain of favorable alleles for improving an elite single cross. *Crop Sci.* 34: 668-672.
- Misevic, D. 1989a. Identification of inbred lines as a source of new alleles for improvement of elite maize single crosses. *Crop Sci.* 29:1120-1125.
- Misevic, D. 1989b. Evaluation of three test statistics used to identify maize inbred lines with new favorable alleles not present in elite single cross. *Theor. Appl. Genet.* 77:402-408.
- Pfarr, D.G., K.R. Lamkey. 1992a. Evaluation of theory for identifying populations for genetic improvement of maize hybrids. *Crop Sci.* 32:663-669.
- Pfarr, D.G., K.R. Lamkey. 1992b. Comparison of methods for identifying populations for genetic improvement of maize hybrids. *Crop Sci.* 32:670-677.
- SAS Institute Inc. 1996. *SAS/STAT Software: Changes y Enhancements through Release 6.11*, Cary, North Carolina: SAS Institute Inc.
- Stojisin, D. y L.W. Kannenberg. 1995. Evaluation of maize populations as sources of favorable alleles for improvement of two single-cross hybrids. *Crop Sci.* 35:1353-1359.
- Tracy, W.F. 1994. Sweet corn. pp. 147-187. *In* A.R. Hallauer (ed.) *Specialty types of maize*. CRC, Boca Raton, FL.
- Zanoni, U. y J.W. Dudley. 1989a. Comparison of different methods of identifying inbreds useful for improving elite maize hybrids. *Crop Sci.* 29:577-582.
- Zanoni, U. y J.W. Dudley. 1989b. Testcross evaluation of F₂ populations from maize inbreds selected for unique favorable alleles. *Crop Sci.* 29:589-595.

Tabla 1. Media y error típico, varianza genética (σ^2_G) e intervalo de confianza (CI), heredabilidad en sentido amplio (h^2), número de familias significativamente superiores al testigo ($F>T_C$) a $P=0.05$ y desviación del testigo ($(X_{TC}-X_C)/\sigma_G$) y error para rendimiento en grano seco de nueve poblaciones probadoras para dos híbridos de maíz dulce (testigos) que se trata de mejorar.

Población ^c	Media (Mg ha ⁻¹)	σ^2_G	CI	$\sigma^2_{G \times L}$	CI	h^2	$F>T_C$	$(X_{TC}-X_C)/\sigma_G$
<u>V679×EP60</u>	3.76±0.94							
(A632×V679)F ₂ ×EP60	5.88±0.91	0.05	0.01-4×10 ¹⁰	0	a	0.11	17	9.64±2.98
(A632×EP60)F ₂ ×V679	4.20±0.91	0.06	0.01-2744	0	a	0.17	1	1.73±3.04
(EP42×V679)F ₂ ×EP60	3.79±0.91	0	a	0.28	0.10-2.21	0	0	b
primera localidad	4.01±0.35	0.09	0.01-7.48				3	3.32±1.23
segunda localidad	3.59±1.07	0.48	0.17-3.91				0	-1.29±0.69
(EP42×EP60)F ₂ ×V679	4.93±0.91	0.46	0.23-1.39	0	a	0.62*	6	1.73±1.06
(W64A×V679)F ₂ ×EP60	3.09±0.91	0.21	0.06-7.77	0	a	0.33	0	-1.55±0.98
(W64A×EP60)F ₂ ×V679	2.61±0.91	0.13	0.04-4.35	0	a	0.29	0	-3.19±2.90
<u>I5125×EP60</u>	3.95±0.94							
(A632×EP60)F ₂ ×I5125	4.02±0.91	0.10	0.02-151.15	0.02	0.003-10 ¹¹	0.24	0	0.21±4.09
primera localidad	5.27±0.71	0.17	0.04-74.57				10	3.69±0.83
segunda localidad	2.77±0.70	0.08	0.01-5×10 ¹⁵				0	-4.69±1.31
(EP42×EP60)F ₂ ×I5125	5.10±0.91	0.27	0.10-1.97	0.27	0.10-2.37	0.44	10	2.21±0.69
primera localidad	4.46±0.87	0.40	0.15-2.53				2	1.10±0.56
segunda localidad	5.75±0.48	0.68	0.34-1.95				5	1.95±0.47
(W64A×EP60)F ₂ ×I5125	4.11±0.91	0.26	0.10-1.75	0.11	0.02-3113	0.47*	1	0.31±1.01
primera localidad	3.23±0.35	0.34	0.12-3.44				3	-0.91±0.58
segunda localidad	4.99±0.24	0.40	0.14-3.85				0	1.36±0.60

*Estimación de heredabilidad significativamente distinto de cero.

^aEl intervalo no pudo ser calculado debido a variabilidad insuficiente.

^bEl estimador no pudo ser calculado porque $\sigma^2_G=0$.

^cEl número de cruzamientos de prueba por población probadora fue 30 excepto para (W64A×V679)F₂×EP60.