

COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE HÍBRIDOS Y PROGENITORES DE SORGO PARA GRANO EN LAS HUASTECAS¹

Héctor Williams-Alanís², Gerardo Arcos-Cavazos³

RESUMEN

Comportamiento agronómico de híbridos y progenitores de sorgo para grano en las Huastecas. El objetivo de este estudio fue medir la productividad de un grupo de híbridos experimentales de sorgo para grano en la región de las Huastecas, contrastándolos con los testigos comerciales y progenitores. Durante los ciclos primavera verano 2005, 2006 y 2007 en temporal, se establecieron en Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas, México, tres ensayos con 49 híbridos experimentales y comerciales. En el 2008 durante el mismo ciclo en temporal, se estableció un ensayo con 28 híbridos y progenitores. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se identificaron híbridos experimentales agronómicamente similares a los comerciales. Uno de los mejores fue RB-104xRTx437, el cual produjo 6403 kg/ha de grano. Fue igual ($p \leq 0,05$) a: RB-Patrón (6288 kg/ha), A. Ámbar (6028 kg/ha), DK-65 (5763 kg/ha) y RB-4000 (5700 kg/ha), y superior a Pioneer 82G63 (4796 kg/ha), Pioneer 84G62 (4256 kg/ha) y Z-400 (4218 kg/ha). Este híbrido fue ($p \leq 0,05$) más precoz a la floración (62) que A. Ámbar (65) y DK-65 (66). Los híbridos experimentales fueron más rendidores (2924 kg/ha), más altos (17 cm), más precoces (-4,5 DF), de mayor longitud de la espiga (0,9 cm) y exserción (3,5 cm), y menor incidencia de enfermedades foliares (-0,24) que sus padres. RTx437, fue el mejor progenitor con un rendimiento de grano (3598 kg/ha) igual ($p \leq 0,05$) a los híbridos.

Palabras clave: *Sorghum bicolor*, mejoramiento genético de plantas, rendimiento de grano, heterosis, heterobeltiosis.

ABSTRACT

Agronomic performance of hybrids and parents of grain sorghum in Huastecas. The objective of the study was to determine the productivity of experimental hybrids of grain sorghum group in the Huastecas region, contrasting with commercial checks and parents. At Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas, Mexico, three trials with 49 experimental and commercial hybrids were established during the spring-summer cycles 2005, 2006 y 2007 in dry land conditions. In 2008 in dry land, a trail was established with 28 hybrids and parents. In all cases we used a randomized block design with four replications. Experimental hybrids were identified as agronomically similar to commercials. One of the best hybrids was RB-104xRTx437, which produced 6403 kg/ha of grain. It was equal ($p \leq 0.05$) to: RB-Patron (6288 kg/ha), A. Amber (6028 kg/ha), DK-65 (5763 kg/ha) and RB-4000 (5700 kg/ha) was superior to Pioneer 82G63 (4796 kg/ha), Pioneer 84G62 (4256 kg/ha) and Z-400 (4218 kg/ha). The hybrid was also ($p \leq 0.05$) the earliest to flower (62 d) compared to to A. Ambar (65 d) and DK-65 (66 d). The experimental hybrids were higher yielding (2924 kg/ha), taller (17 cm), more precocious (-4.5 DF), had longer panicle length (0.9 cm) and exsercion (3.5 cm), and lower foliar diseases incidence (-0.24) than their parents. RTx437 was the best parent with grain yield (3598 kg/ha) equal ($p \leq 0.05$) to the hybrids.

Keywords: *Sorghum bicolor*, plant breeding, grain yield, heterosis, heterobeltiosis.

¹ Recibido: 10 de abril, 2014. Aceptado: 9 de setiembre, 2014. Proyecto de investigación No. 2016247A financiado por la Fundación Produce Tamaulipas, A.C., México.

² Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía (FAUANL), km 17.5 Carr. Zuazua-Marín, Marín, Nuevo León. México. 66700. hectorwilliamsa@yahoo.com.mx (Autor para correspondencia).

³ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Huastecas. Carr. Tampico-Cd. Mante Km. 55 Apdo. Postal C-1 Suc Aeropuerto, Tampico, Tam., México. CP 89339. arcos.gerardo@inifap.gob.mx



INTRODUCCIÓN

En México, el sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] representa el segundo cultivo de mayor importancia en cuanto a producción de grano. La superficie de siembra para esta gramínea fluctúa alrededor de dos millones de hectáreas, de las cuales se obtiene una producción promedio anual de seis millones de toneladas (Financiera Rural, 2011a). En la región de las Huastecas, que comprende áreas agroclimáticas similares, que incluyen el sur de Tamaulipas, oriente de San Luís Potosí y norte de Veracruz, se cultiva una superficie de 180 mil hectáreas de sorgo para grano al año y se obtiene una producción cercana a 400 mil toneladas (SIAP, 2011). Sin embargo, se presenta el problema de la escasez de híbridos y variedades de sorgo (*S. bicolor*) para grano, para condiciones de riego y temporal; con buena producción de grano y tolerantes a enfermedades; además la semilla para siembra es importada y tiene un alto costo (Williams et al., 2006). De acuerdo con cifras de la Secretaría de Economía, México importó en 2010, 36 400 toneladas de semilla de sorgo, con un valor de 43,8 millones de dólares. Esta semilla se utilizó para la plantación de dos millones de hectáreas del cultivo (Financiera Rural, 2011b). México importa prácticamente toda la semilla que utiliza para siembra. Esto genera dependencia tecnológica, incremento de los costos de producción, reducción de la rentabilidad y disminución de la competitividad de los productores (CONACYT, 2013).

El descubrimiento de la androesterilidad genética citoplásmica por Stephens y Holland (1954), hizo posible la producción comercial de semilla híbrida. Los primeros híbridos desarrollados en EU se empezaron a utilizar en México a partir de 1958 (Williams et al., 2006). A la fecha casi el 100% del sorgo cultivado es de semilla híbrida, donde se aprovecha su mayor potencial de producción (Flores-Naveda et al., 2013).

En Estados Unidos se estima que, al empleo de los híbridos de sorgo, se les atribuye entre el 35% y 40% de la ganancia obtenida en producción de grano; mientras que a las prácticas culturales se asigna del 60 al 65% del incremento (Duvick, 1999). En Kansas EUA, se estima que mediante el mejoramiento genético de sorgo en temporal, en 51 años (1957-2008); el potencial de rendimiento de grano se incrementó en 1430 kg/ha, lo que equivale a un 139% de aumento

(Assefa y Staggenborgh, 2009). En México en el Campo Experimental Río Bravo (CERIB) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); se estima que el avance obtenido en mejoramiento genético en un periodo de once años para condiciones de riego y buen temporal, fue de 1100 kg/ha (Williams et al., 1995).

La investigación en mejoramiento genético de sorgo en el norte de México, por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, INIA (hoy INIFAP); se inició en el Campo Experimental Río Bravo en 1974. Su ámbito incluyó las regiones cálido-secas del país en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Sonora y Sinaloa (Williams et al., 1995).

Los materiales generados en INIFAP, Río Bravo; RB-3030, RB-3006, RB-4000, RB-4040 y RB-Patrón, presentaron adaptación en la región de las Huastecas. (Williams, 1981; Williams, 1996; Williams et al., 2004). RB-3030 desarrollado en 1980, presentó un potencial de producción de grano en el noreste de México 16,9% superior a los híbridos comerciales evaluados (Williams, 1981). Por otro lado, RB-4000 formado en 1987 (Williams, 1988), presentó un rendimiento de grano experimental de 14% más respecto los mejores híbridos comerciales (Williams, 1988). En el año 2003 se registró el híbrido RB-Patrón, el cual presentó características fisiológicas, morfológicas y bioquímicas que le confieren tolerancia al estrés producido por la sequía y altas temperaturas (Williams et al., 2004). Este híbrido al ser evaluado en la región de las Huastecas en parcelas de validación con productores, presentó rendimientos de grano superiores en más de 20% comparado con los híbridos comerciales.

El objetivo de este estudio fue medir la productividad de un grupo de híbridos experimentales de sorgo para grano en la región de las Huastecas, contrastándolos con los testigos comerciales y progenitores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluaron 33 híbridos experimentales pertenecientes al INIFAP; cinco híbridos experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) y once híbridos comerciales (Cuadro 1). Los híbridos experimentales fueron seleccionados de germoplasma formado en el

Cuadro 1. Relación de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*) evaluados en Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas, México, durante los ciclos P-V 2005, 2006 y 2007.

Número	Híbrido	Número	Híbrido
1	RB-118 x RTx430 ^a	26	RB-116 x RTx437 ^a
2	RB-118 x RTx435 ^a	27	RB-116 x 25 CEA ^a
3	RB-118 x 204 ^a	28	RB-106 x RTx430 ^a
4	RB-118 x 216 ^a	29	RB-106 x RTx437 ^a
5	RB-118 x 430 CEA ^a	30	RB-106 x 216 ^a
6	RB-118 x RTx437 ^a	31	RB-106 x 25 CEA ^a
7	RB-118 x 25 CEA ^a	32	RB-64 x RTx430 ^a
8	RB-Patrón (RB-104 x RTx430) ^c	33	RB-64 x RTx437 ^a
9	RB-104 x RTx435 ^a	34	46038 x 430 CEA ^b
10	RB-104 x 25 CEA ^a	35	46038 x RTx430 ^b
11	RB-104 x 216 ^a	36	46038 x RTx435 ^b
12	RB-104 x RTx437 ^a	37	46038 x 204 ^b
13	RB-27 x 430 REA ^a	38	46038 x RTx437 ^b
14	RB-27 x RTx435 ^a	39	RB-3030 (RB-5 x RTx430) ^c
15	RB-27 x 204 ^a	40	RB-3006 (RB-27 x RTx430) ^c
16	RB-27 x RTx437 ^a	41	RB-4000 ^c
17	RB-5 x 204 ^a	42	RB-4040 ^c
18	RB-5 x 430 REA ^a	43	RB-64 x RTx435 ^a
19	RB-5 x RTx437 ^a	44	DK-47 ^d
20	RB-119 x RTx430 ^a	45	Asgrow Z-400 ^d
21	RB-119 x 25 CEA ^a	46	Pioneer 82G63 ^d
22	RB-119 x RTx435 ^a	47	Pioneer 84G62 ^d
23	RB-119 x RTx437 ^a	48	Asgrow Ámbar ^d
24	RB-116 x RTx430 ^a	49	DK-65 ^d
25	RB-116 x RTx435 ^a		

^a Híbridos experimentales del INIFAP; ^b Híbridos experimentales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL); ^c testigos comerciales del INIFAP; ^d Testigos comerciales compañías privadas. La nomenclatura de los híbridos experimentales se formó colocando primero la clave que corresponden a las líneas hembra, seguida del signo (x) para después colocar la clave de las líneas restauradoras.

INIFAP, Campo Experimental Bajío, INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, Texas A&M University, ICRISAT, India y por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Los híbridos comerciales RB fueron formados en el INIFAP, Campo Experimental Río Bravo (Williams, 1981; Williams, 1996; Williams et

al., 2004). Los híbridos de las compañías privadas han sido desarrollados en EUA. Los testigos comerciales fueron seleccionados entre los mejores para rendimiento de grano, con base en los resultados obtenidos en las evaluaciones anuales realizadas por el COTESE (Comité Técnico Estatal de Semillas). El sitio experimental se localizó en la Estación Cuauhtémoc, municipio de Altamira, Tamaulipas, en terrenos del Campo Experimental las Huastecas (INIFAP), a 22° 33' LN/ 98° 09' LO. Presenta un clima (Aw_0) cálido subhúmedo con lluvias en verano y lluvia invernal de 5-10% (García, 1988). Con promedio de temperatura media anual de 24,5 °C y de 842 mm de precipitación (INIFAP, 2013). Ensayos uniformes se establecieron durante el ciclo primavera verano (P-V) temporal de los años 2005, 2006 y 2007. En otro experimento sembrado en temporal en P-V 2008, se evaluaron los híbridos experimentales que presentaron mayor rendimiento de grano y sus progenitores.

Los ensayos se establecieron bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En todos los casos, las parcelas experimentales fueron de un surco de 5 m de largo y 0,80 m de separación. Se utilizó una densidad de población de 250 000 plantas/ha. El manejo del cultivo se realizó de acuerdo con las recomendaciones que el INIFAP señala para el cultivo de sorgo en el sur de Tamaulipas. Las variables evaluadas fueron rendimiento de grano kg/ha (REN, al 12% de humedad); días a floración (DF, al 50% de las plantas), y una semana antes de la madurez fisiológica, se midieron altura de planta (AP, en cm, desde el suelo hasta el ápice de la panoja), longitud de panoja (LP, en cm, de la base al ápice), excursión (EX, en cm, de la lígula de la hoja bandera a la base de la panoja), calificación del aspecto de planta (CP) e incidencia de enfermedades foliares (IEF), las cuales se calificaron en forma visual mediante una escala de 1 al 5. Para calificación de planta: uno, es muy bueno; dos, es bueno; tres, promedio; cuatro, abajo del promedio y cinco, malo. Para enfermedades foliares: uno es completamente sana; dos, de 1 a 10% de daño; tres, de 11 a 25% de daño; cuatro, de 26 a 40% de daño y cinco, más de 41%. La toma de datos están de acuerdo a las recomendaciones sugeridas por House (1985).

Análisis estadístico. El efecto del ambiente en el rendimiento y las características agronómicas se cuantificó mediante un análisis combinado en tres ambientes y los 49 híbridos, utilizando el programa

Statistical Analysis Systems Institute (SAS Institute, 1999). La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$), y se hicieron correlaciones simples de Pearson entre las variables. La heterosis se calculó con la fórmula: Heterosis = media de la F1 – media de los padres en porcentaje con respecto a la media de los progenitores; la heterobeltiosis = Media de la F1 – media del progenitor superior, también en porcentaje con respecto a la media de este progenitor (León-Velasco et al., 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de grano

El análisis de varianza por ambiente indicó diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre genotipos en los tres ambientes y en el combinado para los tres ambientes (Cuadro 2). Lo anterior es consecuencia de las diferencias genéticas entre genotipos.

También se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre ambientes y para la interacción genotipo-ambiente. Esto significa que algunos genotipos se

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de 49 híbridos de sorgo evaluados en Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas, México, durante los ciclos P-V 2005,2006 y 2007.

Fuente variación	GL	Cuadrados Medios						
		REN	DF	AP	LP	EX	CP	IEF
Repeticiones	3	2910792**	24,4**	259**	17,3**	5,4	4,9**	3,8**
Ambientes	2	93072141**	22125**	97063**	48,3**	6800**	12,6**	44,5**
Interacción AxR	6	3985088**	12,2**	814**	24,9**	92,3**	1,7**	2,7**
Variedades	48	6326057**	74**	3266**	45,8**	65,9**	0,5*	0,64**
Interacción RxV	144	866374	2,4	41	2,4	6,2	0,3	0,26
Interacción AxV	96	1692950**	21,9**	130**	4,2	12,1**	0,3	0,35
CV %		14,6	2,6	3,7	5,6	15,1	19,1	19,3

* Significativo. ** Altamente significativo. GL= grados de libertad; REN= rendimiento de grano kg/ha; DF= días a floración; AP= altura de planta en cm; LP= longitud de panoja en cm; EX= longitud de excursión en cm; CP= calificación de planta e IEF= incidencia de enfermedades foliares, CV= coeficiente de variación.

Cuadro 3. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de 49 híbridos de sorgo evaluados en Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas, México, durante los ciclos P-V 2005,2006 y 2007.

Año	REN (kg/ha)	DF	AP	LP	EX	CP	IEF
2005	5802 a	60,6 b	164,7 a	26,7 a	22,0 a	2,9 ab	2,7 a
2006	4491 b	53,1 c	126,5 b	27,4 a	11,0 b	2,5 b	2,0 b
2007	5513 a	68,1 a	165,3 a	27,7 a	12,8 b	2,9 a	2,9 a
Promedio	5269	60,6	152,2	27,3	15,3	2,8	2,5

REN= rendimiento de grano kg/ha; DF= días a floración; AP= altura de planta en cm; LP= longitud de panoja en cm; EX= longitud de excursión en cm; CP= calificación de planta e IEF= incidencia de enfermedades foliares.

comportan de manera diferencial a través de los ambientes. Para rendimiento de grano (Cuadro 3) el año 2005 (5802 kg/ha) fue similar al 2007 (5513 kg/ha) y superiores al 2006 (4491 kg/ha). Las diferencias observadas en rendimiento se atribuyen a la mejor distribución de la lluvia ocurrida durante los años 2006 y 2007 (Cuadro 4), ya que la precipitación total fue similar en todos los ambientes (484, 445 y 557,2 mm respectivamente). En los tres ambientes y en el promedio de ambientes se encontraron híbridos experimentales que tuvieron un rendimiento similar al de los mejores híbridos comerciales utilizados como testigos (Cuadro 5). En el experimento sembrado en el 2008 (Cuadro 6), en promedio, los híbridos presentaron un rendimiento de grano superior a sus progenitores. Esto coincide con lo reportado por Kirby y Atkins (2000), Kenga et al. (2003) y Mahdy et al. (2011). Entre los progenitores masculinos sobresalen por su capacidad de formar híbridos rendidores: RTx437, RTx430, 25CEA y 430 REA. Los progenitores masculinos que formaron híbridos experimentales con más bajos rendimientos de grano fueron RTx435 y LRB-204. Esto se relaciona con un mayor o menor grado de heterosis en los híbridos.

El material RTx437 fue liberado por su potencial de producción como progenitor para formar híbridos y por su resistencia a enfermedades (Rooney et al., 2003). En este estudio fue el único progenitor que obtuvo un rendimiento de grano (3598 kg/ha) igual ($p \leq 0,05$) que los híbridos. En sorgo (*S. bicolor*), Duvick (1999) indicó que el mejoramiento *per se* de las líneas progenitoras para rendimiento de grano no es tan importante, como su capacidad de formar híbridos con alto grado de heterosis, pues, el contar con

padres más rendidores, facilita y hace más económica la producción de semilla de los híbridos. Además, experimentos realizados en el norte de Tamaulipas se encontró que RTx437 fue una de las líneas que formaron los híbridos experimentales más resistentes a carbón de la panoja *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon and Fullerton (Williams et al., 2009a) y los más tolerantes a pudrición carbonosa del tallo *M. phaseolina* (Williams et al., 2009b). Siendo estas, las enfermedades más importantes que afectan al cultivo de sorgo en el norte de Tamaulipas. La segunda de ellas afecta al sur del estado y en algunas regiones cuando las condiciones ambientales son adecuadas pueden causar fuertes pérdidas en la producción de grano (Williams et al., 2009b). Se reporta que el mejoramiento de sorgo en cuanto a resistencia a enfermedades y plagas, y al estrés ambiental, es importante para lograr el mayor aumento de la producción de grano (Duvick, 1999; Reddy et al., 2006). RTx437 también es progenitor masculino del híbrido experimental RB-104xRTx437 (6403 kg/ha), que sobresalió en los experimentos; donde resultó igual a los testigos comerciales: RB-Patrón (6288 kg/ha), A. Ámbar (6028 kg/ha), DK-65 (5763 kg/ha) y RB-4000 (5700 kg/ha); y fue superior a Pioneer 82G63 (4796 kg/ha), Pioneer 84G62 (4256 kg/ha) y Z-400 (4218 kg/ha).

También RB-104xRTx437 presentó buenos resultados en el norte de Tamaulipas (Montes et al., 2014a), lo cual corrobora los resultados obtenidos en este estudio. En México la disponibilidad de semilla de sorgo (*S. bicolor*) para siembra depende prácticamente de la importada y su costo en el mercado es cada vez más alto (Flores-Naveda et al., 2013). En el año 2010 se liberaron por sus buenas características agronómicas

Cuadro 4. Condiciones climáticas prevaecientes durante el desarrollo del cultivo en Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas, México, durante los ciclos P-V 2005, 2006, 2007 y 2008.

Ambiente	Precipitación mm	Temperatura °C			Humedad relativa (%)
		Max	Min	Med	
2005 (1)	484	30,49	21,0	25,75	82,14
2006 (2)	445	31,90	20,68	26,29	79,10
2007 (3)	557,2	30,4	22,57	26,48	77,72
2008 (4)	400,6	24,89	14,95	19,92	81,78

Ambiente 1: del 26 de agosto del 2005 al 10 enero 2006; Ambiente 2: 10 de agosto al 29 de noviembre del 2006; Ambiente 3: del 17 de agosto del 2007 al 4 de enero del 2008 y Ambiente 4: 21 de agosto del 2008 al 18 de enero del 2009.

Cuadro 5. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de híbridos de sorgo evaluados en tres ambientes en Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas, México. Ciclos P-V 2005, 2006 y 2007. Mejores cinco, peores cinco híbridos experimentales y testigos comerciales.

Genotipo	REN (kg/ha)	DF	AP (cm)	LP (cm)	EX (cm)	CP	IEF
RB-104xRTx437	6403 a	62 cdefghi	161 efgh	28,8 abcde	16,7 cdefghi	2,7 abc	2,35 abcd
RB-119x25 CEA	6399 a	65 abcd	175 bc	29,7 abcd	14,0 hijklmno	2,4 c	2,28 cd
RB-116xRTx430	6332 ab	63 bcdef	163 defg	30,0 abc	14,7 efghijklmno	2,5 abc	2,28 cd
RB-Patron (104xRTx430) (T)	6288 ab	63 bcdefg	157 efghik	30,3 a	12,5 jklmno	2,8 abc	2,58 abcd
RB-5xRTx430 REA	6190 abc	58 mnopqr	198 a	25,4 klmn	21,2 ab	2,8 abc	2,58 abcd
A. Ámbar (T)	6028 abcde	65,4 abc	163 defg	25,7 jklmn	15,2 cdefghijklmn	2,8 abc	2,42 abcd
DK-65 (T)	5763 abcdef	66,4 a	157 efghij	28,0 abcdefghij	14,3 fghijklmn	2,7 abc	2,65 abcd
RB-4000 (T)	5700 abcdefgh	63,6 abcdef	164 defg	29,7 abcd	12,2 klmno	2,7 abc	2,68 abcd
RB-3006 (27xRTx430) (T)	5467 abcdefghij	57,3 nopqr	154 ghijkl	25,9 hijklm	14,7 efghijklmno	2,6 abc	2,27 cd
RB-27xRTx437	5152 abcdefghij	56,6 opqrn	148 jklmno	24,1 nm	15,9 cdefghijklm	2,7 abc	2,42 abcd
RB-4040 (T)	4960 abcdefghij	61,3 efghijkl	139 nopqrs	28,2 abcdefghij	14,9 cdefghijklmn	2,7 abc	2,56 abcd
RB-3030 (5xRTx430) (T)	4951 abcdefghij	57,6 opqrmn	154 ghijkl	25,8 ijklmn	16,5 cdefghi	2,7 abc	2,48 abcd
DK-47 (T)	4930 abcdefghij	59,1 ijklmno	136 qrst	26,2 fghijklm	15,3 cdefghijklmn	2,6 abc	2,37 abcd
Pioneer 82G63 (T)	4796 bcdefghij	58,5 klmnopq	142 mnopqr	28,9 abcde	11,9 mno	2,9 abc	2,86 abcd
Pioneer 84G62 (T)	4256 ghij	58,8 jklmnopq	126 u	26,6 efghijklmn	11,4 no	3,2 abc	3,03 abc
46038x204	4242 ghij	56,1 opqr	130 stu	25,8 hijklmn	16,3 cdefghijk	3,4 abc	3,16 a
Z-400 (T)	4218 ghij	58,4 klmnopqr	127 tu	24,5 mn	14,1 fghijklmno	2,7 abc	2,72 abcd
RB-46038x RTx437	4215 hij	57,6 opqrmn	132 rstu	24,8 mn	17,3 bcdefgh	2,9 abc	2,58 abcd
RB-27x204	4111 ij	55,9 pqr	137 qrst	24,2 mn	14,7 fghijklmno	3,0 abc	2,60 abcd
RB-5x204	4064 ij	55,3 r	132 rstu	23,2 n	14,4 fghijklmno	2,9 abc	2,80 abcd
46038x RTx435	4001 j	58,3 opqrmnl	128 tu	24,4 mn	17,4 bcdefg	3,3 ab	3,14 ab
Media	5269	60,58	152	27,26	15,25	2,75	2,52
CV	14,57	2,64	6,66	5,64	15,06	19,13	19,29

REN= Rendimiento de grano kg/ha; DF= días a floración; AP= altura de planta en cm. LP= longitud de panoja en cm; EX= longitud de excursión en cm; CP= calificación de planta; IEF= incidencia de enfermedades foliares. Estas últimas dos características se calificaron en forma visual de mayor a menor mediante una escala de 1 al 5.

CV= coeficiente de variación.

Valores para la misma variable respuesta con las mismas letras en forma vertical son considerados iguales de acuerdo con Tukey ($p \leq 0,05$).

Cuadro 6. Comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0,05$) de híbridos y progenitores de sorgo evaluados en Estación Cuauhtémoc, Tamaulipas, México ciclo P-V 2008. Mejores cinco, peores cinco híbridos experimentales.

Genotipo	REN (kg/ha)	DF	AP (cm)	LP (cm)	EX (cm)	CP	IEF
Híbridos experimentales							
RB-116xRTx437	5073 a	72,8 cdefg	1,51 abcd	26,95 bcde	19,05 abc	2,13	2,05 bcde
RB-104xRTx437	5034 a	74,3 bcdefg	1,49 abcd	27,75 abcde	17,40 abcde	2,13	2,13 abcde
RB-119xRTx437	4987 ab	75,5 abcde	1,50 abcd	27,75 abcde	11,85 defg	2,28	2,28 abcde
RB-116xRTx430	4787 abc	72,5 cdefg	1,47 abcde	28,55 abcde	16,70 abcde	2,13	2,03 bcde
RB-118xRTx437	4771 abc	73,8 cdefg	1,43 bcdefgh	28,25 abcde	13,80 cdef	2,25	2,25 abcde
RB-106xRTx437	4310 abcde	73,3 cdefg	1,46 abcdefg	25,55 cdefg	19,15 abc	2,25	2,20 abcde
RB-119x25 CEA	4187 abcde	75,8 abcd	1,55 ab	30,15 ab	11,90 defg	2,78	2,78 abcd
RB-118x25 CEA	4068 abcde	74,8 bcdef	1,43 bcdefgh	29,2 abc	16,55 abcde	2,50	2,50 abcde
RB-106x25 CEA	3930 abcde	75,8 abcd	1,51 abc	26,4 bcdef	21,20 ab	2,58	2,53 abcde
RB-116x25 CEA	3716 abcdef	75,5 abcde	1,59 a	30,3 ab	15,60 bcdef	2,65	2,65 abcde
Medias experimentales	4467	74,5	1,48	28,1	16,1	2,40	2,35
Progenitores							
RTx437	3598 abcdef	74,0 bcdefg	1,18 lm	22,45 fgh	14,65 bedf	2,00	1,88 de
LRB-25 CEA	3502 bcdefg	74,5 bcdef	1,35 efghij	25,50 cdefg	20,80 abc	2,83	2,83 abc
LRB-104B	3138 defgh	76,0 abcd	1,32 hijk	28,80 abcde	9,10 fghi	2,63	2,63 abcde
LRB-106B	3128 defgh	79,3 ab	1,25 jkl	22,0 gh	14,80 bcdef	2,93	2,93 ab
LRB-118B	2812 efgh	77,0 abc	1,22 klm	29,35 abc	5,85 ghi	2,70	2,70 abcde
LRB-119B	2298 fgh	80,8 a	1,30 hijkl	27,30 abcde	3,85 hi	2,70	2,70 abcde
LRB-116B	1989 gh	77,8 abc	1,37 dfghij	28,75 abcde	9,05 fghi	2,70	2,58 abcde
RTx430	1804 h	76,0 abcd	1,08 m	29,35 abc	3,45 i	2,08	1,88 de
Medias proge.	2558	76,9	1,26	26,7	10,2	2,57	2,52
Media general	3977	73,89	1,39	27,21	14,78	2,46	2,41
CV	14,24	2,58	3,57	5,72	17,40	14,01	14,20

REN= rendimiento de grano kg/ha; DF= días a floración; AP= altura de planta en cm; LP= longitud de panoja en cm; EX= longitud de excursión en cm; CP= calificación de planta; IEF = incidencia de enfermedades foliares. Estas últimas dos características se calificaron en forma visual de mayor a menor mediante una escala de 1 al 5.

CV= coeficiente de variación.

Valores para la misma variable respuesta con las mismas letras en forma vertical son considerados iguales de acuerdo con Tukey ($p=0,05$).

los híbridos experimentales RB-104xRTx437 y RB-27xRTx437 (Montes et al., 2014a; Montes et al., 2014b). Se patentaron respectivamente con los nombres comerciales de RB-Huasteco y RB-Norteño. La producción comercial de semilla se realiza en Río Bravo, Tamaulipas. Distribuye comercialmente la semilla para su siembra en los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz y Guanajuato. El contar con semilla de híbridos mexicanos, producidos en el país, presenta la ventaja de que los empleos de producción se generan en México y se disminuye la fuga de divisas.

La dependencia de México por semillas importada es grave y si se agrega que también es deficitario en producción de alimentos (45%), el problema es mayor.

Por otro lado, se encontró una correlación significativa ($p \leq 0,01$) de $r=0,67$ y $r=0,53$ para rendimiento de grano kg/ha y altura de planta respectivamente para todos los experimentos establecidos en este estudio. Esto indica que los híbridos de mayor altura de planta fueron los que presentaron los más altos rendimientos. Esto coincide con lo reportado por Bakeith (1990), Ezeaku

y Mohammed (2006), Sarvari y Behesthi (2012). Doget (1967) indica que los sorgos de mayor altura de planta tienden a producir mayor rendimiento de grano, debido a que su área fotosintética es mayor. Para obtener correlaciones positivas entre estas dos características, es indispensable contar con amplia variabilidad genética en los materiales utilizados.

En la región de las Huastecas la actividad ganadera es muy importante y durante la época de estiaje (noviembre a mayo) se presenta escasez de forraje. Al respecto, los resultados indican que puede ser útil la selección de híbridos de mayor altura de planta y apropiados para utilizarse para el aprovechamiento del grano y forraje. Los híbridos experimentales que han comprobado tener potencial de producción de grano para las Huastecas, igualmente pueden tener adaptación para regiones de climas similares (A_w) en México, presentes en partes de los estados de Morelos, Michoacán, Sinaloa, Colima y Nayarit.

Otros caracteres agronómicos

El análisis de varianza por ambiente para las características estudiadas DF, AP, LP, EX, CP e IEF indicó diferencias significativas ($p \leq 0,01$) entre genotipos en los tres ambientes y el combinado. Como se mencionó anteriormente, esto es consecuencia de las diferencias genéticas entre los genotipos evaluados. Se detectaron también diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) entre ambientes y la interacción genotipo-ambiente. Esto significa que el ambiente juega un papel importante en la manifestación de las características en los genotipos, aunque estadísticamente el peso de la interacción fue menor al efecto del genotipo y el ambiente, incluso para el rendimiento de grano (Cuadro 2).

Días a floración. House (1985) reporta valores para la floración en sorgo que varían entre 52,4 a 90,5 días. En este estudio los valores fluctuaron entre 55 a 66,4 días, por lo que los valores encontrados se ubican más bien dentro de los genotipos precoces. Los híbridos experimentales que resultaron más precoces se relacionan con que en su formación intervienen líneas progenitoras masculinas precoces como 204 y femeninas como 46038, 64, 5 y 27. Los sorgos de ciclo precoz presentan ventajas cuando la estación de crecimiento es corta y cuando se presentan periodos

de sequía y altas temperaturas (Murphy et al., 2014). Las condiciones climáticas que se presentan en la región de las Huastecas es irregular, por lo que es frecuente que se presenten condiciones de sequía y altas temperaturas. El mejor híbrido experimental RB-104xRTx437 presentó una ventaja adicional en la floración, ya que ($p \leq 0,05$) fue más precoz (62) que A. Ámbar (65) y DK-65 (66).

Altura de planta. Los híbridos más altos fueron los experimentales RB-5x430 REA (198 cm) y RB-27x430 REA (200 cm). Los sorgos con alturas de planta superiores a 1,70 m son indeseables, ya que suelen presentar problemas de acame y dificultad para la cosecha mecánica. La mayor altura de planta de estos híbridos se asocia al progenitor masculino 430 REA.

Longitud de panoja. También se observó que los híbridos experimentales que presentaron los más altos rendimientos, p.e RB-Patrón, fueron los que tuvieron la mayor longitud de panoja. Castro et al. (2000) encontraron que los genotipos clasificados como resistentes a sequía, produjeron más grano debido a una mayor longitud de la panoja. El número de granos y el peso por panoja son los componentes de rendimiento más importantes (Ezeaku y Mohammed, 2006). El carácter longitud de ejerción presentó una variación de 10,8 a 21,8 cm. House (1985) indica que los sorgos con buena ejerción son aquellos que presentan más de 10 cm; por lo tanto, todos los genotipos presentan una ejerción adecuada para la cosecha mecánica del grano.

Enfermedades foliares. La enfermedad foliar que se presentó con mayor incidencia (80%), fue el tizón de la hoja (*Helminthosporium turcicum* (Pass.) Leo and Suggs). En menor grado se presentaron antracnosis (*Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson) y mancha zonada (*Gleocercospora sorghi* D. Bain y Edg). Se encontró correlación ($p \leq 0,01$) entre incidencia de enfermedades foliares y calificación de planta de $r=0,81$ y $0,94$ respectivamente para todos los experimentos realizados. Los resultados variaron entre 2,4 a 3,4. La presencia de enfermedades foliares en el cultivo de sorgo (*S. bicolor*) es un problema importante en el sur de Tamaulipas (Williams, 2002; Díaz y Montes, 2008). El ataque de este tipo de enfermedades pueden resultar en la defoliación prematura de la planta, la reducción del contenido de azúcar en el tallo y la disminución del rendimiento de grano (Girard, 1980).

Comparación de híbridos y progenitores

Al comparar los híbridos experimentales con sus progenitores se observó que los híbridos presentaron una altura de planta superior a sus padres (Cuadro 6), lo cual coincide con lo reportado por Kirby y Atkins (2000). House (1985) reporta la presencia de genes dominantes para altura de planta mayor, siendo esta una explicación razonable del valor mayor de altura de planta de los híbridos. También fueron más precoces igual a lo reportado por Mahdy et al. (2011). Además se observó que fueron de mayor longitud de la espiga y excersión y tuvieron menor incidencia de enfermedades foliares. En promedio, se encontró una heterosis de 59,9, -2,3, 17,8, 7,0, 57,5, -5,6 y -5,0% respectivamente para REN, DF, AP, LP, EX, CP e IEF (datos no presentados). En las mismas características se encontró una heterobeltiosis de 46,1, -4,9, 12,6, 1,6, 18,7, -14,1 y -14,6 respectivamente. Esto es coincidente con lo encontrado por Kirby y Atkins (2000), Mahdy et al. (2011), Kenga et al. (2003) y Cisneros et al. (2007). En promedio, en los híbridos experimentales, se presentó una heterosis de 59,9% y heterobeltiosis de 49,1% lo cual fue alto. Los híbridos con mayor heterosis y heterobeltiosis para rendimiento de grano fueron: RB-116xRTx430 con 152,5% y 146,7% y RB-119xRTx437 con 117,4 y 94% respectivamente. Estos dos híbridos se encuentran en el grupo superior para rendimiento de grano. El mejor híbrido RB-104xRTx437, presentó una heterosis para rendimiento de grano de 49,5% y una heterobeltiosis de 39,5%. Esto se debe al mayor rendimiento de grano presente en el progenitor masculino (RTx437), lo cual incide en el cálculo de los valores obtenidos. Para días a floración, calificación de planta (CP) e incidencia de enfermedades foliares (IEF), se presentó una heterosis y heterobeltiosis negativa. Esto concuerda con lo reportado por Mahdy et al. (2011) para días a floración. Se comprueban las hipótesis planteadas en este trabajo: los híbridos experimentales fueron iguales a los mejores comerciales y fueron diferentes a sus padres.

El hecho de que los híbridos resulten más precoces que sus padres no representa ningún problema agronómico, ya que es una característica deseable. Respecto a enfermedades foliares se complica la selección de híbridos tolerantes, ya que ambos progenitores deben presentar buen grado de tolerancia.

LITERATURA CITADA

- Assefa, Y., y S.A. Staggenborgh. 2009. Grain yield with hybrid advancement and changes in agronomic practices from 1957 through 2008. *Agron. J.* 102:703-706.
- Bakheith, R.B. 1990. Variability and correlations in grain sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) under drought conditions at different stages of growth. *Crop Sci.* 185:355-360.
- Castro, S.N., C.J. Ortiz, M.M.D.C. Castillo, y G.F. Zavala. 2000. Producción de biomasa en líneas de sorgo como respuesta al estrés hídrico. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:321-334.
- Cisneros, M.E., L.E. Mendoza, G. Mora, L. Córdoba, y M. Livera. 2007. Híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. II: Efecto de *Fusarium verticilloides* (Sacc) Nirenberg en el rendimiento de semilla y sus componentes en condiciones de campo. *Agrociencia* 41:283-294.
- CONACYT. 2013. Fondo sectorial de investigación en materia agrícola, pecuaria, acuicultura. Convocatoria 2013-2. <http://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/convocatorias-y-resultados-conacyt/convocatorias-fondos-sectoriales-constituidos/convocatoria-sagarpa-conacyt/convocatorias-cerradas-sagarpa-conacyt/3903--445/file> (Consultado 14 agosto 2014).
- Díaz, F.A., y G.N.B. Montes. 2008. La fitopatología en la región semiárida de Tamaulipas, México: reseña histórica. *Rev. Mex. Fitopatol.* 26:62-70.
- Doget, N. 1967. Yield increase from sorghum hybrids. *Nature* 216:798-799.
- Duvick, D.N. 1999. Heterosis: feeding people and protecting natural resources. En: J. G. Coors, y S. Pandey, editores, *The genetics and exploitation of heterosis in crops*. American Society of Agronomy, Inc., Crop Science of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wi, USA. p. 19-29.
- Ezeaku, I.E., y S.G. Mohammed. 2006. Character association and path analysis in grain sorghum. *Afr. J. Biotechnol.* 5:1337-1340.
- Financiera Rural. 2011a. Monografía del sorgo grano. <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural> (Consultado 23 nov. 2013).
- Financiera Rural. 2011b. Semillas para siembra de maíz, trigo, sorgo y frijol. <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaSemillas%28oct11%29vf.pdf> (Consultado 14 agosto 2014).
- Flores-Naveda, A., C.G.S. Valdés-Lozano, F. Zavala-García, E. Olivares-Sáenz, A. Gutiérrez-Díe, y M.E. Vázquez-Badillo. 2013. Comportamiento agronómico de

- líneas para la producción de semilla de sorgo. *Agron. Mesoam.* 24:119-131
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México.
- Girard, J.C. 1980. A review of souly stripe and rouge, zonate and oval leaf spots. En: R.J. Williams, R.A. Frederiksen, y L.K. Mughogho, editores, *Sorghum diseases, a world review*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropic ICRISAT, Patancheru (AP). India. p. 229-239.
- House, L.R. 1985. A guide to sorghum breeding. Ed. ICRISAT. Andhra Pradesh, India.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2013. Campo Experimental Huastecas. <http://www.inifapcirne.gob.mx/Localizacion.htm> (Consultado 9 mar. 2014).
- Kenga, R., S.O. Alabi, y S.Y. Gupta. 2003. Yield stability of sorghum hybrids and parental lines. *Afr. Crop Sci. J.* 11:65-73.
- Kirby, J.S., y R.E. Atkins. 2000. Heterotic response for vegetative mature plant characters in grain sorghum *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Crop Sci.* 40:319-329.
- León-Velasco, H., L.E. Mendoza-Onofre, F. Castillo-González, T. Cervantes-Santana, y A. Martínez-Garza. 2009. Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. II: Aptitud combinatoria, heterosis y heterobeltiosis. *Agrociencia* 43:609-623.
- Mahdy, E.E., M.A. Ali, y A.M. Mahmoud. 2011. The effect of environment on combining ability and heterosis in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Asian J. Crop Sci.* 3:1-15.
- Montes, G.N., A.H. Williams, C.G. Arcos, Q.V. Pecina, C.M. De la Garza, G.T. Moreno, y V.E. Vargas. 2014a. RB-Huasteco, sorgo de grano para áreas de riego y buen temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. No. 7.* 1331-1335.
- Montes, G.N., A.H. Williams, C.G. Arcos, V.E. Vargas, Q.V. Pecina, y M.R. Espinosa. 2014b. RB-Norteño, sorgo de grano para áreas con sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Pub. Esp. No. 7.* 1337-1342.
- Murphy, R.L., D.T. Morishige, J.A. Brady, W.L. Rooney, S. Yang, P.E. Klein, y J.E. Mullet. 2014. Ghd7 (Ma6) represses sorghum flowering in long days: Ghd7 alleles enhance biomass accumulation and grain production. *The Plant Genome* 7:1-10.
- Reddy, B.V.S., A.A. Kumar, y W.D. Dar. 2006. Overview of sweet sorghum breeding at ICRISAT: Opportunities and constraints. <http://www.ifad.org/events/sorghum/b/Reddy.pdf> (Consultado 20 dic. 2013).
- Reddy, B.V.S., A.A. Kumar, y W.D. Dar. 2006. Overview of sweet sorghum breeding at ICRISAT: Opportunities and constraints. www.ifad.org/events/sorghum/b/Reddy.pdf (Consultado 20 diciembre 2013).
- Rooney, W.L., F.R. Miller, y L.W. Rooney. 2003. Registration of RTx437 sorghum parental line. *Crop Sci.* 43:445-446.
- Sarvari, S.M., y S.A. Behesthi. 2012. Relationship between grain yield and plant characteristics in grain sorghum genotypes under drought stress conditions. *Iranian J. Crop Sci.* 14:183-201.
- SAS Institute. 1999. User's guide. SAS Software Release 8.0. Cary, NC, USA.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011. http://reportes.siap.gob.mx/agricola_siap/cultivo/index.jsp. Consultado 17 nov. 2011.
- Stephens, J.C., y R.F. Holland. 1954. Cytoplasmic male sterility for hybrids sorghum seed production. *Agron. J.* 46:20-23.
- Williams, A.H. 1981. Dos nuevos sorgos híbridos de grano para el norte de de Tamaulipas INIA RB-3030 e INIA RB-3006. Campo Agrícola Experimental Río Bravo. Folleto técnico No. 2. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Río Bravo, Tamaulipas, México.
- Williams, H. 1988. RB-4000 híbrido de sorgo para áreas de riego. Campo Agrícola Experimental Río Bravo. Folleto técnico No. 8. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Río Bravo, Tamaulipas, México.
- Williams, H. 1996. RB-4040 nuevo híbrido de sorgo para el noreste de México y tolerante a *Sporisorium reilianum* y *Macrophomina phaseolina*. *Rev. Fitotec. Mex.* 19:193-194.
- Williams, H. 2002. Sorghum and millet in Mexico. En: J.F. Leslie, editor, *Sorghum and millet diseases*. Iowa State Press, Ames, USA. p. 457-463.
- Williams, H., N. Montes, y V. Pecina. 2006. Sorgo. En: L.A. Rodríguez del Bosque, editor, *50 años de investigación agropecuaria en el norte de Tamaulipas, historia, logros y retos*. Libro técnico No. 1. Campo Experimental Río Bravo, Instituto Nacional de investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Río Bravo, Tam., México. p. 33-54.

- Williams, H., R. Rodríguez-Herrera, y N. Montes-García. 1995. 20 años de investigación en sorgo en el Campo Experimental Río Bravo. *Germen* 11:1-35
- Williams, H., V. Pecina, F. Zavala, y N. Montes. 2004. RB-Patrón, nuevo híbrido de sorgo para grano en el noreste de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27:291-293.
- Williams, H., V. Pecina, N. Montes, G. Arcos, F. Zavala, y V.A.J. Gámez. 2009a. Incidencia de carbón de la panoja *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon y Fullerton en híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] para grano. *Rev. Mex. Fitopatol.* 27:36-44.
- Williams, H., V. Pecina, N. Montes, F. Zavala, G. Arcos, y A.J. Gámez. 2009b. Evaluación de híbridos de sorgo *Sorghum bicolor* (L.) Moench para resistencia a pudrición carbonosa del tallo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid en Tamaulipas, México. *Rev. Mex. Fitopatol.* 27:69-72.

