

VIGOR HÍBRIDO Y SU ABATIMIENTO EN OCHO CRUZAS DE SORGO PARA GRANO

Por Leslie Infante Heller, Fidel Márquez Sánchez
y Salvador Miranda Colín

Por mucho tiempo se consideró que en las plantas autógamias no se manifestaba el vigor híbrido. Su manifestación cuantitativa depende de la constitución genética de los progenitores considerados y de la acción génica ya que puede llegar a tener valores de cero o negativos. El objeto del presente trabajo es investigar si las condiciones climáticas de las zonas templadas y calientes de México permiten la expresión de la heterosis en sorgos híbridos de primera generación en un porcentaje aceptable que signifique mayor producción y mejores ingresos para el agricultor.

Existe multitud de trabajos tratando de explicar las causas del fenómeno (heterosis) en los híbridos. De hecho estas investigaciones se dividen en dos grupos: los que tratan de encontrar sus causas y los que buscan su aplicación práctica en el mejoramiento de plantas y animales.

Vinall y Cron (1921), Conner y Karper (1927), Karper (1930), Karper y Quinby (1937), Quinby y Karper (1946), Bartel (1949), Arnon y Blum (1962), Malinovskii (1962), Quinby (1963) y otros, concuerdan en que la manifestación de la heterosis en los sorgos se debe a la condición heterocigótica de la F_1 por acumulación de genes favorables al desarrollo, pero que es muy influenciada por el medio ambiente, especialmente cuando se manifiesta en caracteres cuantitativos.

Durante mucho tiempo fue casi imposible la producción en escala comercial de los sorgos híbridos. En 1943 se descubrió la androesterilidad génica en la variedad Day, pero aún era incosteable su aprovechamiento, pues se necesitaba tener un grupo numeroso de gentes adiestradas para eliminar las plantas normales, antes de que florecieran, de los lotes de cruzamiento, además de que se tenía que disponer de tres lotes aislados para hacer los cruzamientos. Stephens y Holland (1954) encontraron que al usar la variedad Milo como hembra y cruzarla con la variedad Kafir, aparecían en la F_2 plantas con androesterilidad parcial, y con dos retrocruzas hacia Kafir la androesterilidad aumentaba a más del 99 por ciento. Se supuso que esto se debía a la interacción del citoplasma de Milo y el núcleo de Kafir. Este descubrimiento fue la clave del éxito en la producción de híbridos comerciales en gran escala, pues no se necesitaba un equipo especial de desespigadores como en el caso mencionado arriba, y únicamente se requerían dos lotes aislados para obtener los híbridos.

En Cortázar, Gto., en 1959 se sembró el único experimento que se había hecho en México antes del presente estudio, para evaluar heterosis en sorgos híbridos; en éste se incluyeron 5 híbridos y sus generaciones F_2 . El análisis estadístico reveló que no había diferencias significativas en rendimiento entre las líneas progenitoras o la F_2 y el híbrido correspondiente, por lo cual se pensó que el uso económico de los híbridos para esa región no sería posible. En ese ensayo no se incluyó como testigo al híbrido comercial Texas 660, que resultó el mejor para esa región y la estimación

del rendimiento de una línea progenitora, común en todos los híbridos, fue el promedio de las parcelas en que se sembró. Como los resultados contradijeron lo obtenido por muchos investigadores, se planeó el presente trabajo para determinar los resultados con mayor precisión.

Materiales y métodos

El proyecto incluyó 7 híbridos experimentales sobresalientes por su rendimiento, seleccionados en Roque, Gto., en 1962 y en Río Bravo, Tamps., en 1963. Estos, junto con el híbrido testigo (Texas 660), formaron 8 grupos, los cuales se sembraron en un ensayo factorial en parcelas divididas y diseño de Bloques al Azar con cuatro repeticiones y sembrado en dos localidades. El primer ensayo se sembró en el Centro de Investigaciones Agrícolas de El Bajío, INIA, situado en Roque, Gto., el 10 de mayo de 1965. Desafortunadamente sólo 5 grupos nacieron bien y fueron los que se aprovecharon en el análisis estadístico. Las parcelas grandes o "grupos" incluyeron 3 subparcelas: el híbrido, la línea B (contraparte fértil de la línea A) y la línea R. En esta forma se consideró que habría más precisión en las comparaciones que se hicieran dentro de cada grupo al eliminar la influencia de la heterogeneidad del suelo. Cada subparcela consistió en dos surcos de 4.5 m de largo, 75 cm de ancho y a una planta cada 12.5 cm. Se abonó con la fórmula 60-40-0 en el momento de la siembra y al dar la segunda escarda se complementó con la fórmula 60-0-0. Con el herbicida Atrazín preemergente y dos cultivos posteriores se conservó el lote libre de hierbas y con riegos auxiliares se mantuvo la humedad adecuada durante todo el ciclo. Inmediatamente después de la cosecha y trilla se determinó el peso de grano por parcela y su humedad. Posteriormente se hizo la conversión de los rendimientos al 12% de humedad comercial. A su debido tiempo se tomaron las notas de campo y los días a floración (50 por ciento de las plantas iniciando la antesis). De dos repeticiones se obtuvieron diez plantas al azar con competencia completa para medir: altura de las plantas, del nivel del suelo hasta el extremo superior de la panoja; número de nudos en el tallo principal; longitud de la exserción, desde la base del limbo de la última hoja a la base de la panoja; longitud de la panoja; peso de las panojas, y el número aproximado de granos por panoja. Los datos promediados se usaron en el análisis estadístico para determinar el grado de heterosis de cada carácter medido. El segundo ensayo se sembró el 20 de diciembre de 1965 en el Campo Experimental del INIA, situado en Iguala, Gro. En esta ocasión, en cada grupo se agregó una subparcela más, conteniendo la generación F₂. Como en este ensayo sí se desarrollaron bien los 8 grupos, todos participaron en el análisis estadístico. Cada subparcela se formó de dos surcos de 10 m de largo, 90 cm de ancho y 10 cm entre plantas. Este experimento no se fertilizó. Hubo ataque de insectos que se combatieron con paratión metílico para el pulgón: Fenkapton 50M, para la araña roja y BHC, para gusano cogollero. De cada subparcela de dos repeticiones se sacaron diez plantas con competencia completa al azar para medir los siguientes caracteres: altura de las plantas, número de nudos, exserción, longitud de las panojas, peso de las panojas, peso del grano por panoja, número aproximado de granos por panoja, peso de mil granos, densidad específica, para lo cual se pesaron los granos

contenidos en 250 cc y por último el tamaño de los granos, promediando el diámetro de 10 granos.

Resultados

En las pruebas de significancia de "F" de los nueve caracteres medidos en el primer ensayo para rendimiento, la fuente Repeticiones resultó significativa al 5% de probabilidad; esto se debió a que el error *A* resultó muy pequeño; por lo que el valor de *F*, sin ser necesariamente muy grande, comparado con los valores tabulados resultó significativo al nivel indicado. Como se esperaba, la fuente denominada Grupos resultó significativa para varios caracteres. En la fuente denominada Progenies, los dos grados de libertad se separaron en dos comparaciones ortogonales: la de los híbridos F_1 (F_1) contra el progenitor medio (PM) y la del progenitor B (línea B) contra el progenitor R (línea R). Para la primera comparación, especialmente para rendimiento y caracteres relacionados con él, hubo alta significación. Los progenitores también difirieron entre sí, aunque no para los mismos caracteres mencionados en la primera comparación. La interacción Grupos \times Progenies resultó también significativa para 8 de los caracteres estudiados. Para el caso de Iguala, la fuente de variación Progenies se separó en tres comparaciones: los híbridos F_1 contra el promedio de los progenitores, la línea B contra la R y el híbrido F_1 contra la generación F_2 . La última comparación no es ortogonal con respecto a las otras dos, de suerte que en forma independiente se separó un grado de libertad atribuido a dicha comparación, existiendo un residuo con dos grados de libertad. Para la fuente de variación Progenies, que realmente nos interesa en este estudio, con excepción de número de nudos, se encontraron diferencias altamente significativas. El progenitor B fue diferente al R en 8 de los caracteres y la F_1 se diferenció de la F_2 en 7 de ellos. En Roque hubo diferencias altamente significativas para la interacción Grupos \times Progenies, pues en todos los caracteres se obtuvo este grado de significancia.

Rendimiento. Especialmente importante es el carácter Rendimiento dentro de todos los que fueron sujetos a análisis. Aunque es ampliamente conocido que el rendimiento como tal no puede considerarse como un carácter, sino como el resultado de la acción conjunta de muchos otros caracteres llamados componentes de rendimiento, esto es particularmente necesario para los trabajos de selección. En el caso que nos ocupa: cuantificar el grado de heterosis y su abatimiento, y desde un punto de vista aplicado, se consideró suficiente hacer dichas determinaciones para los caracteres mencionados en el capítulo correspondiente, sin considerarlos necesariamente como componentes del rendimiento. Sin embargo, si el grado de heterosis que algunos de ellos exhibieran fuera correlativo al presentado por el rendimiento, quedaría poca duda de que dichos caracteres no se clasificaran como tales, aun cuando esto no haya sido el objetivo específico de este estudio.

Los análisis de varianza para este carácter, correspondientes a Roque e Iguala y el análisis combinado considerando únicamente los 5 híbridos sembrados en ambos lugares, se muestran respectivamente en los cuadros 1, 2 y 3. En ambos lugares las comparaciones dentro de los grupos resultaron altamente significativas. Sin embargo, un hecho que debe interesarnos más profundamente es el concerniente a la interacción Grupos \times Progenies. Nuevamente para los 3 análisis estas interacciones resul-

CUADRO 1

Análisis de varianza para producción por parcela. Roque, Gto., 1965

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F.	Significancia
REPETICIONES.....	3	28.94	9.64	4.26	+
GRUPOS.....	4	77.49	19.37	8.55	++
ERROR A.....	12	27.18	2.26	...	...
PROGENIES.....	(2)	...	...	...	...
B + R					
F ₁ vs $\frac{B + R}{2}$	1	231.85	231.85	148.62	++
B vs R.....	1	145.92	145.92	93.53	++
INTERACCION A×B.....	8	86.87	10.85	6.93	++
ERROR B.....	30	46.96	1.56	...	...
TOTAL.....	59	645.23	...	...	...

C. V. = 12.91

+ Diferencias significativas al 5% de probabilidad

++ Diferencias significativas al 1% de probabilidad

CUADRO 2

Análisis de varianza para producción por parcela. Iguala, Gro., 1965-66

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F.	Significancia
REPETICIONES.....	3	9.24	3.08	1.17	NS
GRUPOS.....	7	28.76	4.10	1.56	NS
ERROR A.....	21	55.27	2.63	...	...
PROGENIES.....	(3)	...	...	...	...
B + R					
F ₁ vs $\frac{B + R}{2}$	1	16.68	16.68	75.81	++
B vs R.....	1	1.69	1.69	7.68	++
F ₁ vs F ₂	1	10.97	10.97	49.86	++
INTERACCION.....	21	58.90	2.80	12.34	++
ERROR.....	72	16.36	0.22	...	...
TOTAL.....	127	188.30	...	...	...

C. V. = 17.32

+ Diferencias significativas al 5% de probabilidad

++ Diferencias significativas al 1% de probabilidad

NS Diferencias no significativas

taron altamente significativas. Esto indica que la heterosis y su abatimiento, en el caso de Iguala se manifestaron en forma diferente al de Roque desde el punto de vista cuantitativo, dependiendo del grupo o cruza específica de que se trate. Asimismo, la interacción Progenies \times Campos, en el análisis combinado, nos indica en forma similar que la manifestación de dichos fenómenos depende del medio ambiente en que se desarrollen los híbridos y sus progenitores.

CUADRO 3

Análisis de varianza combinado para producción por parcela de los cinco grupos de sorgo sembrados en Roque, Gto., 1965 y en Iguala, Gro., 1965-1966

FUENTE DE VARIACION	G. L.	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F.	Significancia
CAMPOS.....	1	1461.61	1461.61	248.99	++
REPETICIONES (Error A).....	6	35.27	5.87	...	...
GRUPOS.....	4	26.39	6.59	2.75	NS
GRUPOS X CAMPOS.....	4	73.14	18.28	7.64	++
GRUPOS X REPETICIONES (Error B).....	24	57.58	2.39	...	...
TOTAL..... (Parcelas grandes)	39	1 653.99	...	...	...
PROGENIES.....	(2)	...	...	...	...
Fl vs PM.....	1	192.64	192.64	109.4	++
B vs R.....	1	59.84	59.84	34.0	++
PROGENIES X CAMPOS.....	2	142.72	71.36	40.54	++
PROGENIES X REPETICIONES POR CAMPOS (Error C).....	12	21.14	1.76	...	...
PROGENIES X GRUPOS.....	8	75.19	6.39	5.70	++
PROGENIES X GRUPOS X CAMPOS.....	8	25.85	3.22	2.87	+
PROGENIES X GRUPOS X REPETICIONES X CAMPOS (Error D).....	48	54.16	1.12	...	...
TOTAL..... (Parcelas chicas)	119	2 225.67	...	...	...

+ Diferencias significativas al 5% de probabilidad NS Diferencias no significativas
++ Diferencias significativas al 1% de probabilidad

Discusión

Las condiciones climáticas absolutamente diferentes de Roque e Iguala, fueron las causas principales que determinaron que algunas de las diferencias cuantitativas encontradas hayan sido de distinta magnitud en ambas localidades. En general, para este estudio se considera a Roque como un medio más adecuado que Iguala para el cultivo de las líneas e híbridos que intervinieron en él, puesto que en ese lugar se llevó a cabo la selección del material del cual provienen aquéllos. Si a esto se añade que en Iguala no se fertilizó el suelo, la diferencia en las condiciones ambientales para el cultivo resulta más obvia en favor de Roque.

Este efecto ambiental impide hasta cierto punto hacer amplias generalizaciones sobre el objetivo del presente estudio. Si consideramos la comparación (FI-PS), que desde muchos puntos de vista parece la más apropiada para definir la heterosis, vemos que en 5 de los 9 caracteres determinados en ambos campos, los progenitores tuvieron comportamientos similares; sólo en uno de éstos (número de granos por espiga) no hubo diferenciación entre ambos. Esto nos indicaría que la diversidad de la constitución genética entre los progenitores no es favorable para la manifestación de la heterosis. Cabe sin embargo aclarar que estos datos son promedios para todos los grupos y, como hemos visto, las altas interacciones Grupos \times Progenies y sobre todo las de tercer orden Campos \times Grupos \times Progenies, nos limitan en mayor grado el hacer una generalización más amplia.

Por otro lado, aun considerando estas comparaciones de tipo global, no hay una coincidencia entre los caracteres para los cuales difirieron los progenitores en ambos casos y la heterosis manifestada.

Una manera más real de atacar el problema es considerar por separado cada uno de los campos para eliminar el efecto ambiental. Esto, aunque ayuda un poco más, tampoco permite hacer conclusiones generales, ya que para el campo de Roque sólo en 3 casos (días a floración, rendimiento y peso de grano por espiga) una mayor diversidad entre los progenitores se reflejó en una alta manifestación del vigor híbrido. En Iguala esto fue cierto para mayor número de caracteres pero sólo uno de ellos (peso de grano por espiga) fue común desde este punto de vista, en ambos campos.

Todo esto nos conduce a pensar que por lo menos para algunos de los caracteres estudiados el grado de diferenciación de los progenitores no fue siempre una indicación del grado en que su descendencia presentó una mayor o menor heterosis para un carácter dado.

De acuerdo con los resultados numéricos y los porcentajes expresados, la heterosis se manifestó consistentemente en los caracteres: rendimiento, exserción y algunos relacionados con la espiga y el grano: peso total de espiga, peso de grano, número de granos y peso de mil granos.

Rendimiento. En este caso, para ambos lugares, los porcentajes de los híbridos sobre los progenitores superiores son de considerarse. En promedio, en Roque se obtuvo 22.5% y en Iguala, 32.0%. Cabe hacer la aclaración de que en el segundo experimento los porcentajes individuales variaron mucho (interacción Grupos \times Progenies), y que de hecho el alto valor obtenido se debió más que nada a que en el

grupo 2 se obtuvo un valor de 87.5%, pero en los demás se obtuvieron, inclusive, valores negativos. Como en el caso de Roque los resultados fueron más consistentes, podría pensarse que este medio ambiente favorece más la heterosis, para este carácter.

Exserción. Puesto que en los dos experimentos hubo un alargamiento del último entrenudo, supuestamente debido a una manifestación de heterosis en los híbridos, esto nos indica que si bien la altura total de la planta no aumentó en forma notable, sí se modificó en cierta magnitud la exserción de las plantas incrementándose su longitud. Probablemente a esto se debieron los ligeros aumentos de altura de la planta observados en ambos campos, y aunque desde el punto de vista de este carácter no sólo son importantes, sino inclusive indeseables, si se considera a la exserción los aumentos mostrados, a más de ser significativos, resultan de una gran importancia en la cosecha mecanizada.

Espiga: peso total, peso de grano, número de granos y peso de mil granos. En las cuatro características la manifestación del vigor híbrido fue significativa o altamente significativa en ambos campos. Parece que por su misma naturaleza, estos caracteres sí son componentes del rendimiento. Si esto es cierto, una alta correlación existente entre la heterosis del rendimiento y la de cualquier otro u otros caracteres, permitiría considerarlas como algunas de sus componentes.

Comparaciones de la F₂

Limitándonos al experimento de Iguala vemos que excepto para los caracteres: número de nudos, peso de mil granos y densidad de grano, en todos los demás casos hubo una reducción en la heterosis mostrada en la F₂ con respecto a la de la F₁. Teóricamente la heterosis en F₂ representa la mitad de la manifestada en F₁ (Falconer 1960), siempre y cuando los efectos de epistasia y los de ligamento no sean importantes. Como esto no sería una situación real, lo más seguro es que las estimaciones actuales de la F₂ se aparten de las teóricas. La Fig. 1 muestra el comportamiento promedio de los 8 grupos de la F₂ con respecto a la F₁ y el de ésta con respecto a sus progenitores para el carácter rendimiento. Si se considera al progenitor medio, la heterosis en F₂ es un poco más de la cuarta parte de la F₁, y si se toma en cuenta al progenitor superior, entonces resulta ser una octava parte de aquélla.

Conclusiones

De los caracteres estudiados en el presente trabajo, en promedio el rendimiento y otros que por su naturaleza misma parecen ser parte de sus componentes, mostraron una alta manifestación de vigor híbrido en las cruza de primera generación. Esto no siempre fue atribuible a la diversidad relativa de los dos progenitores.

Las altas interacciones Grupos \times Progenies y Campos \times Grupos \times Progenies, indican, por otra parte, que el grado de heterosis fue variable dependiendo de los progenitores utilizados en cada cruza y del medio ambiente en que se desarrolló el material bajo estudio.

Para el carácter altura la manifestación heterótica fue muy pequeña y en todo caso se atribuye a un aumento en la longitud de la exserción puesto que con respecto

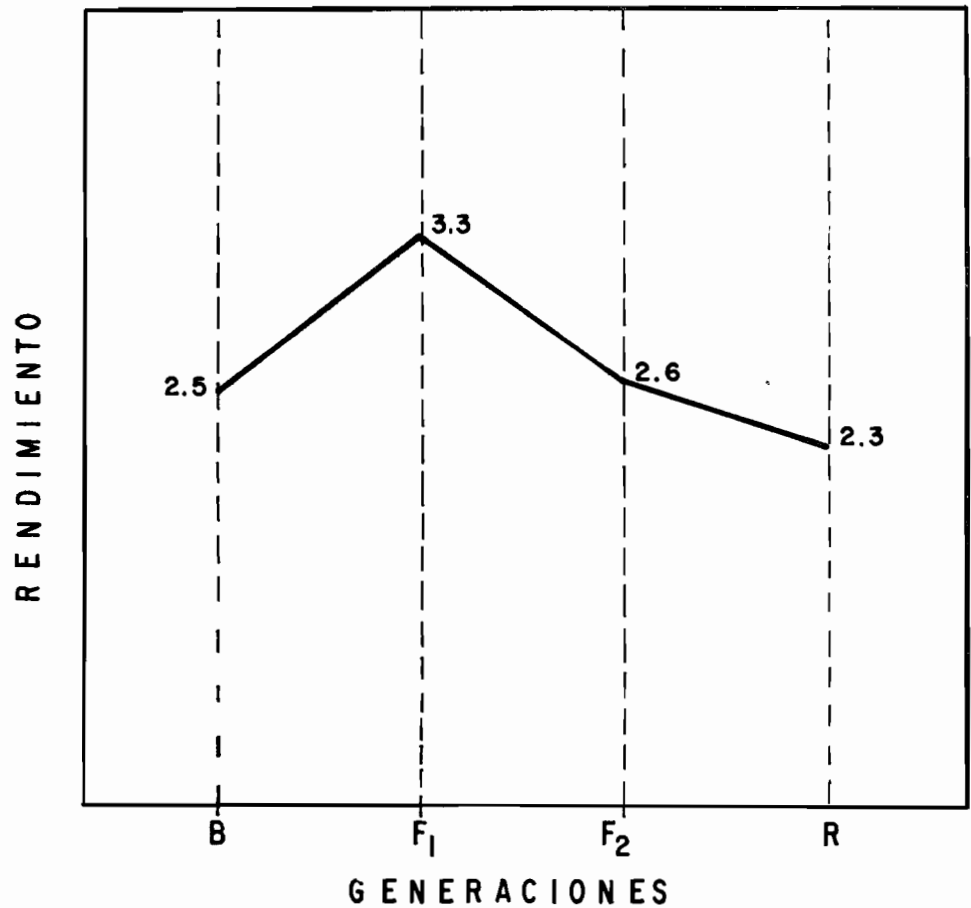


Figura 1. Gráfica que muestra el decrecimiento en rendimiento de la F₂ respecto a la F₁, siendo B y R los progenitores

a ésta la heterosis fue altamente significativa. Esto sugiere que con respecto a exserción no hay necesidad de ser tan exigente en la selección de los progenitores, aunque por otro lado sería conveniente hacer estudios sobre su herencia.

Otros caracteres como días a floración, densidad y tamaño de grano no mostraron heterosis por lo cual, en base a lo dicho al principio de este capítulo, no parece que tengan una influencia de consideración en el rendimiento.

En todo caso, aun cuando en general se espera para rendimiento tener un grado de vigor híbrido que compense el esfuerzo empleado en producir las líneas androestériles, identificar los restauradores y hacer los trabajos de cruzamiento y de pruebas de campo, debe tenerse cierta cautela en las recomendaciones de híbridos de sorgo de acuerdo con la región involucrada, pues de acuerdo con los resultados obtenidos en Iguala, no siempre los híbridos resultaron superiores a sus progenitores. Es probable que el hecho de haber seleccionado todo este material en Roque donde

tuvo condiciones más favorables para su desarrollo, haya tenido que ver con este comportamiento diferente. Es pues conveniente, aun cuando se presente en mayor o menor grado la manifestación del vigor híbrido, hacer la selección de las líneas progenitoras en aquellos lugares que se consideren apropiados para el cultivo del sorgo y obtener, en esta forma, un aumento del rendimiento por un mayor grado de heterosis que presentarían esos materiales mejor adaptados.

La generación F₂ en términos generales resultó mucho menor que lo esperado suponiendo la ausencia de epistasis y ligamiento. En promedio, para el rendimiento, resultó apenas un poco más productiva que el mejor de los progenitores. Esto reviste una gran importancia económica ya que muchos agricultores tienden a conservar el grano de las generaciones avanzadas de los híbridos comerciales para usarlo como semilla fresca en sus siembras. El ahorro aparente logrado por este hecho no compensa en ninguna forma la pérdida de la ganancia potencial que se lograría si se sembrara semilla original de primera generación. A esto debe añadirse que las generaciones avanzadas presentan una gran heterogeneidad en altura, color de los granos, fertilidad del polen y en general hábito de crecimiento debido a las segregaciones que tienen lugar y que dificulta mucho la cosecha mecanizada y por otro lado, a un detrimento de la calidad y uniformidad del grano.

Dado que los grupos con los cuales se trabajó exceptuando el testigo incluían híbridos experimentales seleccionados con base a dos o tres pruebas de rendimiento, se recomienda que las líneas de los híbridos (B-22A × 1-10R) y (R-20A × 3E-17R), que superaron ampliamente al híbrido testigo comercial Texas 660, sean multiplicadas en forma comercial para lanzarlos en el futuro al mercado de semillas de sorgo para grano.

Referencias citadas

- ADELANTOS EN LA INVESTIGACIÓN. Sept. 1, 1959. Agto. 31, 1960. Oficina de Estudios Especiales, S.A.G. México, D. F.: 33-42.
- ARNON, I., y A. BLUM. (1962.) *Factors responsible for yield superiority of hybrid sorghum*. Israel Jour. Agric. Res. 12 (3):95-105.
- BARTEL, A. T. (1949.) *Hybrid vigor in sorghums*. Agron. Jour. 41 (4):147-152.
- CONNER, A. B., y R. E. KARPEN. (1927.) *Hybrid vigor in sorghum*. Tex. Ag. Exp. Sta. Bull. N° 359.
- FALCONER, D. S. (1960.) *Introduction to quantitative genetics*. The Ronald Press Co. N. Y.: 254-263.
- KARPER, R. E. (1930.) *The effect of a single gene upon development in the heterozygote in sorghum*. Jour. Hered. 21:187-192.
- y J. R. QUINBY. (1937.) *Hybrid vigor in sorghum*. J. Hered. 28:83-91.
- MALINOVSKII, B. N. (1962.) *Povyshenie zhiznennosti u gibridov sorgo v pervom pololenii*. (The increased vitality of first-generation hybrids of sorghum.) Agrobiologiya 1:148-151.
- QUINBY, J. R. (1963.) *Manifestation of hybrid vigor in sorghum*. Crop. Sci. 3 (4):288-291.
- y R. E. KARPEN. (1946.) *Heterosis in sorghum resulting from the heterozygous condition of a single gene that affects duration of growth*. Amer. Jour. Bot. 33 (9):716-721.
- STEPHENS, J. C., y R. F. HOLLAND. (1954.) *Cytoplasmic male-sterility for hybrid sorghum seed production*. Agron. Jour. 46 (1):20-23.
- , G. H. KUYKENDALL y D. W. GEORGE. (1952.) *Experimental production of hybrid sorghum seed with a three way cross*. Agron. Jour. 44 (7):309-373.