

Análisis del comportamiento genético de dos grupos germoplásmicos complementarios de maíz

Analysis of the genetic performance of two germoplasm complementary groups of maize

Humberto De León Castillo¹, José Espinoza Velásquez¹ Daniel Sámano Garduño¹ y Alfredo de la Rosa Loera¹

Resumen

Cuando se está interesado en el mejoramiento de los híbridos resultantes del cruzamiento entre individuos de dos poblaciones, se recomienda conocer el comportamiento genético de las características de importancia económica de cada población, para elegir la estrategia de selección que permita obtener híbridos con mayores ventajas agronómicas. El método IV de los cruzamientos dialélicos propuestos por Griffing se ha empleado exitosamente en la cuantificación de componentes de varianza genéticos aditivos y no aditivos, en poblaciones de interés. La finalidad de este trabajo fue estimar los tipos de acción génica y heredabilidad para precocidad, altura de planta y rendimiento de grano, mediante el método anteriormente mencionado, en dos grupos germoplásmicos de maíz denominados Maíz Enano y Maíz Exótico, constituyentes de un patrón heterótico. Los cruzamientos dialélicos fueron evaluados en cinco localidades, bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones. Los resultados obtenidos indican que en ambos grupos existe suficiente variabilidad genética para tener expectativas de éxito en el mejoramiento; en general, las varianzas aditivas fueron de mayor importancia para las características analizadas a excepción del rendimiento, donde la varianza no aditiva fue mayor. Se concluye que aplicando un esquema de selección recíproca recurrente, implicando ambos grupos, la respuesta a la selección será mayor al lograr simultáneamente mejorar las poblaciones *per se* y magnificar la expresión del patrón heterótico.

Palabras clave: *Zea mays*, región del Bajío, grupos heteróticos.

Abstract

When there is interest in improving hybrids resulting from the crossing among individuals of two populations, it is recommended to know the genetic performance of the characteristics of economic importance of each population, to choose the selection strategy that allows to obtain hybrids with more agronomic advantages. The method IV to diallel crossing systems of Griffing has been used successfully in the variance quantification of additive and non-additive components in populations of interest. The purpose of this work was to estimate the types of genetic action and heritability for precocity, plant height and grain yield, using the method previously mentioned, in two germoplasm groups of maize, denominated Dwarf Corn and Exotic Corn, constituents of an heterotic pattern.

¹ Profesores Investigadores del Instituto Mexicano del Maíz, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, C.P. 25315. E-mail hleonc62@hotmail.com.

The diallel crosses were evaluated in five environments, under a design of blocks at random with two repetitions. The obtained results indicate that in both groups there exist enough genetic variability in order to have expectations of success in the improvement; in general, the additive variances were the more important for the characteristics analyzed with exception of yield, where the variance non-additive was bigger. It may be concluded that applying a program of recurrent reciprocal selection the response to the selection will be bigger, by simultaneously being able to improve the populations *per se* and to magnify the expression of the heterotic pattern.

Key words: *Zea mays*, Bajío region, heterotic groups.

Introducción

Con la idea central de identificar una alternativa que mejore el comportamiento de los híbridos derivados del cruzamiento entre líneas pertenecientes a los grupos heteróticos denominados maíz enano y maíz exótico, en este trabajo, se planeó hacer un diseño genético de apareamiento entre líneas endogámicos de cada grupo, con el objeto de obtener información teórica de efectos y varianzas genéticas y estar en posibilidad de elegir la estrategia de mejoramiento que brindará máxima respuesta al mejoramiento de este patrón heterótico.

El término de grupo heterótico se aplica a un conjunto de individuos que exhiben similar habilidad combinatoria y respuesta heterótica al ser cruzados con otros grupos germoplásmicos genéticamente diferentes. Mientras que el término patrón heterótico se refiere a un par específico de grupos heteróticos que al ser cruzados muestran una alta heterosis facilitando el desarrollo de híbridos potenciales (Melchinger y Gumber, 1998).

La decisión de qué diseño genético se deba emplear para conocer algunas propiedades genéticas de la población de interés estará en función de los objetivos de la investigación. Por norma se debe optar por elegir el más práctico y sencillo asegurando que proporcione la información requerida. Al respecto existen varias propuestas entre las que destacan las de Griffing (1956) con sus clásicos cuatro métodos, cada uno con dos modelos. Y los diseños I II y III de Carolina del Norte generados por Comstock y Robinson (1948; 1952) citados por Márquez (1991).

Para este estudio se decidió utilizar el método IV modelo I de los sistemas dialélicos propuestos por Griffing (1956) por considerar que es un plan de cruzamientos práctico y se ha utilizado con éxito en la estimación de la cuantía de los efectos y varianzas genéticas de poblaciones, así como para conocer los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de los individuos empleados como progenitores y los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de la progenie evaluada (Márquez 1991)

En el presente estudio se persigue el siguiente objetivo, estimar las varianzas aditiva y de dominancia así como la heredabilidad de cuatro características agronómicas, para elegir la estrategia de mejoramiento genético más eficiente en cada grupo heterótico. Sustentado en la siguiente hipótesis: de las estrategias de mejoramiento utilizadas, una se ajustará con mayor eficiencia para explotar los efectos genéticos de cada característica.

Metodología experimental

Material genético

Este trabajo se realizó utilizando líneas representativas de los grupos de Maíz Enano y Exótico, del primero se tomaron ocho líneas y del grupo exótico nueve.

Maíz Enano: población cuya principal característica es estar constituida por plantas braquíticas (enanas) de diferente origen geográfico y genético, soportan altas densidades de siembra, responden positivamente a la aplicación de agroinsumos sin problemas de acame, muestran una considerable plasticidad de adaptación en combinaciones híbridas, su madurez es diversa, sus hojas breves y erectas, muestra tendencia a la prolificidad y espigas compactas.

Maíz Exótico: población dinámica constituida mediante la recombinación de híbridos comerciales actualmente en uso, con adaptación al área del Bajío a los que previamente se les prueba que posean buenos efectos de aptitud combinatoria.

Los cruzamientos dialélicos fueron formados en la localidad de Tepalcingo, Morelos en el ciclo otoño-invierno del 2001-2002 aplicando el diseño IV de los propuestos por Griffing (1956); las 28 cruza simples del grupo enano y las 36 del grupo exótico fueron evaluadas en cinco ambientes, primeramente en el 2002 durante el ciclo P-V en tres localidades: Celaya, Gto., La Piedad, Mich., y General Cepeda, Coah., y dos más en el 2003 en las localidades de Celaya, Gto. y El Prado, N. L., bajo un diseño de siembra de bloques al azar con dos repeticiones.

Las variables agronómicas estudiadas fueron: días a floración femenina (DFF) y masculina (DFM), altura de planta (AP) y rendimiento en mazorca al 15.5 % de humedad (REN), mismas que fueron analizadas de manera combinada a través de localidades bajo el método IV de Griffing. Empleando para ello el programa estadístico elaborado en lenguaje SAS reportado por Shang y Kang (2003) con el siguiente modelo estadístico.

$$Y_{ijkl} = \mu + l_i + p_{j(i)} + g_k + g_l + s_{kl} + lg_{ik} + lg_{il} + ls_{ikl} + s_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable de respuesta; μ = efecto de la media general; l_i = Efecto de la i -ésima localidad; $p_{j(i)}$ = efecto de j -ésimo bloque dentro de la i -ésima localidad; g_k = efecto de la aptitud combinatoria general del padre k ; g_l = efecto de la aptitud combinatoria general del padre l ; s_{kl} = efecto de la aptitud combinatoria específica de los padres k y l ; lg_{ik} = efecto de la interacción entre la i -ésima localidad y la aptitud combinatoria general del padre k ; lg_{il} = efecto de la interacción entre la i -ésima localidad y la aptitud combinatoria general del padre l ; ls_{ikl} = efecto de la interacción entre la i -ésima localidad y la aptitud combinatoria específica de los padres k y l ; s_{ijkl} = Error experimental.

Estimación de varianzas y errores estándar

Asumiendo que el coeficiente de endogamia es igual a 1 los estimados de varianza aditiva (σ_A^2) y de varianza de dominancia (σ_D^2) serían:

$$\sigma_A^2 = 2\sigma^2_{ACG} \text{ donde } : \sigma^2_{ACG} = \frac{M_6 - M_5 - M_3 + M_2}{rl(p-2)}$$

$$\sigma_D^2 = \sigma^2_{ACE} \text{ donde } : \sigma^2_{ACE} = \frac{M_5 - M_2}{rl}$$

A partir de la σ_A^2 y la σ_D^2 , se calculó los valores de heredabilidad en sentido estricto

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_F^2} \text{ para los caracteres evaluados.}$$

$$\sigma_F^2 = \sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \frac{\sigma_{AL}^2}{l} + \frac{\sigma_{DL}^2}{l} + \frac{\sigma_E^2}{rl}$$

Varianza de la varianza de ACG.

$$V(\sigma^2_{ACG}) = \frac{2}{[lr(p-2)]^2} \left[\frac{M_6^2}{glM_6+2} + \frac{M_5^2}{glM_5+2} + \frac{M_3^2}{glM_3+2} + \frac{M_2^2}{glM_2+2} \right]$$

$$\text{Varianza de la varianza de ACE. } V(\sigma^2_{ACE}) = \frac{1}{(lr)^2} \left[\frac{M_5^2}{glM_5+2} + \frac{M_2^2}{glM_2+2} \right]$$

$$\text{Varianza de la varianza aditiva: } V(\sigma_A^2) = 4V(\sigma^2_{ACG})$$

$$\text{Varianza de la varianza de dominancia: } V(\sigma_D^2) = 4V(\sigma^2_{ACE})$$

$$\text{Error estándar para la varianza aditiva: } \sqrt{V(\sigma_A^2)} \quad \text{ó} \quad 2\sqrt{V(\sigma^2_{ACG})}$$

$$\text{Error estándar para la varianza de dominancia: } \sqrt{V(\sigma_D^2)} \quad \text{ó} \quad \sqrt{V(\sigma^2_{ACE})}$$

$$\text{Error estándar para la heredabilidad: } EE(h^2) = EE(\sigma_A^2) / \sigma_F$$

Donde: σ_F^2 = varianza fenotípica; σ_A^2 = varianza aditiva por ambiente; σ_D^2 = varianza de dominancia por ambiente; l = número de ambientes; r = número de repeticiones; p = número de progenitores; M_2 = cuadrado medio de ACE x Loc; M_3 = cuadrado medio de ACG x Loc; M_5 = cuadrado medio de ACE; y M_6 = cuadrado medio de ACG

Resultados Y Discusión

En los componentes de varianzas genéticas estimados para el grupo de maíz enano (Cuadro 1) se observa que la varianza de dominancia fue mayor en la variable de rendimiento, sin pasar por alto que existe una considerable dosis de varianza aditiva por lo tanto, una buena alternativa es manejar esta característica aplicando mejoramiento por selección recíproca recurrente implicando al otro grupo complementario, el exótico, de esta manera simultáneamente se mejorarán ambas poblaciones, así como el patrón heterótico que existe entre ellas.

El valor calculado de heredabilidad para dicho carácter en esta población es intermedio, indicando que existe una cantidad considerable de genes favorables para la expresión de este carácter.

La varianza aditiva es superior a la de dominancia en las variables DFM, DFF y para AP, esto es un indicador de que esta población mostrará una alta respuesta al manejarse por selección recurrente, si la intención es mejorar la precocidad y altura de este grupo heterótico.

En cuanto a la heredabilidad de estos caracteres en base a la clasificación reportada por Chávez (1995) es alta, lo que indica que este grupo tiene una excelente información genética para estas características, que se traducirá en avances significativos por selección recurrente.

Cuadro 1. Resumen de los parámetros genéticos estimados en la Población Enana

Parámetro	Rendimiento (t ha⁻¹)	Días a flor macho	Días a flor femenina	Altura de planta (cm)
Media	12.452	83.466	85.239	152.428
σ^2_A	0.512	0.729	0.703	48.191
σ^2_D	0.683	0.014	0.111	45.287
h^2	0.296	0.601	0.539	0.403
EE σ^2_A	0.469	0.484	0.504	37.330
EE σ^2_D	0.361	0.141	0.167	20.834
EE h^2	0.274	0.399	0.387	0.312

EE = error estándar

Los resultados del análisis combinado aplicado al grupo de Maíz Exótico, se resumen en el Cuadro 2 donde al separar los componentes de varianza genética en aditiva y de dominancia, se observa que existe mayor presencia de genes con acción aditiva en DFM, DFH y AP lo cual indica que estos caracteres pueden ser mejorados bajo un esquema de selección recurrente con altas expectativas de ganancia por ciclo de selección.

Nuevamente la única variable que muestra mayor varianza del tipo no aditivo es el rendimiento, sin embargo, también porta suficiente varianza controlada por genes de acción aditiva, lo que sugiere que este carácter dará mejor respuesta a la selección al manejarlo en un programa de selección recíproca recurrente implicando a su contraparte, la población enana. Explotando la versatilidad de este esquema de mejoramiento, que aprovecha tanto la varianza aditiva, para mejorar las poblaciones por sí mismas, como la varianza de dominancia para mejorar el comportamiento de la cruce de los dos grupos.

El grado de heredabilidad en este grupo, según Chávez (1995) para DFH y AP es alta, de lo que se espera que al aplicar un esquema de mejoramiento recurrente se puedan tener respuestas rápidas a la selección. Mientras que para DFM y REN la heredabilidad es intermedia, en estas variables la respuesta a la selección se supone será menor al de las variables anteriores bajo un mismo esquema de mejoramiento.

De manera general con relación a los errores estándar, para los dos cuadros, entre menor sea el valor del error estándar asociado a un parámetro, mayor será la confiabilidad de la estimación. Lo deseable sería que sucediera en todos o en la mayoría de los casos como lo que se observa en el Cuadro 2 para la h^2 de altura de planta y su error asociado.

Cuadro 2. resumen de los parámetros genéticos estimados en la población exótica

Parámetro	Rendimiento (t ha⁻¹)	Días a flor macho	Días a flor femenina	Altura de planta (cm)
------------------	--	------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

Media		12.522	85.161	86.337	207.993
σ^2_A		0.351	0.431	1.553	92.054
σ^2	D	0.409	0.420	0.204	11.804
h^2		0.237	0.266	0.626	0.703
EE σ^2_A		0.409	0.486	0.924	46.781
EE σ^2	D	0.282	0.284	0.224	10.656
EE h^2		0.274	0.300	0.372	0.357

EE = error estándar

Conclusión

En función del desarrollo experimental a que fueron sometidos los dos grupos de líneas representativas del germoplasma de Maíz Enano y Exótico se puede concluir que las variables agronómicas analizadas están controladas por genes con acción aditiva en ambos grupos germoplásmicos, a excepción del carácter rendimiento, que mostró ser controlada por genes con acción no aditiva; esto conduce a plantear, dado que el objetivo central es magnificar el rendimiento del patrón heterótico, que lo más conducente es realizar selección recíproca recurrente entre ambos grupos.

Literatura Citada

- Chávez A., J. L. 1995. Mejoramiento de Plantas I. 2ª edición. Ed. Trillas, México, D. F. 136 p.
- Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9:463-493.
- Kang, S., M. and Zhang, Y. 2003. Diallel-SAS: A Program for Griffing's Diallel Methods. *In: Kang M S (ed) Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders. Food products Press. New York pp: 193-203.*
- Márquez S., F. 1991. Genotecnia vegetal. Métodos, teoría y resultados. Tomo III. AGT editor, S.A. México, D.F. 500 p.
- Melchinger, A. E., and R.K. Gumber. 1998. Overview of heterosis and heterotic groups in agronomic crops. *In: Lamkey, K. R., and J.E. Staub. (Eds). Concepts and Breeding of Heterosis in crop Plants. 1998. Madison, Wisconsin. Pp29-44.*