

FORMACION DE HIBRIDOS DE SORGO PARA GRANO. III. PROPOSICION DE UN MODELO DE SELECCION DE PROGENITORES CON BASE EN SUS PARAMETROS GENETICOS¹

Luis Manuel Serrano Covarrubias² y Leopoldo E. Mendoza Onofre³

RESUMEN

En México es escasa la literatura disponible sobre técnicas de selección de progenitores para formar híbridos en plantas autógamas. En este estudio se propone una estrategia para la selección de éstos en sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench), haciendo uso de valores de aptitud combinatoria general (ACG) y varianzas de aptitud combinatoria específica (σ^2_{ACE}), así como de la relación entre efectos aditivos y no aditivos en el valor de la progenie. Se muestra el uso de un valor ponderado de selección que involucra tanto a la ACG como a la σ^2_{ACE} .

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Sorghum bicolor, aptitud combinatoria, efectos aditivos y no aditivos, índice de selección.

SUMMARY

There is not enough information available in Mexico about parental lines selection criteria for hybrid formation on self-pollinated plants. In this paper a method is proposed for grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) parental selection, using general combining ability value and variance of the specific combining ability, ACG and σ^2_{ACE} respectively, as well as the relation between additive

and non additive effects on the progeny performance. The use of a weighted selection value that includes both, the ACG value and the σ^2_{ACE} is considered as the most suitable.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Sorghum bicolor, combining ability, additive and non additive effects, selection index.

INTRODUCCION

En los programas de mejoramiento genético de cualquier especie, sea ésta vegetal o animal, es necesario disponer de metodologías adecuadas que permitan, con buen grado de confiabilidad, elegir progenitores que en combinación híbrida generen individuos idóneos para su explotación comercial, o bien, que sirvan de base para formar una población genéticamente superior a la inicial.

Quizá el método más empleado para seleccionar progenitores sea el que se basa en el "Comportamiento *per se*", sobre todo cuando se trata de caracteres de herencia simple y/o de alta heredabilidad. Tal es el caso de la selección de progenitores para resistencia a enfermedades, donde la herencia, al menos para las royas en cereales, es gobernada por uno o dos pares de genes. Sin embargo, la mayoría de los caracteres de importancia económica son de baja heredabilidad, al igual que aquellos relacionados con resistencia o tolerancia a factores adversos como sequía, heladas y

¹ Investigación parcialmente financiada por el CONACYT, mediante Proyecto PCAFBNA-001268.

² Investigador Docente, Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. C.P. 56230. Chapingo, México.

³ Experto Nacional de la Red de Sorgo y Mijo del INIFAP, y Profesor Colaborador del Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. C.P. 56230. Chapingo, México.

calor. No obstante, herramientas estadísticas tan importantes como la estimación de la aptitud combinatoria general (ACG) y la aptitud combinatoria específica (ACE), cuya expresión se debe a efectos aditivos y no aditivos respectivamente, no han sido empleadas de manera adecuada para fines de selección de progenitores.

Atendiendo a esta necesidad, se planteó el presente estudio tendiendo a estimar los parámetros genéticos en un grupo de líneas progenitoras de sorgo para grano (18 líneas R y 17 líneas A) contrastantes en diferentes caracteres agronómicos, con el fin de identificar aquéllas que presentaran los efectos aditivos más altos y una menor varianza de efectos no aditivos.

Con esto, se propone un modelo de selección de progenitores haciendo uso de parámetros genéticos.

REVISION DE LITERATURA

En la selección de progenitores se han empleado diversos criterios, los cuales están determinados en gran medida por la amplitud de intereses que motivan a cada fitomejorador.

Uno de los criterios más empleados en la selección de progenitores, sobre todo cuando el interés es mejorar algún carácter cuantitativo, es la consideración de la aptitud combinatoria general (ACG) (Finkner *et al.*, 1976); idea que fue propuesta por Jenkins en 1935, tomando como base estudios de selección e hibridación en maíz *Zea mays* L. (Comstock *et al.*, 1949). La importancia del uso de la ACG fue demostrada posteriormente por Sprague y Tatum (1942), quienes definieron a la ACG como el comportamiento promedio de las líneas en combinaciones

híbridas y a la ACE como la desviación que presentan ciertas cruizas con respecto al valor esperado en base al comportamiento promedio de las líneas involucradas. Estos conceptos han sido extensamente usados por otros investigadores.

Genéticamente, la ACG está asociada con los efectos génicos aditivos. Por otro lado, a la ACE se atribuyen desviaciones de los esquemas aditivos, causados por efectos de dominancia y epistasis (Rojas y Sprague, 1952).

Varios investigadores han hecho resaltar la importancia relativa de la ACG en cultivos de plantas alógamas, principalmente en maíz (Rojas y Sprague, 1952; Sprague y Tatum, 1942) y alfalfa *Medicago sativa* (Carnahan *et al.*, 1960; Kehr, 1961). También se ha señalado que la ACG es relativamente más importante que la ACE en material que no ha sido seleccionado previamente; en cambio, la ACE se torna importante en material que previamente ha sido seleccionado (Kambal y Webster, 1965). Sin embargo, estas consideraciones son también válidas para cultivos de plantas autógamias, ya que la diferencia entre los dos tipos de polinización es poco importante cuando es posible el uso de técnicas especiales que permiten desarrollar híbridos en plantas que no son alógamas, *v. gr.* arroz *Oryza sativa* y trigo *Triticum aestivum* (Robinson, 1987).

En el caso del sorgo, a la fecha se han conducido numerosos trabajos en los que se menciona que la ACG es más importante que la ACE (Blum, 1968; Kambal y Webster, 1965; Malm, 1968). Cabe hacer notar que la mayoría de las estimaciones se han realizado haciendo uso de los diseños dialélicos, cuya teoría y procedimiento de análisis han sido discutidos por Hayman

(1954, 1957, 1960), Griffing (1956), Gardner y Eberhart (1966), entre muchos otros.

Otro criterio en la selección de progenitores se aplica cuando el objetivo del programa de formación de híbridos es utilizar a éstos en áreas donde predomina una condición limitante de algún factor. Aquí es obvia la selección de progenitores que mejor se comporten ante tal condición. Este criterio ha sido manejado por Hurd (1971), Mederski y Jeffers (1973) y Boyer y McPherson (1975) para seleccionar líneas de maíz tolerantes a sequía. Este esquema corresponde a la selección con base en su comportamiento *per se* y puede permitir obtener información adicional como precocidad y período de floración, en caso de buscar posteriormente una combinación híbrida que presente menos problemas de producción de semilla en forma comercial (Mendoza, 1988).

MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó con información derivada del proyecto "Mejoramiento genético del sorgo con enfoque fisiotécnico", cuyos avances han sido publicados por Mendoza y Hernández (1987) y Mendoza (1988). Específicamente, se utilizaron los datos del rendimiento de grano de 293 híbridos de los 306 posibles entre 17 líneas A y 18 líneas R, así como la de los progenitores para lo que se usaron las líneas B en el caso de las hembras. Esta información se analizó con base en un diseño experimental en bloques al azar con cuatro repeticiones, con una parcela útil de 3.20 m² por unidad experimental, en Tepalcingo, Morelos.

Análisis estadísticos

El grupo de progenitores masculinos y femeninos no provienen de una población común, ni su elección fue aleatoria; sin embargo, la información que se deriva de éstos, así como la de los híbridos entre ellos, se toma como de efecto aleatorio con el único propósito de mostrar, de manera objetiva, la aplicación del criterio propuesto de selección de progenitores.

El modelo estadístico empleado para el análisis de la información fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \bar{Y} + M_i + H_j + MH_{ij} + B_k + E_{ijk} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

Y_{ijk} = Es el valor observado de la variable Y en la combinación del progenitor masculino i con el femenino j en la k-ésima repetición.

\bar{Y} = Media general.

M_i = Efecto asociado al i-ésimo progenitor masculino.

H_j = Efecto asociado al j-ésimo progenitor femenino.

MH_{ij} = Efecto de interacción generada al cruzar los progenitores masculino y femenino i y j-ésimo, respectivamente.

B_k = Efecto asociado a la repetición k-ésima.

E_{ijk} = Efecto aleatorio asociado al error experimental.

Este modelo, propuesto por Comstock y Robinson (Comstock *et al.*, 1949), es conocido como Diseño II de Carolina del Norte, excepto que en este caso no se consideró el factor ambientes de evaluación. Fue posible obtener información relacionada con heredabilidades y porcentajes de varianzas genéticas aditivas y no aditivas, como se indica en el Cuadro 1, que corresponde al desglose señalado por Finkner *et al.*

(1976). Se considera que la endogamia de los progenitores es prácticamente total ($F=1$). Esta conversión de cuadrados medios a varianzas de aptitud combinatoria general y específica, permite apreciar la importancia relativa de ambos tipos de progenitores (δ y φ), así como de las aptitudes combinatorias que se generan en los híbridos.

Cuadro 1. Desglose de componentes de varianza.

Parámetro codificado	Componentes de varianza	Acción génica
(1)	M: σ^2_{ACGm}	Aditiva
(2)	H: σ^2_{ACGh}	Aditiva
(3)	M * H: σ^2_{ACE}	No aditiva
(4)	E: σ^2_e	Error experimental
(5)	$\sigma^2_G = (1) + (2) + (3)$	Varianza genética total

Porcentajes de varianza genética y heredabilidad

		Fórmulas
(6)	Varianza genética aditiva: σ^2_{Ga}	(1+2) / (5)
(7)	Varianza genética no aditiva: σ^2_{Gd}	(3) / (5)
(8)	Varianza genética debida a δ (σ^2_m): σ^2_{Gm}	(1) / (5)
(9)	Varianza genética debida a φ (σ^2_h): σ^2_{Gh}	(2) / (5)
(10)	Heredabilidad en sentido amplio	(5) / (4+5)
(11)	Heredabilidad en sentido estrecho	(1+2) / (4+5)

Por otro lado, es factible expresar el modelo de la Ecuación 1 en términos de efectos (Ec. 2) al promediar repeticiones y restar el valor de la media:

$$\bar{Y}_{ij} = m_i + h_j + mh_{ij} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

\bar{Y}_{ij} = Valor promedio del híbrido entre el progenitor i y j, siendo

$$\bar{Y}_{ij} = \left[\begin{array}{c} r \\ \sum_{k=1} Y_{ijk} \end{array} \right] / r$$

m_i = Efecto de aptitud combinatoria general del progenitor masculino i, siendo,

$$m_i = \frac{\sum_{j=1}^{17} \bar{Y}_{ij}}{h} = ACG_i$$

h_j = Efecto de aptitud combinatoria general del progenitor femenino j, siendo,

$$h_j = \frac{\sum_{i=1}^{18} \bar{Y}_{ij}}{m} = ACG_j$$

mh_{ij} = Efecto de aptitud combinatoria específica (ACE) de la cruce entre el progenitor masculino i y el progenitor femenino j, siendo,

$$mh_{ij} = \bar{Y}_{ij} - m_i - h_j \quad (\text{Ec. 3})$$

esta ecuación permitió conocer los valores genéticos que determinan la expresión de todos y cada uno de los híbridos.

Conocidos todos los valores, se procedió a estimar la varianza de la ACE para cada uno de los progenitores de la siguiente manera:

Para progenitores masculinos:

$$\sigma^2 ACE_i = \frac{\sum_{h=1}^{17} (mh)_{ij}^2}{h-1}$$

Para progenitores femeninos:

$$\sigma^2 ACE_j = \frac{\sum_{i=1}^{18} (mh)_{ij}^2}{m-1}$$

Con los valores de ACG_i y σ^2_{ACEi} para cada progenitor masculino, y ACG_j y σ^2_{ACEj} para los femeninos se procedió a estimar un valor de selección (VS) de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$VS_i = \left[p \left[\frac{ACG_i}{(ACG)'} \right] + (1-p) \left[1 - \frac{\sigma^2_{ACEi}}{(\sigma^2_{ACE})'} \right] \right] \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

VS_i = Valor de selección para la línea i.

p = Valor de ponderación, el cual toma valores de 0 a 1

ACG_i = Valor de aptitud combinatoria general de la línea i.

$(ACG)'$ = Valor máximo de ACG observado en el grupo de líneas comparadas.

σ^2_{ACEi} = Varianza de los efectos de ACE en las cruzas en que interviene la línea *i*.

$(\sigma^2_{ACE})'$ = Valor máximo de σ^2_{ACE} observado en las líneas comparadas.

También se incluyó en este estudio una comparación múltiple de medias para los efectos de ACG en ambos tipos de progenitores.

Por último, se compararon los resultados del comportamiento *per se* de cada progenitor, su valor de ACG, ACE y el valor de selección (VS) obtenido.

Selección de híbridos

La selección de híbridos se hizo de tres formas: 1) con base en su rendimiento *per se* en F_1 ; 2) por el valor de efectos aditivos y 3) por el cociente de los valores de efectos aditivos entre los no aditivos.

Para el segundo y tercer caso se hizo uso de la Ecuación 2, en donde la suma de los componentes m_i y h_j conforman la parte aditiva (A) y el componente m_{ij} la no aditiva (NA). Enseguida se estableció una relación entre efectos aditivos y no aditivos, lo que generó tres situaciones: 1) $A/NA > 1$; 2) $A/NA = 1$ y 3) $A/NA < 1$.

Con esta información, los híbridos seleccionados fueron aquellos que expresaron alto rendimiento y una relación de $A/NA > 1$, asegurando con ello que la expresión fenotípica del híbrido estuviera dada en su mayor parte por efectos heredables de manera directa.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 2 se presentan los resultados concentrados del análisis de varianza bajo el

modelo de bloques al azar (Ec. 1) y la estimación de los componentes de varianza correspondientes. De ello se desprende que existe al menos un progenitor masculino y uno femenino, con rendimiento diferente a través de sus cruzas con los progenitores restantes de cada sexo, y que dichos comportamientos, en ambos tipos de progenitores, se modifican por la participación del otro ($\alpha = 0.05$).

De la comparación de los componentes de varianza obtenidos, se deduce que la varianza genética fue mayor que la debida al error, y que dentro de aquella la parte aditiva fue mayor que la no aditiva; ello determinó heredabilidades altas ($H^2 = 62.9$ y $h^2 = 37.1\%$). Otro aspecto importante de estos datos (Cuadro 2), es que los progenitores femeninos presentaron mayor variación de efectos aditivos, lo cual indica una mayor posibilidad de selección en estos progenitores que en los masculinos.

Progenitores masculinos

La información obtenida para los diferentes progenitores masculinos en cada uno de los análisis estadísticos antes descritos, se condensa en el Cuadro 3. Esta información pone de manifiesto que el comportamiento *per se* de los progenitores presenta cierta similitud con el medido a través de sus cruzas, ACG, ($r = 0.64^*$, $\alpha = 0.05$) (Mendoza, 1988). Sin embargo, el progenitor de mejor comportamiento *per se* fue el "SC 369-SEL" con un rendimiento de 1.33 kg por parcela de 3.20 m² y ese mismo progenitor tuvo uno de los valores más bajos de ACG (1.35), lo cual indica, que la selección de progenitores con base en su comportamiento *per se*, no siempre permite identificar aquéllos con buena expresión en combinación híbrida.

Cuadro 2. Componentes de varianza en el análisis de varianza y sus relaciones, en el sistema de cruzamientos de 18 líneas R y 17 líneas A de sorgo para grano. Tepalcingo, Mor. 1982.

Número de parámetro	Componentes de varianza		Acción génica
(1)	σ^2_{ACGm}	0.016*	Aditiva
(2)	σ^2_{ACGh}	0.036*	Aditiva
(3)	σ^2_{ACE}	0.036*	Aditiva + no aditiva
(4)	σ^2_e	0.052	Error
(5)	σ^2_G	0.088	Varianza genética total
	<u>Porción de varianza genética y heredabilidad</u>		<u>Ecuaciones</u>
(6)	Varianza genética aditiva: σ^2_{Ga}	0.591	(1+2) / (5)
(7)	Varianza genética no aditiva: σ^2_{Gd}	0.409	(3) / (5)
(8)	Varianza genética debida a δ , σ^2_m : σ^2_{Gm}	0.182	(1) / (5)
(9)	Varianza genética debida a φ , σ^2_h : σ^2_{Gh}	0.409	(2) / (5)
(10)	H^2	62.9	(5) / (4+5)
(11)	h^2	37.1	(1+2) / (4+5)

* Estadísticamente significativo ($\alpha = 0.05$).

Por otro lado, en la determinación de los mejores progenitores con base en sus valores de ACG se puede incluir otro criterio, basado en la varianza de efectos de aptitud combinatoria específica (σ^2_{ACEI}), la cual es conveniente que sea mínima; con ello, se esperarí una mayor consistencia del rendi-

miento de los híbridos formados con los progenitores seleccionados. Por ejemplo, haciendo un análisis particular de los mejores siete progenitores masculinos por su mayor ACG, se tiene que la σ^2_{ACEI} va de 2.8 a 10.0, lo cual implica que las líneas SC-177 y SC-177-15E, a pesar de ser esta-

dísticamente superiores por su ACG, presentaron mayor inconsistencia del rendimiento en sus híbridos; es decir, participaron en cruzas de alto rendimiento, pero también intervinieron como progenitores en híbridos de bajo rendimiento; en cambio, los progenitores N-4610, NP Yellow-1 y NP Yellow-6, por tener valores bajos de σ^2_{ACE} y alto de ACG, fueron más consistentes en sus diferentes combinaciones híbridas.

• Los valores de selección (VS) (Cuadro 3) son simplemente una sugerencia para consi-

considerar en forma conjunta y ponderada los valores de ACGi y los de σ^2_{ACEi} para una mejor elección de progenitores. Nótese que el segundo ejemplo, cuando p toma valor de 0.8, los progenitores elegidos, asemejan a aquéllos que se elegirían por el valor de la ACG, situación que a su vez depende de los objetivos del programa de mejoramiento. De tal manera que seleccionar sólo por ACG es un caso particular de la Ecuación 4, cuando $p = 1$; pero si el objetivo es asegurar alto valor de ACG con una menor σ^2_{ACEi} , ambos con igual peso, p podría tomar el valor de 0.5.

Cuadro 3. Información sobre los progenitores masculinos. Tepalcingo, Mor. 1982.

Progenitor ♂	Rendimiento <i>per se</i> ¹	ACG	(σ^2_{ACE}) x 100	VS ⁽²⁾	VS ⁽³⁾
11. SC-33-9-8	1.12	1.73 a	6.8	0.736 ⁽⁴⁾	0.895 ⁽⁴⁾
5. N-4610	1.13	1.61 ab	2.8	0.875 ⁽⁴⁾	0.901 ⁽⁴⁾
1. NP-Yellow-1	0.94	1.56 b	4.5	0.776 ⁽⁴⁾	0.852 ⁽⁴⁾
18. Tam-blk 39 sel	0.92	1.54 bc	3.7	0.802	0.855 ⁽⁴⁾
9. SC 177-15E	0.86	1.54 bc	8.4	0.620	0.782
16. NP-Yellow-6	0.65	1.52 bc	3.0	0.823 ⁽⁴⁾	0.856 ⁽⁴⁾
10. SC-177	0.90	1.51 bc	10.0	0.549	0.743
13. CK-Short Kuara	1.01	1.49 bc	12.9	0.431	0.689
15. R-1-6 Fam. 14	0.79	1.43 cd	1.3	0.863	0.869
17. R-5-28	0.77	1.41 cd	1.5	0.849	0.829
6. Plainsman	0.83	1.40 cd	3.6	0.765	0.792
3. (KS19-KS21)-1	0.81	1.39 cd	2.1	0.820	0.810
2. (KS19-KS21)-4	0.52	1.39 cd	10.0	0.514	0.688
4. (EH-KS19)-1	0.79	1.35 cde	3.8	0.743	0.765
8. SC-369-Sel	1.33	1.35 cde	5.2	0.689	0.744
14. NP-Yellow-8	0.45	1.21 de	3.3	0.745	0.745
12. CK-Korgi (1)	0.55	1.19 e	4.0	0.689	0.688
7. N-4917	0.53	1.07 f	5.3	0.604	0.613

Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$)

⁽¹⁾ Valores en kg de grano por parcela (3.20 m²).

⁽²⁾ y ⁽³⁾ Valores de selección estimados con ponderantes (p) de 0.5 y 0.8, respectivamente.

⁽⁴⁾ Progenitores seleccionados por los VS.

Progenitores femeninos

Los resultados para las líneas hembra se presentan en el Cuadro 4. Desafortunadamente, no se dispuso de semilla suficiente de cuatro líneas B, por lo cual no se tiene el comportamiento *per se* respectivo; no obstante, pudo obtenerse la información completa de sus híbridos.

Con base en la información disponible, se aprecia poca concordancia entre el comportamiento *per se* y los valores de ACG con correlación de $r = 0.55^*$; así, las

líneas A-3-28 y KS-57 obtuvieron media de ACG estadísticamente igual; en cambio, el rendimiento *per se* de la segunda línea fue 2.5 veces mayor que el expresado por la primera.

Por otro lado, a diferencia de lo ocurrido con los progenitores masculinos, los mejores progenitores femeninos por su ACG también lo fueron al juzgar los valores de selección, a pesar de que el primero (SC 102-9) presentó un valor alto de σ^2_{ACEj} (9.0), lo cual no fue suficiente para eliminarlo, dada su superioridad en ACG.

Cuadro 4. Información sobre los progenitores femeninos. Tepalcingo, Mor. 1982.

Progenitor ♀	Rendimiento <i>per se</i> ⁽¹⁾	ACG	(σ^2_{ACE}) x 100	VS ⁽²⁾	VS ⁽³⁾
1. SC 102-9	1.24	1.93 a	9.0	0.685 ⁽⁴⁾	0.874 ⁽⁴⁾
10. Tx-623	1.70	1.74 a	4.2	0.804 ⁽⁴⁾	0.863 ⁽⁴⁾
13. Tx-7701	---	1.67 ab	3.1	0.824 ⁽⁴⁾	0.849 ⁽⁴⁾
2. IS-10428	---	1.55 abc	2.7	0.807 ⁽⁴⁾	0.805 ⁽⁴⁾
11. Doggett B9	1.05	1.50 abc	1.7	0.829 ⁽⁴⁾	0.798 ⁽⁴⁾
5. OK-54	---	1.47 abc	3.2	0.763	0.765
4. 1399	1.29	1.47 abc	7.1	0.653	0.710
14. CK-W Sourless	1.31	1.43 abc	7.0	0.626	0.695
6. CK-KS 19	1.15	1.37 bc	1.7	0.795	0.744
3. KS-22	0.85	1.33 bc	1.3	0.799	0.733
7. CK-Atlas	1.11	1.33 bc	2.6	0.754	0.715
9. A-3-28	0.40	1.32 bc	4.2	0.695	0.688
15. KS-57	1.00	1.28 bc	2.9	0.730	0.690
12. A-3-61	---	1.24 bc	4.5	0.664	0.651
8. KS-24	0.97	1.23 bc	3.2	0.707	0.665
17. Wheatland-Tx 415	0.67	1.19 c	3.2	0.696	0.649
16. Tx-2751	0.71	1.18 c	14.3	0.306	0.489

Cifras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $\sigma = 0.05$).

⁽¹⁾ Valores en kg de grano por parcela (3.20 m²).

⁽²⁾ y ⁽³⁾ Valores de selección estimados con ponderantes (p) de 0.5 y 0.8, respectivamente.

⁽⁴⁾ Progenitores seleccionados por los VS.

De ello se infiere que los valores de selección son particularmente útiles cuando se tenga incertidumbre dentro de un grupo de progenitores con valores de ACG estadísticamente iguales. En cambio, cuando las diferencias en ACG son por demás evidentes, no tendría sentido recurrir a procesos estadísticamente complejos.

Selección de híbridos

El número de híbridos que se genera en estos sistemas de apareamiento es generalmente alto; ello hace que en ocasiones no sea posible evaluarlos con suficientes repeticiones y por consiguiente resulte un amplio número de híbridos estadísticamente superiores.

El esquema de selección de híbridos que aquí se propone es aplicable únicamente al grupo superior y que, con base en su valor fenotípico, estadísticamente no muestre diferencias significativas. Es entonces cuando conviene tener un criterio adicional que permita elegir, con base en el modelo genotípico, aquéllos cuyo comportamiento esté dado más por efectos aditivos que por los no aditivos, sobre todo si se emplea por más de una generación.

La variable considerada para el caso es rendimiento de grano y los resultados obtenidos para los mejores 15 híbridos (Tukey, $\alpha = 0.05$) se presentan en el Cuadro 5. Suponer que se desea seleccionar a los cinco híbridos con mayor rendimiento, con el fin de proponerlos para explotación comercial; entonces, los mejores serían los formados por las combinaciones 1x5, 1x6, 14x10, 1x15 y 1x17 entre líneas ♀ y ♂, respectivamente. En cambio, si el objetivo es formar un compuesto de alto rendimiento y de amplia base genética para de ahí posteriormente derivar líneas R con alta

ACG, entonces los híbridos seleccionados serán los que genéticamente estén determinados en mayor grado por efectos aditivos; en este caso serían las combinaciones 1x5, 1x15, 1x17, 1x14 y 1x3. Nótese que se excluyen las combinaciones 1x6 y 14x10 debido a que presentan un alto efecto de ACE, o sea efectos no aditivos.

La eficiencia en la selección de progenitores bajo este criterio se espera que sea mayor en la medida en que la evaluación ocurra en un mayor número de ambientes.

BIBLIOGRAFIA

- Blum, A. 1968. Estimates of general and specific combining ability for forage yield in F_1 hybrids of forage sorghum. *Crop Sci.* 8: 392-393.
- Boyer, J. S. and H. G. McPherson. 1975. Physiology of water deficits in cereal crops. *Adv. in Agron.* 27: 1-23.
- Carnahan, H.L., A. W. Hovin, H. O. Graumann, W. R. Kehr, R. L. Davis, L. J. Elling, and C. H. Hanson. 1960. General vs specific combining ability in alfalfa for seedling vigor and growth habit in the year of establishment. *Agron. J.* 52: 511-515.
- Comstock, R. E., H. F. Robinson, and P. H. Harvey. 1949. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agron. J.* 41: 360-367.
- Finkner, R. E., M. D. Finkner, B. A. Rojas, and N. R. Malm. 1976. Combining abilities and heritability from incomplete diallel systems in grain sorghum. *Agricultural Experiment Station. Bull. No. 642.* Las Cruces, New México. 12 p.
- Gardner, C. O. and S. A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-493.

Cuadro 5. Rendimiento de grano de los 15 híbridos estadísticamente superiores (Tukey, $\alpha = 0.05$) con la participación de efectos de aptitud combinatoria. Tepalcingo, Mor. 1982.

Progenitores		Rendimiento	ACG	ACE	ACG
♀	♂	kg/3.20 m ² (F _i)			ACE
1	5	2.48 ¹	0.71	0.38	1.87 ²
1	6	2.31 ¹	0.48	0.44	1.09
14	10	2.14 ¹	0.10	0.65	1.05
1	15	2.13 ¹	0.51	0.23	2.26 ²
1	17	2.11 ¹	0.53	0.19	2.75 ³
4	1	2.06	0.23	0.49	0.53
1	8	2.03	0.40	0.24	1.70
1	14	2.01	0.42	0.20	2.09 ³
4	2	2.00	0.07	0.54	0.13
1	3	2.00	0.49	0.12	4.19 ²
2	5	1.96	0.36	0.21	1.71
14	9	1.95	0.13	0.43	0.30
13	16	1.94	0.33	0.21	1.62
1	1	1.93	0.62	-0.08	-2.12
1	4	1.93	0.44	0.10	4.40
--	--	---	---	---	---
--	--	---	---	---	---
--	--	---	---	---	---

Y = 1.39; ¹ híbridos seleccionados con base en su alto rendimiento (AR); ² híbridos seleccionados con base en AR y por la alta relación entre ACG y ACE.

Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 463-452.

Hayman, B. I. 1954. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*. 10: 235-355.

_____. 1957. Interaction, heterosis, and diallel crosses. *Genetics* 42: 336-355.

_____. 1960. The theory and analysis of diallel crosses. III. *Genetics* 45: 155-172.

Hurd, E. A. 1971. Can we breed for drought resistance? In: *Drought Injury and Resistance in Crops*. K. L. Larson and J. D. Eastin (eds.). CSSA. Spec. Publ. 2. Madison, Wis., USA. pp. 77-48.

- Kambal, A. E. and O. J. Webster. 1965. Estimates of general and specific combining ability in grain sorghum *Sorghum vulgare* Pers. Crop Sci. 5: 521-523.
- Kehr, W. R. 1961. General and specific combining ability for four agronomic traits in a diallel series among six alfalfa clones. Crop Sci. 1: 53-54.
- Malm, N. R. 1968. Exotic germoplasm in grain sorghum improvement. Crop Sci. 8:295-298.
- Mederski, H. J. and D. L. Jeffers. 1973. Yield response of soybean varieties grown at two soil moisture stress levels. Agron. J. 65: 410-412.
- Mendoza O., L. E. 1988. Formación de híbridos de sorgo para grano. II. Comportamiento *per se* de las líneas y su aptitud combinatoria general. Rev. Fitotec. Mex. 11: 39-47.
- _____ y A. Hernández L. 1987. Formación de híbridos de sorgo para grano. I. Evaluación de líneas progenitoras. Fitotecnia 10: 99-110.
- Robinson, R. A. 1987. Manejo del Hospedante en Patosistemas Agrícolas. Trad. al español por Roberto García Mata. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. p. 186.
- Rojas, B. and G. F. Sprague. 1952. A comparison of variance components in corn yield trials. III. General and specific combining ability and their interaction with locations and years. Agron. J. 44: 462-466.
- Sprague, G. F. and L. A. Tatum. 1942. General vs specific combining ability in single crosses of corn. J. Amer. Soc. Agron. 34: 923-932.