

ANÁLISIS DIALÉLICO Y HETEROSIS PARA DIFERENTES CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS EN SORGO FORRAJERO

Sathyanarayanaiah Kuruvadi¹
Bernardino Méndez Baldaneda²
Luis Angel Muñoz Romero³

RESUMEN

En esta investigación se evaluaron seis hembras, 13 machos y sus 78 cru-
zas, bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, con el objetivo de
identificar progenitores con alto valor de Aptitud Combinatoria General (ACG) y
Aptitud Combinatoria Específica (ACE) en los híbridos, estudiar heterosis para for-
raje y otras características agronómicas. El análisis de varianza indicó diferen-
cias significativas para ACG, en las hembras y machos, en rendimiento de forra-
je verde y seco, diámetro de tallo (excepto en hembras) número de hojas, altura
de planta y área de hoja bandera, revelando acción de genes aditivos en la he-
rencia de estas características. Las hembras produjeron más altos valores de ACG
para la mayoría de las características estudiadas en comparación con los ma-
chos.

Se identificaron las hembras 1, 3 y 4, y los machos 19, 14, 16 y 17 como
combinadores sobresalientes para forraje y otras características cuantitativas. Se
manifestó heterosis para forraje verde y seco sobre progenitor superior, en 35.9
y 32.1% de las cruas estudiadas. Para rendimiento de forraje verde y seco la he-
terosis varió entre -63 a 52.8% y -74.5 a 54.4% respectivamente, sobre progeni-
tor superior.

Palabras clave: Sorgo, forraje, análisis dialélico, Aptitud Combinatoria Ge-
neral (ACG) y Aptitud Combinatoria Específica (ACE)

1 Ph. D. y 3. Ing. M.C. Maestros Investigadores Depto. de Fitomejoramiento, Div. Agronomía. UAAAN.
2 Tesista

SUMMARY

In this investigation six females and 13 males and their 78 hybrids were evaluated using a randomized block design with two replications, with an object of identifying better parents with higher values of general combining ability (GCA), and crosses with higher values of specific combining ability (SCA) and to study the heterosis for fodder and other agronomic traits. The analysis of variance indicated significant differences for GCA in female and males for the yield of green and dry fodder, stem diameter (except in females), number of leaves per plant, plant height and flag leaf area, revealing the additive gene action in the inheritance of these traits. The females were manifested higher values of GCA for the majority of the characters studied on comparison with the males.

The females 1, 3 and 4, and males 19, 14, 16 and 17 were identified as superior combiners for fodder and other quantitative characters. Heterosis over better parent for green and dry fodder were recorded in 35.9 and 32.1% of the crosses studied respectively. The heterosis for green and dry fodder varied from -63 to 52.8% and -74.5 to 54.4% respectively over superior parent.

Key words: Sorghum, forage, diallelic analysis, General Combining Ability (GCA), Specific Combining Ability (SCA).

INTRODUCCIÓN

La producción de forraje es una de las actividades primarias importantes en México porque ésta es la materia prima para producir alimentos altos en proteínas como carne, leche y sus productos. Una de las características del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare* L. Moench) es que es un alimento valioso para la manutención de los animales rumiantes en sus diferentes etapas de crecimiento, puesto que generalmente contiene buen valor nutritivo cuando se corta o pastorea en épocas adecuadas, posee digestibilidad, contenido protéico aceptable, y energético de buena palatabilidad.

El mejoramiento en la calidad de forraje está relacionado con el genotipo de sorgo que cultive y la finalidad de su uso. En diversos países tales como: Nigeria, África, Estados Unidos de Norteamérica, India y Australia, se han obtenido líneas puras, líneas androestériles, líneas restauradoras e híbridos potenciales forrajeros, a través de estudios de aptitud combinatoria.

El estudio de análisis de aptitud combinatoria de diferentes características agronómicas del cultivo, influye y auxilia al fitomejoramiento para seleccionar a los mejores progenitores (Johnson y Hays, 1939) y para tener éxito en la producción de híbridos superiores, formación de sintéticos potenciales (Tysdal y Crandall, 1948), además de que permite obtener recombinaciones deseables en la generaciones tempranas y avanzadas (Lupton, 1960) en los cultivos.

Varios investigadores (Beil y Atkins, 1967; Dangi y Paroda, 1978 y Kambal y Webster, 1965) han estudiado la aptitud combinatoria general y específica para componentes de rendimiento y características agronómicas, en los sorgos de la especie de grano (*Sorghum bicolor* L. Moench), pero tal información es escasa en los sorgos forrajeros. Por lo tanto, en esta investigación se plantearon los objetivos siguientes: identificar a las mejores líneas hembras y machos con altos valores de aptitud combinatoria general (ACG) y las mejores cruzas con alto valor de aptitud combinatoria específica (ACE), además de estudiar heterosis para forraje y otras características cuantitativas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los recursos genéticos consisten en líneas élite, formadas por seis hembras (At x 378A, At x 399A, At x 622A, At 624A, At x 3197A y 4T x A) androestériles, las cuales han sido seleccionadas por sus características deseables, tales como: grosor de tallo, número de hojas, precocidad, semienanos y resistencia a enfermedades. Los trece machos (78-1600, 1602, 1603, 1606, 1607, 1608, 1609, 1611, 1612, 1613, 1614, 1445 y 33) son líneas que contienen genes restauradores, seleccionadas en base a: alto rendimiento, altura de planta, número de hojas, grosor de tallo y características agronómicas debido a su diversidad geográfica, ya que provienen del International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) de la India y de la Universidad de Nebraska de Estados Unidos de Norteamérica.

Las hembras y machos se sembraron en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, de Saltillo, Coahuila, México, en dos fechas de siembra, con 15 días de diferencia para facilitar la sincronización de floración y para realizar máximo número de cruzas. Las cruzas se efectuaron con base al diseño II de Carolina del Norte (Comstock y Robinson, 1948). Las 97 poblaciones (6 mantenedores, 13 machos y 78 cruzas) se sembraron en el campo bajo un diseño de bloques al azar con dos repeticiones, en Anáhuac, Nuevo León. La distancia entre surco fue de 80 cm, la siembra se efectuó a chorrillo, manualmente y en tierra venida. La parcela experimental consistió en dos surcos de 5 m y la parcela útil de 1.92 m².

Se proporcionó una dosis de fertilización de 120-60-00 por hectárea, al momento de siembra se aplicó la mitad de nitrógeno y el fósforo total, y la parte restante de nitrógeno se suministró en el primer aporque a los 40 días; se dio un riego de post siembra y tres de auxilio según las necesidades del cultivo. En la fase de desarrollo, con más de 50% de floración, se cosechó el forraje de la parcela útil.

Se tomaron datos sobre ocho características agronómicas y los promedios se utilizaron para estimación de varianza, según el diseño II de Carolina del Nor-

te, de Comstock y Robinson (1948); los efectos de ACG y ACE fueron estimados de acuerdo a la metodología propuesta por Jenkins y Brunson (1932). Se determinó el porcentaje de heterosis para diferentes características, mediante la fórmula de Sinha y Khanna (1975).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza (Cuadro 1) para ACG en las hembras y machos, y para ACE en machos por hembras, indican diferencias significativas para rendimiento de forraje fresco y seco, y diámetro del tallo (excepto en las hembras), revelando que los efectos aditivos y no aditivos están involucrados en la herencia de estos rasgos. Sin embargo, la comparación de varianzas de ACG y ACE para forraje verde y seco, indicó el papel predominante de ACG sobre ACE, deduciéndose que estos rasgos están controlados por genes aditivos y se puede predecir su comportamiento en generaciones tempranas. Se encontraron diferencias altamente significativas para ACG en las hembras y machos para número de hojas por planta, altura de planta y área de hoja bandera, no así para las mismas características para ACE en machos por hembras. Esto indica que estos atributos están controlados mayormente por acción de genes aditivos, lo que sugiere que es posible obtener avance y mejorar estos componentes del rendimiento de forraje sorgo individualmente en el mejoramiento del cultivo. Los valores de ACG fueron muy altos en las hembras para rendimiento de forraje, número de hojas por planta y área de hoja bandera, comparados con los machos. Estos resultados confirman lo reportado por Chandra *et al.* (1974) para altura de planta, número de hojas por planta (Dangi y Paroda, 1978 y Saini y Paroda, 1975) y rendimiento de tallos y hojas en sorgo forrajero (Ross *et al.*, 1983).

Los machos produjeron 63.18% y 98.15% más forraje verde y seco respectivamente, en comparación con las hembras. Los machos 7, 16, 19 y 18, y las hembras 5, 4 y 3 produjeron altos rendimientos comparados con otros progenitores incluidos. Los híbridos 1x19, 6x19, 6x13, 3x14, 1x14, 1x15 y 1x16 manifestaron altos rendimientos de forraje.

Los efectos de ACG para las hembras y machos, se presentan en el (Cuadro 2). Las hembras 1x4 y los machos 14, 11, 16, 12, 10 y 19 expresaron valores positivos para ACG, para forraje verde y seco. La ACG está constituida por varianza aditiva y por la interacción de varianza aditiva x aditiva; por lo tanto, estos progenitores poseen acción de genes aditivos implicados, que pueden generar segregantes superiores para forraje en generaciones futuras.

Para el carácter diámetro de tallo, las hembras 2 y 3, y los machos 19, 14 y 7, produjeron valores altos y fueron combinadores superiores para grosor del tallo. Número de hojas es un componente muy importante pues contribuye en la producción de forraje verde y seco. En el programa de sorgo forrajero siempre

Cuadro 1. Análisis de varianza para diferentes características agronómicas en sorgo forrajero.

Fuente de variación	Grado de libertad	Cuadrados Medios						Área de hoja bandera
		Peso fresco forraje	Peso seco de forraje	Diámetro de tallo	Número de hojas	Altura de planta		
Machos	12	4.512*	2.566**	0.028*	1.573**	0.199*	1966.446**	
Hembras	5	8.772**	5.922**	0.028NS	6.578**	0.177**	4469.408**	
Machos/hembras	60	3.681**	2.253**	0.024**	0.551NS	0.024NS	429.037NS	
Error	77	2.194	0.815	0.014	0.412	0.019	387.226	
C.V. (%)		21.19	41.26	10.29	7.08	7.00	2.52	

* Significativo al 5% de probabilidad

** Significativo al 1% de probabilidad

NS No Significativo

CV Coeficiente de Variación

Cuadro 2. Efectos de aptitud combinatoria general para diferentes características agonomías en las hembras y machos en sorgo forrajero.

Genotipo	Peso fresco de forraje	Peso seco de forraje	Diámetro de tallo	Número de hojas	Altura de planta	Área de hoja bandera
Hembras						
1	0.334	0.030	-0.060	-0.087	-0.013	2.390
2	0.212	-0.040	0.020	-0.217	-0.042	11.170
3	-0.015	-0.010	0.030	-0.087	-0.033	-3.480
4	0.159	0.100	-0.020	0.243	0.027	-5.710
5	-0.355	-0.060	-0.020	0.333	0.067	-6.060
6	-0.337	0.000	0.000	-0.217	-0.023	1.690
Machos						
7	-0.348	-0.200	0.020	0.053	0.057	8.820
8	-0.305	-0.057	0.010	0.173	-0.003	12.090
9	-0.447	-0.199	-0.070	0.073	0.037	4.070
10	0.237	0.131	-0.050	-0.127	-0.093	11.840
11	0.281	0.097	-0.050	-0.177	-0.073	-5.830
12	0.280	0.069	-0.020	-0.157	-0.073	-4.780
13	-0.320	0.595	-0.080	-0.247	-0.053	5.170
14	0.451	0.107	0.030	-0.187	-0.053	-5.570
15	-0.200	-0.014	0.010	0.203	0.027	-3.030
16	0.277	0.006	0.000	0.103	0.017	-1.450
17	0.051	-0.022	0.000	0.133	0.067	-4.190
18	-0.175	-0.008	-0.020	-0.057	-0.033	-5.180
19	0.212	-0.073	0.040	0.163	0.127	6.290

tienen que utilizarse los mejores combinadores tales como las hembras 4 y 5 y machos 15, 8 y 16, para obtener híbridos potenciales y recombinantes superiores.

La altura de planta es un carácter relacionado en la determinación del rendimiento de forraje del genotipo. La planta más alta produce más nudos, entrenudos, mayor número de hojas y, por consiguiente, produce mejor biomasa en comparación de los genotipos enanos.

En esta investigación las hembras produjeron bajos rendimientos de forraje debido a su baja estatura, mientras que los machos presentaron más por poseer porte alto. Las hembras 4 y 5, y los machos 19, 17, 7 y 9, fueron los combinadores superiores para desarrollar variedades con porte alto. Las hembras 2 y 3, y los machos 10, 11, 12, 13 y 14, manifestaron valores altos y negativos para altura de planta y fueron los mejores combinadores para desarrollar plantas con baja altura.

La hoja bandera es muy tierna en comparación con todas las hojas de la planta de sorgo, al tiempo de floración a madurez fisiológica, esta hoja, en su localización, está más cerca a la panoja y tiene una eficiente fotosíntesis si se compara con las hojas inferiores y los fotosintatos desarrollados se pueden trasladar a la panoja directamente.

La hoja bandera tiene un papel muy importante en el sorgo para grano; las hembras 5, 4 y 3, y los machos 11, 14, 18, 12 y 17, expresaron valores negativos y altos, por lo que se establece que estos tipos de combinadores producen hoja bandera pequeña con menos superficie pero, en programa de sorgo forrajero, es mejor seleccionar a los combinadores con valores positivos y mayores para área de hoja bandera. Se identificaron las hembras 2, 1 y 6 y los machos 8, 10, 7, 19, 13 y 9, como combinadores sobresalientes para producir más superficie de hoja bandera.

Al analizar simultáneamente los efectos de ACG, las hembras 1, 3 y 4 y los machos 19, 14, 16, 17 y 19, fueron los mejores, al presentar valores altos y positivos para rendimiento de forraje y otras características agronómicas. Por lo tanto, estos progenitores deben de incluirse en el programa de hibridación para desarrollar híbridos potenciales y para obtener recombinantes superiores en generaciones tempranas, ya que son de utilidad para formar líneas componentes en el desarrollo de sintéticos, poblaciones recurrentes y compuestos.

Es difícil enlistar un largo volumen de datos de efectos de ACE y heterosis para diferentes características en 78 híbridos, por lo tanto, sólo ciertas combinaciones serán discutidas en este artículo. Considerando la ACE para las cruza 1x19, 3x19, 4x9, 5x18 y 6x19, presentaron altos valores para el rendimiento de forraje. La ACE constituye la varianza no aditiva (varianza de dominancia y la varianza de la interacción). Estas cruza generalmente producen alta heterosis, por lo que hay que explotar el potencial en el nivel de la F₁.

La heterosis es el producto de comparar las características de la generación F₁ con el promedio de ambos progenitores (heterosis) y con el promedio de progenitor superior (heterobeltiosis). El objetivo del mejoramiento genético, en cualquier cultivo, es desarrollar materiales altamente rendidores, ya sean líneas puras, híbridos potenciales o poblaciones sobresalientes que el progenitor superior. Por lo tanto, en este artículo se discuten sólo datos de heterobeltiosis.

Existe una gran variabilidad de un extremo a otro para heterosis en la F₁. Para rendimiento de forraje verde y seco, la heterobeltiosis varió entre -63 a 52.8% y -74.5 a 54.4%, respectivamente. Karper y Quinby (1937) y Isakove (1972) reportaron 75% y 22 a 110% de heterosis, respectivamente, en rendimiento de forraje en los híbridos en sorgo comparando con sus respectivos padres. En el presente estudio 35.9 y 32.1% de cruza manifestaron heterobeltiosis para forraje ver-

de y seco, respectivamente, y los híbridos 2x12 (52.8%), 1x11 (35.8%), 3x12 (28.2%) y 1x12 (21.8%) para forraje verde, mientras que las cruzas 1x19 (54.4%), 2x13 (54.3%), 4x12 (46.3%), 3x13 (44.8%) 3x8 (43.7%) y 3x9 (38.6%) para forraje seco, expresaron heterobeltiosis. Heterosis sobre progenitor superior fue registrado por 7.69, 28.2, 32.1 y 14.1% de las cruzas estudiadas, para las características: diámetro del tallo, número de hojas, altura de planta y área de hoja bandera, respectivamente.

En las cruzas antes citadas, produjeron valores superiores de heterobeltiosis positivas por los siguientes razonamientos: diversidad genética entre ambos progenitores en la crusa, altos valores de ACG de ambos progenitores, altos valores de ACE de la crusa, y una combinación de altos valores de ACG de los progenitores y altos valores de ACE de la crusa.

CONCLUSIONES

1. Existe una amplia gama de variabilidad para forraje verde, seco y diferentes características agronómicas en los recursos genéticos estudiados.
2. Se identificaron las hembras 1, 3 y 4, y los machos 19, 14, 16 y 17, como combinadores sobresalientes para forraje y otras características cuantitativas.
3. Las cruzas 1x19, 3x19, 4x9, 5x18 y 6x19 presentaron altos valores de ACE para el rendimiento de forraje.
4. Se manifestó heterosis para forraje verde y seco sobre progenitor superior, con 35.9 y 32.1% de las cruzas estudiadas.
5. Los híbridos 2x12, 1x11, 3x12 y 1x12 para forraje verde y las cruzas 1x19, 2x13, 4x12, 3x13, 3x8 y 3x9 para forraje seco, expresaron heterosis entre 21.8 a 54.4%, sobre progenitor superior.

LITERATURA CITADA

- Beil, G.M., R.E. Atkins. 1967. Estimates of general and specific combining ability in F1 hybrids for grain yield and its components in grain sorghum (*Sorghum vulgare Pers*) Crop Sci. 7:225-228.
- Chandra, S., H.S. Pooni, y G.D. Sharma. 1974. Gene action governing days to flowering, plant height and stem girth in sorghum. Indian J. Agric. Sci. 43:429-530.

- Comstock, R.E. y H.F. Robinson. 1948. The components of genetic variance in population of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics*. 4:254-266.
- Dangi, O.P. y R.S. Paroda. 1978. Combining ability analysis for yield and its components in forage sorghum. *Indian J. Agric. Sci.* 48:287-290.
- Isakove, Y.I. 1972. Breeding and seed production in sorghum. *Kukuraze*. 6:30-31.
- Jenkins, M.T. y A.M. Brunson. 1932. Method of testing inbred lines of maize in cross breed combinations. *J. Am. Soc. Agron.* 24(7):523-530.
- Johnson, I.J. y H.K. Hays. 1939. The value of hybrid combinations of inbred lines of corn selected from single crosses by the pedigree method of breeding. *J. Am. Soc.*
- Kambal, A.F. y O.J. Webster. 1965. Estimates of general and specific combining ability in grain sorghum (*Sorghum vulgare Pers*). *Crop. Sci.* 5:521-523.
- Karper, R.E. y J.R. Quinby. 1937. Hybrid vigor in sorghums. *J. Heredity*. 28:82-91.
- Lupton, F.G.H. 1960. Assessment of the combining ability of winter wheat varieties in breeding for yield. *Heredity*. 14:458-460.
- Ross, W.M., H.J. Gorz, G.H. Haskins, G.H. Hookstra, J.K. Rutto y K. Ritter. 1983. Combining ability effects for forage residue traits grain sorghum hybrids. *Crop Sci.* 23:97-101.
- Saini, M.L. y R.S. Paroda. 1975. Inheritance of forage quantitative attributes in species of Eu-sorghum. *Genet. Agron.* 29:371-378.
- Sinha, S.K. y R. Khanna. 1975. Physiological biochemical and genetic basis of heterosis. *Adv. Agron.* 27:123-171.
- Tysdal, H.M. y B.H. Crandall. 1984. The poly cross progeny performance as an index of the combining ability of alfalfa clones. *J. Am. Soc. Agron.* 40:293-306.

AGRADECIMIENTO

Se reconoce y agradece la participación de: Hans Raj Chaudhary, Manuel Pánuco Valerio, Roberto Cárdenas Villarreal y Edgar Edmundo Guzmán Medrano que de una y otra forma ayudaron para que se llevara a cabo este trabajo.