

Incidencia de Carbón de la Panoja *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon y Fullerton en Híbridos de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] para Grano

Héctor Williams-Alanís, INIFAP, Campo Experimental Río Bravo (CERIB), Apdo. Postal 172, Río Bravo, Tamaulipas, México CP 88900; **Víctor Pecina-Quintero**, INIFAP, Campo Experimental Bajío (CEBAJ), km 6 Carr. Celaya-San Miguel Allende, Apdo. Postal 112, Celaya, Guanajuato, México CP 38010; **Noé Montes-García**, INIFAP-CERIB; **Gerardo Arcos-Cavazos**, INIFAP, Campo Experimental Las Huastécas, km 55 Carr. Tampico-Cd. Mante, Apdo. Postal C-1 Suc. Aeropuerto, Tampico, Tamaulipas, México CP 89339; **Francisco Zavala-García**, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, km 17.5 Carr. Zuazua-Marín, Marín, Nuevo León, México CP 66700; y **Alfredo Josué Gámez-Vázquez**, INIFAP-CEBAJ. Correspondencia: hectorwilliamsa@yahoo.com.mx

(Recibido: Diciembre 9, 2008 Aceptado: Febrero 6, 2009)

Williams-Alanís, H., Pecina-Quintero, V., Montes-García, N., Arcos-Cavazos, G., Zavala-García, F. y Gámez-Vázquez, A.J. 2009. Incidencia de carbón de la panoja *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon y Fullerton en híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] para grano. Revista Mexicana de Fitopatología 27:36-44.

Resumen. El carbón de la panoja del sorgo (*Sporisorium reilianum*) es una enfermedad de gran importancia en el norte de Tamaulipas, México, ya que en algunos años y áreas puede afectar a genotipos susceptibles hasta en un 80%. En este trabajo se evaluó la reacción de 49 híbridos experimentales y comerciales de sorgo para grano a *S. reilianum*, con el fin de identificar híbridos resistentes a la enfermedad (0-3% de incidencia), y detectar líneas que puedan servir como progenitoras. La evaluación se realizó bajo condiciones de infección natural en Empalme, municipio de Matamoros, Tamaulipas, México, en riego, durante los ciclos agrícolas Otoño-Invierno 2005-2006 y 2006-2007. Se utilizó un diseño de látice simple duplicado 7 x 7 con cuatro repeticiones. Se detectaron híbridos comerciales y experimentales resistentes y con buen rendimiento de grano (4 ton ha⁻¹), entre los que destacan Pioneer 82G63, RB-5x204, RB-118x437, Asgrow Ámbar, RB-118x204 y RB-119x430 con 0, 0.8, 1.1, 1.2, 1.6 y 2.1% de incidencia, respectivamente. Los progenitores que formaron los híbridos más resistentes fueron la línea hembra 46038 y los machos Tx437 y LRB-204, con los cuales se formó el híbrido experimental más resistente 46038x437 que presentó 0.2% de incidencia.

Palabras clave adicionales: Selección de híbridos, progenitores, resistencia.

El carbón de la panoja (CP) del sorgo causado por el hongo

Abstract. Sorghum head smut (*Sporisorium reilianum*) is an important disease in Northern Tamaulipas, Mexico. In some years, this disease may affect sorghum susceptible genotypes up to 80% in certain areas. In this study, the reaction of 49 experimental and commercial grain sorghum hybrids to *S. reilianum* was evaluated, with the objective to identify resistant hybrids to this disease (0-3% incidence), which could be used as parental lines. The evaluation was conducted under irrigation and natural infection in Empalme County in Matamoros, Tamaulipas, Mexico, during the Fall-Winter seasons 2005-2006 and 2006-2007. The experimental design was a duplicated simple lattice 7 x 7 with four replications. Commercial and experimental resistant hybrids with acceptable grain yield (4 ton ha⁻¹) were detected; the most outstanding were Pioneer 82G63, RB-5x204, RB-118x437, Asgrow Ámbar, RB-118x204 and RB-119x430 with 0, 0.8, 1.1, 1.2, 1.6, and 2.1% incidence, respectively. The parental lines that produced the most resistant hybrids were the female line 46038 and male lines Tx-437 and LRB-204. They generated the most resistant experimental hybrid 46038x437 with only 0.2% incidence of head smut.

Additional keywords: Hybrid selection, parental lines, resistance.

Abbreviated article.

Head smut (HS) of sorghum caused by the *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon and Fullerton, is dimorphic and can grow as saprophyte, but it requires sexual reproduction and a compatible host in order to complete its life cycle (Naidoo and Torres-Montalvo, 2002). Teliospores germinate in the soil, infect seedlings during emergence, and develop systemically (Frederiksen and Reyes, 1980). During flowering, a waxy gall

Sporisorium reilianum (Kühn) Langdon y Fullerton, es dimórfico y puede crecer como saprófito, pero requiere de la reproducción sexual y pasar a un hospedero compatible para completar su ciclo de vida (Naidoo y Torres-Montalvo, 2002). Las teliosporas germinan en el suelo, infectan las plántulas durante la emergencia y se desarrollan en forma sistémica (Frederiksen y Reyes, 1980). Durante la floración se forma una agalla cerosa lo que provoca la esterilidad en la planta madre y los hijuelos. Al romperse la agalla antes de la cosecha, se liberan las teliosporas, las cuales caen al suelo y/o son transportadas por aire a corta distancia (Montes-García y Díaz-Franco, 2006). La diversidad genética en el patógeno es baja como lo demostró un estudio con marcadores moleculares (Naidoo y Torres-Montalvo, 2002), lo que sugiere que el hongo es relativamente nuevo en los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] (Torres-Montalvo, 1998). En México, el estado de Tamaulipas es el principal productor de sorgo, ya que se siembran alrededor de 800,000 ha al año y se obtiene una producción media de más de dos millones de ton (SAGAR, 2003; Williams-Alanís *et al.*, 2006). Los primeros reportes de la enfermedad en Tamaulipas se dieron a principios de los años 60's (Betancourt, 1981) y a la fecha se han identificado cuatro razas fisiológicas (Aguirre *et al.*, 1993). Las razas 1 y 3 se presentan cuando las condiciones son calientes y secas, mientras que la 4, solamente se presenta en años calientes y húmedos. Por su parte la raza 2 se ha presentado en sólo dos ciclos de producción (Aguirre *et al.*, 1993; Montes-García y Díaz-Franco, 2006; Narro *et al.*, 1992). A la fecha se han formado y liberado algunos materiales tolerantes a CP, entre los que destacan RB-3030, RB-3006 (Williams-Alanís, 1981); la línea LRB-63 resultó resistente a las cuatro razas fisiológicas (Williams-Alanís *et al.*, 1990; 1995). También se ha observado que las líneas y los híbridos de sorgo formados con el citoplasma A₁ son más tolerantes a la enfermedad (Pecina-Quintero *et al.*, 2004). En la mayoría de los programas de mejoramiento genético, la selección contra el CP se realiza en campo (Rooney *et al.*, 2002). Se requiere un vivero establecido en áreas que presentan un alto grado de infestación de CP (Frederiksen y Reyes, 1980). El presente trabajo se planteó con el objetivo de evaluar un grupo de híbridos experimentales y comerciales de sorgo para grano por su reacción al CP causado por *S. reilianum*, seleccionar los resistentes (0-3% de incidencia) e identificar los progenitores asociados a la resistencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron dos experimentos uniformes en condiciones de riego en Empalme, Municipio de Matamoros, Tamaulipas, durante los ciclos Otoño-Invierno 2005-2006 y 2006-2007, con fechas de siembra del 31 de enero y 6 de febrero, respectivamente. Empalme localizado geográficamente a 25° 54' LN/ 97° 47' LO y a 14 msnm, se encuentra a 25 km al oriente de la Cd. de Río Bravo. Su clima es similar al de esta ciudad, semicálido, subhúmedo con lluvias escasas todo el año

devellops and causes sterility in the mother plant and tillers. Teliospores are released when the gall breaks open before harvest, some fall into the ground and/or are disseminated to short distances by the wind (Montes-García and Díaz-Franco, 2006). Genetic diversity of the fungus is low as it has been shown in studies with molecular markers (Naidoo and Torres-Montalvo, 2002), which suggests that the fungus is relatively new on maize (*Zea mays* L.) and sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] (Torres-Montalvo, 1998). The state of Tamaulipas is the main sorghum producer in Mexico, with approximately 800,000 ha a year, and production is more than two million tons (SAGAR, 2003; Williams-Alanís *et al.*, 2006). The first reports of the disease in Tamaulipas were published at the beginning of the 60's (Betancourt, 1981), and up to the present time, four physiologic races have been identified (Aguirre *et al.*, 1993). Races 1 and 3 occur when weather conditions are hot and dry, while race 4 only when the weather is hot and humid. Race 2 has occurred in Tamaulipas only in two crop seasons (Aguirre *et al.*, 1993; Montes-García and Díaz-Franco, 2006; Narro *et al.*, 1992). Tolerant material to HS have been released for commercial use, like RB-3030 and RB-3006 (Williams-Alanís, 1981); line LRB-63 was tolerant to the four races (Williams-Alanís *et al.*, 1990; 1995). It has been observed that lines and hybrids with cytoplasm A₁ are more tolerant to the disease (Pecina-Quintero *et al.*, 2004). The objective of this work, was to evaluate the reaction of a group of experimental and commercial sorghum hybrids to *S. reilianum*, select the resistant ones (0-3% incidence), and identify progenitors associated with resistance.

MATERIALS AND METHODS

Two experiments were established under irrigation in Empalme, Matamoros County, Tamaulipas, during crop seasons fall-winter 2005-2006 and 2006-2007; planting dates were January 31 and February 6, respectively. Empalme is located at 25° 54' LN/ 97° 47' LW and 14 masl, 25 km to the east of Río Bravo. The climate is semi-warm, sub-humid with scarce rainfall during the year [(A)Cx] and more than 18% of winter rainfall (Silva-Serna and Hess-Martínez, 2001). Head smut is endemic in the area where experiments were carried out. Forty nine hybrids from the National Institute for Forestry, Agriculture, and Livestock Research (33), the Faculty of Agronomy of the Autonomous University of Nuevo Leon (5), and commercial companies (11) were evaluated for tolerance to HS (Table 1). The experimental design was a duplicated simple lattice 7 x 7 with four replications, plots were 5 m long single row with separation of 0.80 m. Plant density was 200,000 ha⁻¹. Crop management followed the technical recommendations for northern Tamaulipas (Montes-García and Aguirre-Rodríguez, 1992). The evaluation was performed during physiologic maturity by counting the number of affected plants and the total number of plants per plot. Disease rating scale was as follows: Resistant (0-3% incidence), moderately resistant (4-6%), moderately susceptible (7-10%), susceptible (> 10%) (Aguirre-Rodríguez,

[(A)Cx] y más de un 18% de lluvia invernal (Silva-Serna y Hess-Martínez, 2001). El lote experimental se caracteriza por la presencia natural y sistemática de la enfermedad a través de los años. Se evaluaron 49 híbridos, de los cuales 33 se obtuvieron del INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, cinco de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL) y 11 híbridos de las compañías comerciales de semillas (Cuadro 1). La nomenclatura de los híbridos experimentales se formó con los números que corresponden a las líneas hembra (x) y macho. Los testigos comerciales fueron seleccionados de entre los mejores recomendados para Tamaulipas. Los 49 híbridos se aleatorizaron en un diseño de látice simple duplicado 7 x 7 con cuatro repeticiones y las parcelas fueron de un surco de 5 m de largo y 0.80 m de separación. La siembra se realizó en tierra venida tirando 5 g de semilla por surco y aclareando 20 días después de nacidas las plantas, para obtener una población de 200,000 plantas ha⁻¹. El manejo del cultivo se

1986). Results from the group of hybrids were compared with results from hybrid RB-4040 which is resistant to HS. Data were transformed by arcsin and mean comparison was done by MSD (< 0.05). Also, orthogonal contrasts were made between hybrids grouped by common progenitors in order to detect those that make better descendents. Grain yield was also evaluated (kg ha⁻¹). In addition, Pearson's correlation coefficient was estimated between percentage incidence of *S. reilianum* and yield.

RESULTS AND DISCUSSION

Disease incidence. The analysis of variance per year showed highly significant ($p < 0.01$) differences between hybrids for HS incidence in 2006 and 2007 (Table 2), as well as in the combined analysis (Table 3). This is a product of the genetic differences between materials and the interaction between A lines (female progenitor) and R lines (male progenitor), when hybrids were grouped by common progenitors, differences

Cuadro 1. Híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*) evaluados por su incidencia de carbón de la panoja (*Sporisorium reilianum*) en Empalme, municipio de Matamoros, Tamaulipas, México.

Table 1. Sorghum hybrids (*Sorghum bicolor*) evaluated for incidence of head smut (*Sporisorium reilianum*) in Empalme, Matamoros County, Tamaulipas, Mexico.

No. ^z	Híbrido	No.	Híbrido
1	RB-118 x 430	26	RB-116 x 437
2	RB-118 x 435	27	RB-116 x 25 CEA
3	RB-118 x 204	28	RB-106 x 430
4	RB-118 x 216	29	RB-106 x 437
5	RB-118 x 430-CEA	30	RB-106 x 216
6	RB-118 x 437	31	RB-106 x 25 CEA
7	RB-118 x 25 CEA	32	RB-64 x 430
8	RB-Patrón (RB-104 x 430)	33	RB-64 x 437
9	RB-104 x 435	34	46038 x 430 CEA
10	RB-104 x 25 CEA	35	46038 x 430
11	RB-104 x 216	36	46038 x 435
12	RB-104 x 437	37	46038 x 204
13	RB-27 x 430 REA	38	46038 x 437
14	RB-27 x 435	39	RB-3030 (RB-5 x 430)
15	RB-27 x 204	40	RB-3006 (RB-27 x 430)
16	RB-27 x 437	41	RB-4000
17	RB-5 x 204	42	RB-4040
18	RB-5 x 430 REA	43	RB-64 x 435
19	RB-5 x 437	44	DK-47
20	RB-119 x 430	45	Asgrow Z-400
21	RB-119 x 25 CEA	46	Pioneer 82G63
22	RB-119 x 435	47	Pioneer 84G62
23	RB-119 x 437	48	Asgrow Ámbar
24	RB-116 x 430	49	DK-65
25	RB-116 x 435		

^z1-7, 9-33, 43: híbridos experimentales del INIFAP, Campo Experimental Río Bravo; 34-38: híbridos experimentales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FAUANL); 8, 39-42, 44-49: testigos comerciales.

realizó de acuerdo a las recomendaciones regionales para el cultivo de sorgo para el norte de Tamaulipas (Montes-García y Aguirre-Rodríguez, 1992). La evaluación se realizó bajo condiciones naturales de infección, durante la época de madurez fisiológica del cultivo contando el número de plantas infectadas y el número total de plantas por parcela. Se utilizó una escala para la evaluación de la enfermedad, donde: 0-3% de incidencia es resistente; 4-6% es moderadamente resistente; 7-10% es moderadamente susceptible y más de 10% es susceptible (Aguirre-Rodríguez, 1986). Se compararon los resultados con el híbrido RB-4040, el cual se conoce que es resistente a CP. Los datos del porcentaje de CP fueron transformados por arcoseno para homogeneizar las varianzas, y se analizaron bajo un diseño de bloques al azar por año y un análisis combinado de ambos. Para la diferenciación estadística de los resultados se realizó la comparación de medias (DMS $p < 0.05$). Con los promedios de incidencia de CP, se realizaron pruebas de contrastes ortogonales entre híbridos agrupados por progenitores comunes, para detectar aquéllos que forman los mejores descendientes. También se evaluó el rendimiento de grano por parcela, transformando a kg ha^{-1} . Además, se estimó el coeficiente de correlación de Pearson entre el porcentaje de incidencia de *S. reilianum* y el rendimiento de los genotipos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incidencia de la enfermedad. El análisis de varianza por año (Cuadro 2) indicó diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre híbridos para la incidencia de CP en sorgo en los dos años evaluados (2006 y 2007), y en el análisis combinado (Cuadro 3). Lo anterior es consecuencia de las diferencias genéticas entre materiales y de las interacciones entre líneas A (progenitor femenino) y líneas R (progenitor masculino), ya que al agrupar híbridos con progenitores comunes las diferencias en tolerancia fueron notorias. La localidad de

were notorious. Empalme as a testing site was adequate, since HS incidence on most susceptible genotypes was as high as 31.9% in 2006 and 23.40% in 2007. Highly significant differences ($p < 0.01$) were also detected between years and for the interaction genotype-year (Table 3). There was an average of HS incidence of 11.0% in 2006 and 6.7% in 2007 (Table 4). Although there was no weather station near the experiment, data collected from Rio Bravo indicated a mean temperature greater than 34.1°C during the crop season in 2006, relative humidity was 70.1%, while in 2007 temperature was 31.4°C and 85% RH, conditions that were more favorable for the disease. Incidence of races 1 and 3 in northern Tamaulipas increase when crop seasons are dry and warm (Montes-García and Díaz-Franco, 2006; Narro *et al.*, 1992); these races are predominant in this region (Aguirre-Rodríguez, 1986). Incidence of HS is also high in other places during dry seasons (Frowd, 1980). The interaction genotype by year, indicated that some hybrids behaved differently through years (Tables 3 and 4), therefore, their resistance is affected by the environment and genotype evaluated, as reported by Aguirre-Rodríguez (1986) and Rooney *et al.* (2002). There were highly statistical differences in HS incidence between hybrids in 2006 and in 2007 (Table 4), probably because of the diverse origin of the material evaluated: Commercial hybrids from seed companies, hybrids derived from INIFAP’s germplasm from Bajío Experimental Station, Rio Bravo Experimental Station, Texas A&M University (EUA), University of Nuevo Leon, and the International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics (ICRISAT).

Selection of hybrids and progenitors. Results from 2006, 2007, and the combination of both (Table 4) showed commercial hybrids with high levels of resistance to HS (< 3%), like Pioneer 82G63 (0%), Asgrow Ámbar (1.2%), Asgrow Z-400 (1.5%), RB-4040 (1.7%), and DK-65 (2.7%). Hybrid RB-4040 was released in Rio Bravo Experimental Station in 1996 due its

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para la incidencia de carbón de la panoja (*Sporisorium reilianum*) y rendimiento de grano en 49 híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*), evaluados en Empalme, municipio de Matamoros, Tamaulipas, México en dos años.

Table 2. Mean squares from the analysis of variance for head smut (*Sporisorium reilianum*) incidence and grain yield of 49 sorghum hybrids (*Sorghum bicolor*), evaluated in Empalme, Matamoros County, Tamaulipas, Mexico in two years.

FV	gl	CM			
		O-I 2005-2006		O-I 2006-2007	
		CP (%)	Rendimiento (kg ha^{-1})	CP (%)	Rendimiento (kg ha^{-1})
Híbridos	48	177.66 ^z	1962746 ^y	167.90 ^z	1201219 ^z
Repeticiones	3	33.37	442612	21.47	1768830
Error	144	32.6	1310751	34.42	690997
CV(%)		52.0	28.65	87.67	24.37
Media		10.96 a	3996 a	6.69 b	3410 b

^ySignificativo ($p < 0.05$).

^zAltamente significativo ($p < 0.01$).

Cuadro 3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para porcentaje de incidencia de carbón de la panoja (*Sporisorium reilianum*) y rendimiento de grano en 49 híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*), evaluados en Empalme, municipio de Matamoros, Tamaulipas, México en dos años.

Table 3. Combined mean squares of the analysis of variance for the percentage of head smut (*Sporisorium reilianum*) incidence and grain yield of 49 sorghum hybrids (*Sorghum bicolor*), evaluated in Empalme, Matamoros County, Tamaulipas, Mexico in two years.

FV	gl	CM	
		CP (%)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Híbridos (H)	48	310.35 ^z	1442478 ^z
Años (A)	1	1784.44 ^z	33667325 ^z
H x A	48	35.93	1716447 ^z
Repeticiones (R)	3	38.83	1742227
Error	294	33.46	997163

^zAltamente significativo ($p < 0.01$).

Empalme municipio de Matamoros utilizada para evaluar el CP fue adecuada, ya que se presentaron incidencias en los genotipos más susceptibles hasta del 31.9% en 2006 y 23.40% en 2007. También se detectaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre años y para la interacción genotipo-año (Cuadro 3). Durante el año 2006 se presentó una incidencia promedio de CP de 11.0% estadísticamente superior al 6.7% que se presentó en el año 2007 (Cuadro 4). No se cuenta con la información climática de una estación cercana al experimento, pero los datos colectados de la estación de Río Bravo, indican que la temperatura media durante el ciclo del 2006 fue mayor (34.1°C) y el ambiente fue más seco (70.1% HR) en comparación con el del 2007 (31.4°C y 85% HR), condiciones que pudieron resultar más favorables para el desarrollo de la enfermedad. Para el norte de Tamaulipas se reporta que durante los años secos y calientes aumenta la incidencia de las razas 1 y 3 (Montes-García y Díaz-Franco, 2006; Narro *et al.*, 1992), que son las predominantes en esta región (Aguirre-Rodríguez, 1986). También en otros lugares se ha observado que durante los años secos la incidencia de la enfermedad es mayor (Frowd, 1980). La interacción genotipo-año, indicó que algunos híbridos se comportan de manera diferencial a través de los años (Cuadros 3 y 4), por lo tanto su resistencia es afectada por el ambiente y por el tipo de material evaluado tal como lo reportan Aguirre-Rodríguez (1986) y Rooney *et al.* (2002). En el Cuadro 4 se presentan los resultados de los híbridos experimentales y testigos comerciales para la incidencia de CP por año y el promedio de los dos años. Se observaron grandes diferencias estadísticas entre los híbridos tanto en el 2006, 2007 y el combinado entre años. Estas diferencias se pueden deber al origen diverso de los materiales evaluados; híbridos comerciales de las compañías semilleras e híbridos experimentales formados y derivados con germoplasma del INIFAP, Campo experimental Bajío, INIFAP, Campo experimental Río Bravo, Texas A&M University (EUA), Universidad de Nuevo León y del International Crops Research Institute for the Semiarid

adaptation to northeast Mexico and resistance to HS and charcoal rot [*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid]. It showed a HS incidence range of 0.45 to 2.32% under natural conditions in nine different environments in northern Tamaulipas in 1993, 1994, and 1995 (Williams-Alanís, 1996), and in this study the resistance to HS by this hybrid was corroborated. A good number of experimental hybrids stood out for their resistance in 2006 and 2007, like 46038x437, RB-27x437, 46038x430 CEA, and RB-5x204. Some progenitors were associated to resistance to HS (Tx-437, LRB-204, and 46038). Orthogonal contrasts (data not shown), indicated highly significant differences between male and female progenitors in almost all contrasts. Progenitors Tx-437 and LRB-204 showed the best average behaviour (Table 5). Female progenitor 46038 was the best with only an average of 1.3% HS incidence and the combination with Tx-437 produced the most resistant (0.2% incidence) experimental hybrid. All hybrids formed with Tx-437 y LRB-204 were resistant (< 3% incidence) and those formed with progenitor LRB-25 CEA were classified as susceptible (> 10%) and moderately susceptible (7-10%) (Tables 4 and 5), so at least with the male progenitors used in this study, dominant genes are involved which agrees with Rooney *et al.* (2002). Tx-437 which was released by Texas A&M University is resistant to HS (Rooney *et al.*, 2003); results of this study confirmed that feature of Tx-437. LRB-204 released in Rio Bravo Exp. Station is tolerant to charcoal rot (Pecina-Quintero *et al.*, 1999; Williams-Alanís *et al.*, 1994) and to HS (Williams-Alanís *et al.*, 1994). Line 46038 used at the Faculty of Agronomy of the Autonomous University of Nuevo Leon was originated in Nebraska University (EUA). Tx-430 also used as progenitor male in this study, was released by Texas A&M University featuring resistance to HS (Miller, 1984); however, since one of its ancestors is SCO 170-6 (Miller, 1984), with time it lost resistance to race 4 (Aguirre-Rodríguez, 1986). SCO 170-6 is used as differential for that race (Aguirre-Rodríguez, 1986). Some of the experimental and commercial hybrids produced with the male progenitor were moderately resistant to HS (> 3-6%) in this study. It would seem that HS incidence found in these hybrids was low (1.3-4.7%), but the presence of race 4 was low (1.33%) in the 80's in northern Tamaulipas (Aguirre-Rodríguez, 1986), and higher (6.75%) in the 90's (Pecina-Quintero *et al.*, 2004); when weather conditions become warm and humid, HS incidence increases (Montes-García and Díaz-Franco, 2006; Narro *et al.*, 1992) and may cause damage in this type of materials. Hybrid RB-Patrón, within this group, was released by INIFAP in 2002 and it was categorized with an average HS incidence of 5.48% (Williams-Alanís *et al.*, 2004). In this study it showed 4.7% incidence, and although it could be considered as low incidence (3-6%), sorghum producers do not accept it for the bad appearance and prefer resistant hybrids (0-3%). Therefore, the best option is to replace this hybrid for a resistant one, taking into consideration yield potential and agronomic characteristics. **Grain yield.** Significant differences in grain yield (kg ha⁻¹)

Cuadro 4. Incidencia (%) de carbón de la panoja (*Sporisorium reilianum*) y rendimiento de grano de 49 híbridos experimentales y comerciales de sorgo (*Sorghum bicolor*) para grano, cultivados en dos años en Empalme, municipio de Matamoros, Tamaulipas, México.

Table 4. Head smut (*Sporisorium reilianum*) incidence (%) and grain yield of 49 experimental and commercial hybrids of sorghum (*Sorghum bicolor*) for grain, cultivated for two years in Empalme, Matamoros County, Tamaulipas, Mexico.

Híbrido	CP (%)			Rend. grano
	O-I 2005-2006	O-I 2006-2007	Promedio	Promedio (kg ha ⁻¹)
Pioneer 82G63	0.0	0.0	0.0	4012
46038x437	0.43	0.0	0.22	3270
RB-27x437	0.44	0.72	0.58	3836
46038x430 CEA	0.55	0.61	0.58	2936
RB-5x204	0.19	1.45	0.82	4109
RB-116x437	2.07	0.0	1.03	3320
RB-118x437	1.70	0.42	1.06	4493
Asgrow Ámbar	1.54	0.81	1.18	4407
RB-106x437	2.50	0.0	1.25	3103
46038x430	0.82	1.75	1.28	3429
RB-27x204	2.58	0.0	1.29	3604
RB-5x430 REA	2.32	0.44	1.38	3917
Asgrow Z-400	2.16	0.83	1.49	3382
RB-118x204	1.59	1.63	1.61	4106
RB-119x437	3.31	0.0	1.65	3915
RB-4040	2.88	0.46	1.67	3817
RB-104x437	3.08	0.61	1.85	3578
44 DK-47	2.18	1.55	1.85	3696
RB-27x430 REA	0.95	2.95	1.95	3683
46038x204	3.04	1.04	2.04	2797
RB-119x430	1.89	2.29	2.09	4204
RB-64x430	3.16	1.06	2.11	3929
RB-118x430	3.71	0.83	2.27	3600
RB-46038x435	4.96	0.0	2.48	3870
RB-5x437	4.72	0.47	2.59	3445
RB-64x437	4.68	0.64	2.66	3719
RB-118x430 CEA	2.85	2.48	2.67	3313
DK-65	3.24	2.21	2.73	4382
RB-3030 (RB-5x430)	5.86	0.0	2.93	3473
RB-106x216	4.51	1.42	2.96	3415
RB-27x435	1.89	4.61	3.25	3276
RB-116x430	5.47	1.05	3.26	3555
RB-106x430	6.35	0.98	3.41	3662
RB-116x435	4.92	3.06	3.99	3903
RB-3006 (RB-27x430)	4.95	3.58	4.26	4696
RB-64x435	5.80	3.17	4.49	3536
RB-Patrón (RB-104x430)	6.67	2.79	4.73	3464
RB-118x216	7.28	2.56	4.92	3851
Pioneer 84G62	10.06	1.22	5.64	4621
RB-104x216	3.61	7.93	5.80	3957
RB-118x435	6.89	4.73	5.81	3489
RB-119x435	8.60	3.60	6.10	3860
RB-104x435	8.65	5.98	7.32	3923
RB-4000	11.44	6.18	8.81	4063
RB-119x25 CEA	11.88	6.58	9.23	3036
RB-106x25 CEA	14.92	8.81	11.87	3207
RB-118x25 CEA	18.18	23.40	20.79	3899
RB-104x25 CEA	21.80	22.65	22.23	3503
RB-116x25 CEA	31.90	15.74	23.81	3190
Promedio	11.0 a	6.7 b	8.8	3703
DSM (p < 0.05)	6.8	6.91	4.14	1010

Tropics (ICRISAT).

Selección de híbridos y progenitores. Tanto en los resultados del año 2006, 2007 y el combinado de ambos (Cuadro 4), se observan híbridos comerciales con un alto grado de resistencia a CP (< 3%) como Pioneer 82G63 (0%), Asgrow Ámbar (1.2%), Asgrow Z-400 (1.5%), RB-4040 (1.7%) y DK-65 (2.7%). El híbrido RB-4040 fue liberado por el Campo Experimental Río Bravo, INIFAP en el año de 1996 por su adaptación al noreste de México y por su resistencia a CP y pudrición carbonosa del Tallo *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. En evaluaciones realizadas durante los años 1993, 1994 y 1995 en nueve ambientes del norte de Tamaulipas, presentó un rango de incidencia de CP de 0.45 a 2.32% en condiciones naturales de infección (Williams-Alanís, 1996). En este estudio se corrobora la resistencia a CP del híbrido RB-4040. En cuanto a los híbridos experimentales tanto en el año 2006, 2007 y combinado, destacan por su resistencia un numeroso grupo de genotipos, entre los cuales se encuentran 46038x437, RB-27x437, 46038x430 CEA y RB-5x204. Por otra parte, al observar los progenitores que forman los híbridos experimentales más sobresalientes, se detectó que la resistencia al CP está asociada a la presencia de ciertos progenitores en dichas cruces (Tx-437, LRB-204 y 46038). El análisis de contrastes ortogonales para incidencia de CP (datos no presentados), indicó diferencias altamente significativas entre progenitores masculinos y femeninos en casi todos los contrastes elaborados, siendo los progenitores Tx-437 y LRB-204, quienes participaron en las combinaciones híbridas con menores daños y presentaron el mejor comportamiento promedio (Cuadro 5), lo que los hace excelentes progenitores. Por su parte, el progenitor femenino 46038 fue el mejor con sólo 1.3% de incidencia en promedio y la combinación con Tx-437 produjo el híbrido experimental más resistente al CP (0.2%). Por otra parte, los híbridos susceptibles (> 10%) fueron estadísticamente diferentes a los materiales resistentes y el progenitor masculino LRB-25 CEA tuvo gran influencia en este comportamiento (Cuadros 4 y 5); de tal forma que todos los híbridos formados con Tx-437 y LRB-204 fueron resistentes (< 3% de incidencia) y los formados con el progenitor LRB-25 CEA se clasificaron entre susceptibles (> 10%) a moderadamente susceptibles (7-10%). Esto indica que al menos con los progenitores masculinos utilizados, tanto en la resistencia como en la susceptibilidad están involucrados genes dominantes. Esto está de acuerdo a lo reportado por Rooney *et al.* (2002), quien indica que en la herencia a CP se encuentran involucrados genes aditivos y genes dominantes y recesivos. La línea Tx-437 fue liberada por Texas A&M University (EUA) y una de sus características es la resistencia a CP (Rooney *et al.*, 2003), lo cual se confirma con los resultados de este estudio. La línea LRB-204 fue formada en el INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, y se ha encontrado que es tolerante a la pudrición carbonosa del tallo (Pecina-Quintero *et al.*, 1999; Williams-Alanís *et al.*, 1994) y a CP (Williams-Alanís *et al.*, 1994). La línea 46038 es manejada por la Universidad de Nuevo León y fue originada

were found between hybrids in 2006 and for the combination of both years, and highly significant for 2007 (Table 2). The average grain yield (3,996 kg ha⁻¹) obtained in 2006 (Table 4), was higher than the one obtained in 2007 (3,410 kg ha⁻¹). There was a group of commercial and experimental hybrids with good yield potential (< 4 ton/ha), and resistance to HS, which compete favorably with RB-4040 in both features, so it would be feasible to select some for commercial release. There was no correlation between HS percentage and grain yield in 2006 (r = -0.15), 2007 (r = 0.05), and the combination for both years (r = -0.02), which do not agree with the report of Frederiksen (1977), who found a yield loss of 48 kg ha⁻¹ for each percentage disease increase.

CONCLUSIONS

Resistant commercial and experimental hybrids to *S. reilianum* (< 3% incidence) with good grain yield (4 ton ha⁻¹), were detected in this study, such as Pioneer 82G63, RB-5x204, RB-118x437, Asgrow Ámbar, RB-118x204, and RB-119x430 (0, 0.8, 1.1, 1.2, 1.6, and 2.1% HS incidence, respectively). Progenitors that produced the most resistant hybrids to HS were female line 46038 and males Tx437 and LRB-204 from which 46038x437 originated, and showed only 0.2% disease incidence.

End of the abbreviated article.

en Nebraska University (EUA). Otra de las líneas progenitoras masculinas utilizadas en este estudio, la Tx-430 fue liberada por Texas A&M University (EUA) y una de sus características fue su resistencia a CP (Miller, 1984); sin embargo, con el paso del tiempo se perdió la resistencia al presentarse la raza 4 de CP (Aguirre-Rodríguez, 1986), ya que en su origen intervino la línea SCO 170-6 (Miller, 1984), la cual es susceptible y es utilizada como diferencial para detectar la raza 4 (Aguirre-Rodríguez, 1986). Esto se comprueba en este trabajo, ya que algunos de los híbridos experimentales y comerciales

Cuadro 5. Incidencia promedio (%) de carbón de la panoja (*Sporisorium reilianum*) en híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*) para grano, agrupados por progenitores comunes. Table 5. Average incidence (%) of head smut (*Sporisorium reilianum*) in sorghum hybrids (*Sorghum bicolor*) for grain, grouped by common progenitors.

Líneas hembra	Incidencia (%)	Líneas macho	Incidencia (%)
46038	1.3	Tx-437	1.4
LRB-119	4.8	LRB-204	1.4
LRB-118	5.6	Tx-430	2.6
LRB-106	5.7	Tx-435	5.6
LRB-116	8.0	LRB-25 CEA	17.6
LRB-104	8.4		

LRB = Líneas formadas en el Campo Experimental Río Bravo, INIFAP; Tx = Líneas originadas en Texas A&M, University EUA; 46038 = Línea de la Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León.

formados con este progenitor masculino, fueron moderadamente resistentes a CP (> 3-6%). Podría parecer que la incidencia de CP encontrada en estos híbridos es baja (1.3-4.7%), pero la presencia de la raza 4 fue reportada baja (1.33%) en los años 80's en el norte de Tamaulipas (Aguirre-Rodríguez, 1986); pero resultó de 6.75% en los 90's (Pecina-Quintero *et al.*, 2004), ya que cuando las condiciones ambientales se tornan calientes y húmedas su presencia aumenta (Montes-García y Díaz-Franco, 2006; Narro *et al.*, 1992) y puede dañar más a este tipo de materiales. Por otra parte, dentro de este grupo se encuentra el híbrido RB-Patrón liberado por el INIFAP en el año 2002, del cual se reportó una incidencia promedio de CP de 5.48% (Williams-Alanis *et al.*, 2004). En este estudio se encontró una incidencia de 4.7%, similar al promedio anterior. Aunque se puede considerar que la incidencia es baja (3-6%), a algunos productores no les gusta por que da mal aspecto, y prefieren los híbridos resistentes (0-3%). Por esta razón la mejor opción la constituye reemplazar este híbrido por uno resistente, considerando también su potencial de rendimiento y sus características agronómicas.

Rendimiento de grano. En rendimiento de grano (kg ha⁻¹) se encontraron diferencias significativas entre híbridos para el año 2006 y el combinado de los dos años, y altamente significativas para el año 2007 (Cuadro 2). También en el análisis combinado (Cuadro 3) se encontraron diferencias altamente significativas entre años, y en la interacción híbridos por años. Esto se debe a las diferencias entre los híbridos y a las diferencias climáticas entre años. El promedio de rendimiento de grano (3,996 kg ha⁻¹) obtenido en el experimento del 2006 (Cuadro 4), fue superior al obtenido durante el 2007 (3,410 kg ha⁻¹). Se encontró un grupo de híbridos comerciales y experimentales con buen potencial de rendimiento (< 4 ton/ha), y además con resistencia a CP. Dichos híbridos compiten favorablemente con el híbrido RB-4040 en resistencia a CP y potencial de rendimiento, por lo que es factible seleccionar alguno de los híbridos experimentales para su posible liberación comercial. Así mismo, no se observó correlación entre el porcentaje de CP y el rendimiento de grano para el año 2006 ($r = -0.15$), 2007 ($r = 0.05$) y el combinado para los dos años ($r = -0.02$), lo cual no coincide con lo reportado por Frederiksen (1977), el cual encontró por cada incremento en porcentaje de la enfermedad, una pérdida en el rendimiento de grano de 48 kg/ha.

CONCLUSIONES

Se encontraron híbridos comerciales y experimentales resistentes (< 3% de incidencia) a *S. reilianum* y con buen rendimiento de grano (4 ton ha⁻¹), entre los que destacan Pioneer 82G63, RB-5x204, RB-118x437, Asgrow Ámbar, RB-118x204 y RB-119x430 con 0, 0.8, 1.1, 1.2, 1.6 y 2.1% de incidencia, respectivamente. Los progenitores que formaron los híbridos más resistentes fueron la línea hembra 46038 y los machos Tx437 y LRB-204, con los cuales se formó el híbrido experimental más resistente 46038x437 que presentó 0.2% de incidencia.

Agradecimientos. Se agradece el apoyo financiero proporcionado por la Fundación Produce Tamaulipas, A.C. a través del proyecto No. 2016247A titulado: Obtención de híbridos y/o variedades de sorgo para grano con tolerancia a sequía y enfermedades para el noreste de México. Al Dr. Sebastián Acosta-Núñez Director del CIR Noreste del INIFAP, por su invaluable apoyo para realizar las actividades de investigación que permitieron obtener los resultados que se describen en el presente artículo.

LITERATURA CITADA

- Aguirre-Rodríguez, J.I. 1986. Las razas fisiológicas del carbón de la panoja (*Sphaceloteca reiliana*) en el cultivo de sorgo en el norte de Tamaulipas. pp. 211-230. En: Memoria II Reunión Nacional sobre sorgo. Culiacán de Rosales, Sinaloa, México. 594 p.
- Aguirre, R.J.I., Torres, M.J.H., Williams, A.H., and García, G.M. 1993. Physiological races of sorghum head smut in The North of Tamaulipas, Mexico. p. 149. In: Proceedings of the 18th Biennial Grain, Sorghum Research and Utilization Conference. Lubbock, Texas, USA. 183 p.
- Betancourt, V.A. 1981. Mejoramiento para resistencia al carbón de la panoja *Sphaceloteca reiliana* (Kühn) Clint. en *Sorghum bicolor* (L.) Moench. pp. 133-141. In: N. Zummo (ed.). Proceedings of the Short Course on Sorghum Diseases for Latin America. INIA-ICRISAT/CIMMYT-INTSORMIL. El Batán, Edo. de México. 198 p.
- Frederiksen, R.A. 1977. Head smuts of corn and sorghum. pp. 89-105. In: H.D. Loden, and D. Wilkinson (eds.). Proceedings of the 32nd Annual Corn and Sorghum Research Conference. American Seed Trade Association. Chicago, Illinois, USA. 151 p.
- Frederiksen, R.A., and Reyes, L. 1980. The head smut program at Texas A&M. pp. 367-372. In: R.J. Williams, R.A. Frederiksen, L.K. Mughogho, and G.D. Bengston (eds.). Sorghum Diseases: A World Review. ICRISAT. Patancheru, A.P., India. 469 p.
- Frowd, J.A. 1980. A world review of sorghum smuts. pp. 331-348. In: R.J. Williams, R.A. Frederiksen, L.K. Mughogho, and G.D. Bengston (eds.). Sorghum Diseases: A World Review. ICRISAT, Patancheru, A.P., India. 469 p.
- Miller, F.R. 1984. Registration of RTx430 sorghum parental line. Crop Science 24:1224.
- Montes-García, N. y Aguirre-Rodríguez, J.I. 1992. Sorgo. pp. 54-63. En: Manual de Cultivos del Norte de Tamaulipas. Patronato para la Investigación, Fomento y Sanidad Vegetal. SARH. Matamoros, Tamaulipas, México. 210 p.
- Montes-García, N. y Díaz-Franco, A. 2006. Fitopatología. pp. 192-213. En: L.A. Rodríguez del Bosque (ed.). Campo Experimental Río Bravo: 50 años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Capítulo 12. Libro Técnico No. 1. Campo Experimental Río Bravo. INIFAP. Río Bravo, Tamaulipas, México. 325 p.
- Naidoo, G., and Torres-Montalvo, H.J. 2002. Genetic variability

- among and within host-specialized isolates of *Sporisorium reilianum*. pp. 221-225. In: J.F. Leslie (ed.). Sorghum and Millet Diseases. Chapter 37. Iowa State Press. Ames, USA. 504 p.
- Narro, J., Betancourt, V.A., and Aguirre, J.I. 1992. Sorghum Diseases in Mexico. pp. 75-84. In: W.A.J. de Millano, R.A. Frederiksen, and G.D. Bengston (eds.). Sorghum and Millets Diseases: A Second World Review. ICRISAT. Patancheru, A.P., India. 378 p.
- Pecina-Quintero, V., Williams-Alanís, H., Montes-García, N., Rodríguez-Herrera, R., Rosales-Robles, E., and Vidal-Martínez, V.A. 2004. Incidence of head smut *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon and Fullerton in Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] hybrids with A₁ and A₂ cytoplasm. Revista Mexicana de Fitopatología 22:315-319.
- Pecina-Quintero, V., Williams-Alanís, H., and Vandemark, G.J. 1999. Diallel analysis of resistance to *Macrophomina phaseolina* in sorghum. Cereal Research Communications 27:99-106.
- Rooney, W.L., Delroy-Colins, S., Klein, R.R., Metha, P.J., Frederiksen, R.A., and Rodríguez-Herrera, R. 2002. Breeding sorghum for resistance to anthracnose, grain mold, downy mildew and head smuts. pp. 273-279. In: J.F. Leslie (ed.). Sorghum and Millet Diseases. Chapter 47. Iowa State Press. Ames, USA. 504 p.
- Rooney, W.L., Miller, F.R., and Rooney, L.W. 2003. Registration of RTx437 sorghum parental line. Crop Science 43:445-446.
- SAGAR. 2003. Situación Actual y Perspectiva de la Producción de Sorgo en México. 1992-2004. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. Centro de Estadística Agropecuaria. México, D.F. 60 p.
- Silva-Serna, M.M. y Hess-Martínez, L. 2001. Caracterización del clima en el norte de Tamaulipas y su relación con la agricultura. Publicación Técnica No. 1. Campo Experimental Río Bravo. INIFAP. Río Bravo, Tamaulipas, México. 50 p.
- Torres-Montalvo, J.H. 1998. The Population Genetics of *Sporisorium reilianum*, The Head Smut Pathogen of Sorghum and Maize. Ph.D. Thesis. Texas A&M University. College Station, USA. 90 p.
- Williams-Alanís, H. 1981. Dos nuevos sorgos híbridos de grano para el norte de Tamaulipas INIA RB-3030 e INIA RB-3006. Folleto Técnico No. 2. Campo Agrícola Experimental Río Bravo, INIA. Río Bravo, Tamaulipas, México. 12 p.
- Williams-Alanís, H. 1996. RB-4040, nuevo híbrido de sorgo para el noreste de México y tolerante a *Sporisorium reilianum* y *Macrophomina phaseolina*. Revista Fitotecnia Mexicana 19:193-194.
- Williams-Alanís, H., Aguirre-Rodríguez, J.I., Rodríguez-Herrera, R. y Montes-García, N. 1990. LRB-63 nueva línea experimental de sorgo resistente al carbón de la panoja *Sporisorium reilianum*. Resúmenes del XII Congreso Nacional de Fitogenética. Cd. Juárez, Chihuahua, México. Resumen, p. 315.
- Williams-Alanís, H., Aguirre-Rodríguez, J.I., Rodríguez-Herrera, R. y Torres-Montalvo, J.H. 1994. Selección de sorgos resistentes al carbón de la panoja y pudrición carbonosa del tallo. Memorias del XV Congreso de Fitogenética. Monterrey, Nuevo León, México. Resumen, p. 494.
- Williams-Alanís, H., Montes-García, N y Pecina-Quintero, V. 2006. Sorgo. pp. 32-54. En: L.A. Rodríguez del Bosque (ed.). Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Capítulo 3. Libro Técnico No. 1. Campo Experimental Río Bravo. INIFAP. Río Bravo, Tamaulipas, México. 325 p.
- Williams-Alanís, H., Pecina-Quintero, V., Zavala-García, F. y Montes-García, N. 2004. RB-Patrón, nuevo híbrido de sorgo para grano en el noreste de México. Revista Fitotecnia Mexicana 27:291-293.
- Williams-Alanís, H., Rodríguez-Herrera, R. y Montes-García, N. 1995. 20 años de investigación en sorgo en el Campo Experimental Río Bravo. Germen 11:1-35.