

Reacción de Variedades de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para Grano a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid

Grain Sorghum Varieties Reaction [Sorghum bicolor (L.) Moench] to Macrophomina phaseolina (Tassi) Goid

Héctor Williams-Alanís¹, Víctor Pecina-Quintero², Noé Montes-García¹, Oscar Palacios-Velarde³, Gerardo Arcos-Cavazos⁴, y Víctor Antonio Vidal-Martínez⁵, ¹INIFAP, Campo Experimental Río Bravo, Apdo. Postal 172, Río Bravo, Tamaulipas, México CP 88900; ²INIFAP, Campo Experimental Bajío, Km. 6 Carr. Celaya-San Miguel Allende, Apdo. Postal 112, Celaya, Guanajuato, México CP 38010; ³Campo Experimental Sur de Sinaloa, Apdo. Postal 85, Mazatlán, Sinaloa, México CP 82000; ⁴INIFAP, Campo Experimental Sur de Tamaulipas, Carr. Tampico-Cd. Mante Km. 55 Apdo. Postal C-1 Suc Aeropuerto, Tampico, Tam., México CP 89339 e ⁵INIFAP, Campo Experimental Santiago Ixcuintla, Km 5 Entronque Carr. Internacional México-Nogales a Santiago Ixcuintla. Apdo Postal 100, Santiago Ixcuintla, Nayarit, México CP 63300. Correspondencia: hectorwilliamsa@yahoo.com.mx

(Recibido: Marzo 22, 2008 Aceptado: Junio 22, 2009)

Williams-Alanís, H, Pecina-Quintero, V, Montes García, N, Palacios-Velarde O, Arcos-Cavazos G y Vidal-Martínez, A. 2009. Reacción de Variedades de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] para Grano a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. Revista Mexicana de Fitopatología 27:148-155

Resumen. La pudrición carbonosa del tallo causada por *M. phaseolina* es la enfermedad más importante del sorgo en el norte de Tamaulipas, México, ya que cuando se presentan sequías y altas temperaturas causa pérdidas hasta del 100 % de la producción de grano. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la reacción a *M. phaseolina* de siete variedades comerciales y experimentales de sorgo para grano y dos híbridos comerciales. El experimento se estableció en Río Bravo, Tam. durante el ciclo Otoño-Invierno de 2005-2006 con un riego de presiembra únicamente y 2006-2007 en temporal, utilizando un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las plantas se inocularon utilizando la técnica del palillo propuesta por Edmunds en 1964. Se detectaron diferencias significativas entre años en severidad de la enfermedad siendo mayor en O-I 2005-2006 (23.1cm) en comparación con el sembrado en O-I 2006-2007 (17.5 cm). Esto se relacionó a que en el primer año se presentaron mayores temperaturas y sequía durante las etapas de floración y llenado del grano. Los resultados indicaron en promedio de los dos años que la variedad Amarillo Precoz (9.2 cm) fue significativamente más tolerantes que las

Abstract. The present study is aimed to evaluate the reaction to *M. phaseolina* from seven commercial and experimental sorghum varieties and two hybrids. Sorghum stalk rot caused by *M. phaseolina* is the most important sorghum disease in northern Tamaulipas, Mexico because when drought and high temperatures are prevalent, it causes up to 100% losses in grain yield. This study was established in Río Bravo, Tamaulipas, Mexico during 2006 autumn-winter cycles with a pre-planting irrigation, and in 2007 under rainfall conditions in a randomized block design with four replications. Sorghum plants were inoculated with *M. phaseolina* using the toothpick technique, as proposed by Edmunds in 1964. There were significant differences among years and, in 2006 there was a greater lesion length (23.1 cm) than in 2007 experiment (17.5 cm). This was related to higher temperatures and a more severe drought, present in 2006 at sorghum flowering and grain filling stages. Results indicated that in both years, Amarillo Precoz variety (9.2 cm) was significantly more tolerant than S-23 (15.5 cm), VAR-9 (19.6 cm), Mazatlán 16 (21.6 cm) and Perla 101 varieties (23.2 cm) and RB-3030 (17.3 cm) hybrid. Furthermore, Amarillo Precoz revealed a similar *M. phaseolina* tolerance than Dulce (12.1 cm), Costeño 201 (14.2 cm) and Asgrow Ambar. There was no correlation between lesion length and grain yield; hybrids showed a greater yield than varieties. Amarillo Precoz was selected as a source of tolerance to *M. phaseolina* and would be used as a variety or hybrid parental line.

variedades S-23 (15.5 cm), VAR-9 (19.6 cm), Mazatlán 16 (21.6 cm) y Perla 101 (23.2 cm) y el híbrido RB-3030 (17.3 cm). Asimismo esta variedad resultó igual a las variedades Dulce (12.1 cm), Costeño 201 (14.2 cm) y al híbrido Asgrow.Ámbar (15.1 cm). No se encontró correlación entre longitud de lesión y rendimiento de grano. Los híbridos presentaron un rendimiento de grano superior a las variedades. Amarillo Precoz promete ser una fuente de tolerancia a *M. phaseolina* utilizable como variedad y para la formación de progenitores e híbridos tolerantes.

Palabras clave adicionales: pudrición carbonosa del tallo, sequía, inoculación artificial, tolerancia, rendimiento de grano.

INTRODUCCION

La pudrición carbonosa del tallo (PCT) causada por *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid se presenta principalmente en las regiones tropicales y subtropicales. Este hongo infecta un amplio rango de plantas cultivadas y silvestres (Songa y Hillocks 1996). Es la enfermedad del tallo más agresiva en el cultivo de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] (Odvodny y Dunkle, 1979). El patógeno penetra a través de la raíz y continua por la base del tallo, provocando la desintegración de los tejidos, el prematuro secado de la planta y el acame. En India y África las pérdidas provocadas por PCT son del orden de 23 a 64 % (Tuinstra *et al.*, 2002). La enfermedad se presenta en todas las áreas productoras de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] y es más severa en regiones donde frecuentemente se presentan temperaturas del suelo mayores a 32° C con sequía (Clafin y Giorda, 2002). En México, el estado de Tamaulipas es el principal productor de sorgo, ya que se siembran alrededor de 800 mil hectáreas al año y se obtiene una producción media de más de dos millones de toneladas (SAGAR, 2003). La pudrición carbonosa del tallo causada por *M. phaseolina* es la enfermedad más importante del sorgo en el norte de Tamaulipas y desde los años 80's afecta el área de temporal (Williams-Alanís *et al.*, 1995). Las condiciones de alta temperatura y sequía que se presentaron durante los años 1984 a 1994, provocaron la mayor expresión de la enfermedad en este período, reduciendo la producción de sorgo en más del 30 % y en algunos ciclos agrícolas y en ciertos lotes las pérdidas en producción fueron del 100 % (Montes-García y Díaz-Franco, 2006). La inoculación de las plantas de sorgo por medio de la técnica del palillo específica para *M. phaseolina* es ampliamente utilizada en todo el mundo para realizar comparaciones entre genotipos (Edmunds, 1964; Tuinstra *et al.*, 2002). Aunque se han desarrollado algunas prácticas agronómicas para el control de la enfermedad, el desarrollo de genotipos con resistencia genética, es sin duda la estrategia más importante a seguir, debido a que es la más económica y fácil de implementar (Smith y Carvil, 1997; Mayek-Pérez *et al.*, 2001; Mayek-Pérez *et al.*, 2002; Songa y Hillocks, 1996). Como respuesta a las pérdidas comerciales causadas por PCT se ha desarrollado un grupo de genotipos tolerantes (Pecina-Quintero, 1999; Williams-Alanís *et al.*, 1994). Así mismo, se ha observado que la incidencia de la enfermedad en los progenitores fue menor a la incidencia de los híbridos, lo que indica que la heterosis no es un factor

Additional keywords: charcoal rot, dry land, artificial inoculation, tolerance, grain yield.

INTRODUCTION

Sorghum stalk rot (SSR) caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid is mainly present in tropical and subtropical regions. A wide variety of wild and cultivated plants becomes infected by these fungi (Songa and Hillocks 1996). It is the most aggressive stalk disease in sorghum cultivation [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] (Odvodny and Dunkle, 1979). The pathogen penetrates through the root and moves down to the stalk base, causing tissue disintegration, a premature plant and beaten down drying. The profit loss caused by SSR in India and Africa are from 23 to 64% (Tuinstra *et al.*, 2002). This disease is present in all sorghum producing areas [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] Turning more severe in regions where soil temperatures higher than 32° C are frequently present with drought (Clafin y Giorda, 2002). The State of Tamaulipas, Mexico, is the main sorghum producer, having around 800 h cultivated on a yearly basis, reaching over 2 million tons average production (SAGAR, 2003). Sorghum stalk rot caused by *M. phaseolina* is the most important sorghum disease in northern Tamaulipas, affecting the rainfall area since the 80's (Williams-Alanís *et al.*, 1995). The highest disease expression was revealed from 1984 to 1994, due to the high temperature and drought conditions present during this period, inducing an over 30% loss in sorghum production and even a 100% loss in some agriculture cycles and lots (Montes-García y Díaz-Franco, 2006). Plants inoculation by means of the toothpick technique, specific for *M. phaseolina*, is widely used worldwide to perform genotype comparisons (Edmunds, 1964; Tuinstra *et al.*, 2002). Despite some disease control agronomic practices have been developed, the genetically resistant genotype development is, without a doubt, the most important strategy to follow because it is the most economic and easy to implement (Smith y Carvil, 1997; Mayek-Pérez *et al.*, 2001; Mayek-Pérez *et al.*, 2002; Songa and Hillocks, 1996). A group of tolerant genotypes have been developed as a response to the commercial loss caused by SSR (Pecina-Quintero, 1999; Williams-Alanís *et al.*, 1994). Likewise, it has been observed that disease incidence in progenitors was lower than in hybrids, which is an indicator that heterosis is not an important factor in the resistance to disease incidence (Pecina-Quintero *et al.*, 1999). Disease tolerant genotypes have been formed and released in the northeastern area in Mexico (Williams-Alanís *et al.*, 1994; Williams-Alanís, 1996 and Williams-Alanís *et al.*, 2004); although, the genotypes in the market which may be considered tolerant, are insufficient. The study hereby was proposed, aiming to evaluate seven sorghum experimental and commercial varieties for grain and two commercial hybrids due to their reaction to SSR, looking forward to identify the most tolerant and best adapted in northern Tamaulipas, Mexico.

MATERIALS AND METHODS

Two uniform experiments were set at the Campo Experimental Rio Bravo (CERIB) from INIFAP during the

importante en la resistencia para la incidencia de la enfermedad (Pecina-Quintero *et al.*, 1999). Se han formado y liberado genotipos con tolerancia a la enfermedad en el noreste de México (Williams-Alanís, *et al.*, 1994; Williams-Alanís, 1996 y Williams-Alanís, *et al.*, 2004) sin embargo, son insuficientes los genotipos en el mercado que pueden considerarse tolerantes. Por lo anterior, se planteó el presente trabajo con el objetivo de evaluar siete variedades experimentales y comerciales de sorgo para grano y dos híbridos comerciales por su reacción a PCT, para identificar las más tolerantes y adaptadas al norte de Tamaulipas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el Campo Experimental Río Bravo (CERIB) del INIFAP se establecieron dos ensayos uniformes durante los ciclos Otoño-Invierno 2005-2006 con riego de presembrado únicamente y 2006-2007 de temporal. El CERIB se localiza a 25° 57' de LN y 98° 10' de LO con clima semicálido subhúmedo [(A)Cx] ocurriendo el 18 % del total de lluvia anual durante el invierno (Silva-Serna y Hess-Martínez, 2001). El tipo de suelo es franco limoso pH = 6.4, contenido medio de N, bajo de P y alto de K. Antes de establecer el experimento se fertilizó con la fórmula 120-40-0. Cada experimento consistió de nueve genotipos de sorgo para grano: cinco variedades experimentales; Dulce, S-23, Amarillo Precoz, Mazatlán 16 y VAR-9. Dos variedades comerciales; Perla-101 y Costeño-201 y dos híbridos comerciales de sorgo para grano; RB-3030 y Asgrow Ámbar. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variedades fueron originadas en el INIFAP, Campo Experimental Valle de Culiacán. La siembra del primer experimento fue el 14 de marzo, mientras que el segundo fue el 20 de febrero, ambos en tierra venida. Se tiraron 5 g de semilla sin fungicida por parcela de un surco de 5 m de largo y .80 m de separación. 20 días después de nacidas las plantas se realizó un aclareo para obtener una población de 200 mil plantas por hectárea. Para la inoculación del patógeno, se utilizaron esclerosios de una cepa de *M. phaseolina* aislada de tallos de sorgo colectados en Río Bravo. La virulencia de la cepa aislada ha sido probada en repetidas ocasiones (Pecina-Quintero and Vandemark, 1996; Pecina-Quintero, 1999; Pecina-Quintero *et al.*, 1999; Pecina-Quintero *et al.*, 2000; Williams-Alanís *et al.*, 2004). Cuando se evaluó la virulencia de seis cepas de *M. phaseolina* en el sorgo DK-65 en dos localidades de México (Tamaulipas y Nayarit). Se encontró que la cepa utilizada en este estudio (1RB), fue más virulenta que las cepas aisladas en Texas y Arizona, Estados Unidos (Pecina-Quintero *et al.*, 2000). En los experimentos establecidos en Río Bravo las plantas fueron inoculadas artificialmente usando la técnica descrita por Edmunds (1964). Por lo cual para reproducir el hongo se colocaron palillos de dientes estériles en cajas Petri con papa-dextrosa-agar (PDA) y la cepa del hongo. Se incubaron a 34° C durante siete días, después de lo cual se retiraron y secaron a temperatura ambiente. La inoculación de las plantas de sorgo en 10 plantas por parcela, se realizó a los 21 días después del inicio de la floración. Insertando en los tallos aproximadamente a dos cm sobre la superficie del suelo, palillos de dientes cubiertos con esclerosios de PCT. La

Winter cycles only with a pre-sowing irrigation and 2006-2007 rainfall. CERIB is located at 25° 57' of LN and 98° 10' of LW with a semi-hot sub-humid climate [(A)Cx] having 18 % of the total annual rainfall taking place during the winter (Silva-Serna and Hess-Martínez, 2001). The soil is silt loam pH = 6.4, with an N average content, low in P and high in K. Previous to establish the experiment, it was fertilized with the 120-40-0 formula. Each experiment consisted of nine sorghum genotypes for grain: Five experimental varieties; Dulce, S-23, Amarillo Precoz, Mazatlán 16 and VAR-9. Two commercial varieties; Perla-101 and Costeño-201 and two sorghum commercial hybrids; RB-3030 and Asgrow Ámbar. A randomized block design with four repetitions was used. The varieties were originated in INIFAP, Campo Experimental Valle de Culiacán. The plant date of the first experiment occurred on March, 14th; the second took place on February 20th being both of them in coming land. Each plot of 5 m length furrow and .80 m separation received 5 g no fungicide seed. After a 20 days plants birth period, a clearance was performed in order to obtain a 200 thousand plant population per hectare. Stock sclerosis for pathogen inoculation from sorghum stalk isolated *M. phaseolina* collected from the Río Bravo, were used. The isolated stock virulence has been frequently probed (Pecina-Quintero and Vandemark, 1996; Pecina-Quintero, 1999; Pecina-Quintero *et al.*, 1999; Pecina-Quintero *et al.*, 2000; Williams-Alanís *et al.*, 2004). As the virulence from six *M. phaseolina* stocks was being evaluated in DK-65 sorghum in two different location in Mexico (Tamaulipas and Nayarit), it was revealed that the stock used in the study hereby (1RB), was more virulent than the stocks used in Texas and Arizona, United States (Pecina-Quintero *et al.*, 2000). Plants in the experiments performed in Río Bravo were artificially inoculated using the technique described by Edmunds (1964). Therefore, sterile toothpicks set in Petri plates with potato-dextrose-agar (PDA) and the fungi stock were used in order to induce fungi reproduction. They were incubated at 34° C for seven days and afterwards removed and dried at environmental temperature. Sorghum inoculation from 10 plants per plot was performed 21 days after flowering initiation by means of inserting SSR toothpicks sclerosis covered approximately 2 cm above soil surface. The injure length evaluation was performed 21 days after inoculation. Stalks were opened and the injured length caused by the pathogen was measured in cm. The injure length data were transformed by arch breast in order to homogenize variances and they were analyzed under a randomized block design by location and a combined analyses for years. Also, grain performance per plot data were gathered, transforming to a kg ha⁻¹, flowering days and plant height in cm. A mean comparison (DMS $p \leq 0.05$) was performed for results statistic differentiation and the Pearson correlation coefficient was estimated dividing injury length caused by SSR, by grain yield. Varieties were compared with two commercial hybrids recommended for Tamaulipas due to their adaptation level and potential grain performance. RB-3030 was liberated due to its resistance to diseases such as mildew fuzzy *Sclerospora sorghi* (Kulk) Weston and Uppai

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza por año para severidad de lesión causada por *M. phaseolina* en nueve genotipos de sorgo evaluados en Río Bravo, Tamaulipas, México.

Table 1. Variance analyses means per year for injure severity caused by *M. phaseolina* in nine evaluated sorghum genotypes in Río Bravo, Tamaulipas, Mexico.

FV	g.l.	CM	CM
		O-I 2005-2006	O-I 2006-2007
Genotipos	8	209.53	53.32**
Repeticiones	3	137.78	9.92
Error	24	139.03	16.72
C.V. (%)	.	51	23.29

*Significativo ($p \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

palillos de dientes cubiertos con esclerocios de PCT. La evaluación de la longitud de lesión se realizó a los 21 días después de la inoculación. Los tallos se abrieron y se midió la longitud de la lesión producida por el patógeno en cm. Los datos de longitud de lesión fueron transformados por arco seno para homogeneizar las varianzas y fueron analizados bajo un diseño de bloques al azar por localidad y un análisis combinado por años. También se tomaron datos de rendimiento de grano por parcela, transformando a kg ha^{-1} , días a floración y altura de planta en cm. Se realizó la comparación de medias (DMS $p \leq 0.05$) para la diferenciación estadística de los resultados y se estimó el coeficiente de correlación de Pearson entre la longitud de lesión causada por PCT y el rendimiento de grano. Las variedades se compararon con dos híbridos comerciales que son recomendados para Tamaulipas por su adaptación y potencial de rendimiento de grano. RB-3030 fue liberado por su resistencia a las enfermedades de mildiu vellosa *Sclerospora sorghi* (Kulk) Weston y Uppai y carbón de la panoja *Sporisorium reilianum* (Kühn) Langdon y Fullerton (Williams-Alanís, 1981), sin embargo con el paso del tiempo resultó susceptible a PCT (Williams-Alanís *et al.*, 1995). En este estudio las variedades se comparan en relación al testigo RB-3030 susceptible a PCT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta al Patógeno. No se presentó incidencia natural de la enfermedad por lo que los resultados obtenidos se refieren a la inoculación artificial. El análisis de varianza por años (Cuadro 1) indicó diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre genotipos para severidad de lesión causada por PCT en sorgo, en Río Bravo solo en O-I 2006-2007 y diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el análisis combinado (Cuadro 2). También se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$), en longitud de lesión entre años y en la interacción genotipo años. Lo anterior es consecuencia de las diferencias genéticas entre los materiales evaluados. Ya que algunas de las variedades utilizadas en este estudio se formaron con germoplasma introducido de la India por el Internacional Crops Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT) y presentan características propias para consumo humano y elaboración de tortillas; planta color canela, grano de color blanco, con reducido contenido de taninos y polifenoles (Rodríguez-Herrera, *et al.*, 1993). RB-3030 es un híbrido de

(Kühn) Langdon and Fullerton (Williams-Alanís, 1981). Nevertheless, it eventually turned susceptible to SSR (Williams-Alanís *et al.*, 1995). Concerning the study hereby, varieties were compared with regards to the witness RB-3030 susceptible to SSR.

RESULTS AND DISCUSSION

Response to the pathogen. Due to the lack of disease natural incidence, the results obtained refer to the artificial inoculation. The variance analysis per year (Table 1) indicated highly significance differences ($p \leq 0.01$) among genotypes injured severity caused by SSR in sorghum, in Río Bravo only in O-I 2006-2007 and significant differences ($p \leq 0.05$) in the combined analyses (Table 2). Highly significant differences ($p \leq 0.01$) were also observed in injure length between years and in the genotype year's interaction. This is a consequence of the genetic differences among the evaluated material, since some of the varieties utilized in the study hereby formed themselves from germplasm introduced from India by the International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics (ICRISAT) and they present the proper characteristics for human consumption and tortilla elaboration; cinnamon color plant, white color grain with a reduced content of tannins and polyphenyl (Rodríguez-Herrera *et al.*, 1993). RB-3030 is a red color hybrid grain formed in Mexico by INIFAP, Campo Experimental Río Bravo (Williams-Alanís, 1981) and Asgrow Ambar was developed in the United States. It was observed in the experiment performed in 2006 (Table 3) an injured length significantly higher (23.1 cm) compared with the 2007 (17.5 cm). Environmental differences for injure length were due, partially, to the fact that in the flowering and grain fulfillment stages, hotter average temperatures were observed in 2006 (34.1°C) compared to 2007 (31.4°C). Moreover, precipitation and RH (RH data not presented) in the 2006 cycle 54.6 mm and 70 % in contrast with the 120 mm and 85 % HR revealed for 2007 (Fig 1).

The high temperatures and drought present in 2006 favored disease development (Clafin and Giorda, 2002; Williams-Alanís *et al.*, 1995; Montes-García and Díaz-Franco, 2006; Tuinstra *et al.*, 2002). The genotype-year relation indicated that some genotypes behave in a differential manner throughout the years (Table 2); consequently, their tolerance becomes affected, confirming that in the resistance inheritance the epistatic effects are involved (Tenkouano *et al.*, 1993 y Pecina-Quintero *et al.*, 1999). The lowest injure severity was revealed by Amarillo Precoz in both years, becoming more significantly tolerant than some of the evaluated genotypes, remaining behaviorally stable. The Amarillo Precoz and Dulce were more tolerant than Mazatlán and Perla 101 in the O-I 2005-2006 year results (Table 3). Concerning the experiment set in O-I 2006-2007, Amarillo Precoz was the material with the lowest injure, being even more tolerant than Costeño 201, Perla 101 and VAR-9. Likewise, in the combined analyses performed for both years (Table 3), this variety, (9.2 cm) was significantly more tolerant than S-23 (15.5 cm), RB-3030 (17.3 cm), VAR-9 (19.6 cm), Mazatlán 16 (21.6 cm) and Perla 101 (23.2 cm). It also resulted equal to Dulce (12.1 cm) Costeño 201 (14.2 cm)

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para severidad de lesión causada por *M. phaseolina* y rendimiento de nueve genotipos de sorgo evaluados en Río Bravo, Tamaulipas, México en dos años.

Table 2. Variance analyses means combined for injure severity caused by *M. phaseolina* and yield from nine evaluated sorghum genotypes in Río Bravo, Tamaulipas, Mexico in two years.

Fuentes de variación	g. l.	C.M	C.M
		Longitud de lesión (cm)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Genotipos (G)	8	97.05*	2438596**
Años (A)	1	2019**	3743838
Repeticiones (R)	3	45.61	1528849**
G x A	8	52.22	954941*
Error		37.88	434222

*Significativo ($p \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$).

grano color rojo formado en México por el INIFAP, Campo Experimental Río Bravo (Williams-Alanís, 1981) y Asgrow Ámbar fue desarrollado en Estados Unidos. En el experimento establecido en el 2006 (Cuadro 3), se observó una longitud de lesión significativamente mayor (23.1 cm) en comparación con el sembrado en 2007 (17.5 cm). Las diferencias entre ambientes para longitud de lesión se debieron en parte, a que en las etapas de floración y llenado del grano del cultivo se observaron temperaturas promedio más cálidas. (34.1^o C) en 2006 en comparación con el 2007 (31.4^o C). Además la precipitación y HR (datos de HR no presentados) durante el ciclo 2006 fue de 54.6 mm y 70 % en contraste con 120 mm y 85 % HR para el 2007 (Fig 1). Las altas temperaturas y la sequía durante 2006 favorecieron el desarrollo de la enfermedad (Clafin y Giorda, 2002; Williams-Alanís *et al.*, 1995; Montes-García y Díaz-Franco, 2006; Tuinstra *et al.*, 2002). La interacción genotipo-año, indicó que algunos genotipos se comportan de manera diferencial a través de años (Cuadro 2) por lo tanto, su tolerancia se ve afectada lo que ratifica que en la herencia de la resistencia se encuentran involucrados efectos epistáticos (Tenkouano *et al.*, 1993 y Pecina-Quintero *et al.*, 1999). Amarillo Precoz en ambos años fue la que presentó los valores más bajos de severidad de lesión y resultó significativamente más tolerante que algunos de los genotipos evaluados, por lo que su comportamiento fue estable. En los resultados del año O-I 2005-2006 (Cuadro 3) las variedades Amarillo Precoz y Dulce fueron más tolerantes que Mazatlán 16 y Perla 101. En el experimento establecido en O-I 2006-2007 Amarillo Precoz fue el material que presentó la menor severidad de lesión y fue más tolerante que Costeño 201, Perla 101 y VAR-9. De igual forma en el análisis combinado de los dos años (Cuadro 3), esta variedad (9.2 cm) fue significativamente más tolerante que S-23 (15.5 cm), RB-3030 (17.3 cm), VAR-9 (19.6 cm), Mazatlán 16 (21.6 cm) y Perla 101 (23.2 cm). También resultó igual que Dulce (12.1 cm) Costeño 201 (14.2 cm) y Asgrow Ambar (15.1 cm). Se confirma que el híbrido RB-3030 es susceptible a PCT, tal como lo reporta Williams-Alanís *et al.*, 1995.

and Asgrow Ambar (15.1 cm). Thus, it has been confirmed that the RB-3030 hybrid is SSR susceptible, as reported by Williams-Alanís *et al.*, 1995.

Agronomic characteristics. Significant effects were revealed by grain yield (Table 2) for the genotype per year interaction, indicating that some of the genotypes behave differently as they are evaluated throughout the years. During the O-I 2005-2006 an average yield percentage of 2570 kg/ha was revealed, being superior to the average obtained in the O-I 2006-2007 of 2115 kg ha⁻¹ (Data not presented). Even though the experiments were sown in distant sowing dates (March 14th vs. February 20th), this factor is not expected to have significantly influenced the grain yield. According to studies performed to the sowing date in Río Bravo, such difference between dates must have had diminished yield 1.69% for the March 14th date (Herrera-Yolimea and Betancourt, 1980). Therefore, differences on yield must be due to different climatic conditions. The genotype with the highest grain yield, on a regular basis, was the hybrid RB-3030, which was higher than the S-23, Amarillo Precoz, Costeño 201, Perla 101, VAR-9, Mazatlán 16 and Dulce varieties (Table 3). This is rather normal, since hybrids generally have a higher yield grain potential compared to regular varieties. (House *et al.*, 1996; Palacios-Velarde *et al.*, 2001). Such differences are due to hybrid energy (House *et al.*, 1996). A grain production potential is revealed by RB-3030 in northeastern Mexico, 16.9 % superior to commercial control (Williams-Alanís, 1981), which is why the hybrid results remain within what had been previously expected. Furthermore, a wide adaptation was revealed by RB-3030, since it was recommended in the main sorghum areas countrywide (Williams-Alanís *et al.*, 1995). Despite free varieties pollination generally has a lower yield potential than hybrids, it must be considered that their seed is easier to reproduce, it is cheaper and farmers are able to produce their own seed, representing a significant cost reduction (Palacios-Velarde *et al.*, 2001). However, even though RB-3030 presented a higher grain yield, it turned more susceptible to the pathogen after a two years average than the Amarillo Precoz variety. Thus, it shall be inferred for this particular case that hybrid energy was more important than variety SSR tolerance. Nevertheless, it has been reported that when environment conditions in northern Tamaulipas are favorable for *M. phaseolina* development, economical loss are rather considerable (Montes-García y Díaz-Franco, 2006). Furthermore, a Pearson correlation absence ($r=0.0222$) was observed between injure length and grain yield, which is not consistent with Williams-Alanís, *et al.*, en 2004, who found a negative correlation between these two characteristics and with Mayek-Pérez *et al.*, (2002), who reported a negative correlation between injure caused by SSR and dried weight accumulation. This is caused by the partial or total tissue destruction at the base of the stalk by the pathogen, which keeps nutrients trans-location towards the panicle for an adequate grain formation and fulfillment (Tuinstra *et al.*, 2002). Díaz-Franco *et al.* (2008) was not able to find a direct SSR effect on grain yield, but indicates that in case of strong winds a crop beaten down takes place, as well as the

Cuadro 3. Severidad de lesión (cm) causada por PCT (*M. phaseolina*) y características agronómicas de nueve genotipos de sorgo para grano cultivados en dos años en Río Bravo, Tamaulipas, México.

Table 3. Injure severity (cm) caused by SSR (*M. phaseolina*) and agronomic characteristics of nine sorghum genotypes for grain cultivated in two years in Río Bravo, Tamaulipas, Mexico.

Genealogía	Longitud de lesión (cm)			Prom.	Prom.	Prom.
	O-I 2005-2006	O-I 2006-2007	Promedio	Rend Kg ha-	Días a Flor	A. Plta (cm)
Amarillo precoz	13.9	4.5	9.2	1994	54.8	161
Dulce	15.5	8.7	12.1	2429	63.5	194
Costeño 201	16.2	12.2	14.2	1998	65.2	137
Asgrow Ambar	23.5	6.8	15.1	3062	64.5	114
S-23	21.8	9.2	15.5	1620	72.5	146
RB-3030	28.6	5.9	17.3	3365	60.2	117
VAR-9	22.8	16.4	19.6	2113	68.8	132
Mazatlán 16	33.0	10.2	21.6	2389	63.8	132
Perla 101	33.0	13.3	23.2	2112	64.8	109
Promedio	23.1a	17.5b	22.8	2342	64.2	138
DMS ((p ≤ 0.05)	17.2	5.96	6.17	680	4.89	20.3

Características agronómicas. En rendimiento de grano (Cuadro 2) se encontraron efectos significativos para la interacción de genotipo por año. Esto indica que algunos genotipos se comportan de manera diferente cuando son evaluados a través de los años. Durante el O-I 2005-2006 se presentó un promedio de rendimiento de 2570 kg/ha superior al obtenido en el O-I 2006-2007 de 2115 kg ha⁻¹ (Datos no presentados). Aunque los experimentos fueron sembrados en fechas de siembra distantes (14 de marzo vs 20 de febrero), no se espera que este factor haya influido significativamente en el rendimiento de grano. De acuerdo a los estudios de fecha de siembra realizados en Río Bravo, esta diferencia entre fechas debió de disminuir el rendimiento en 1.69% para la fecha del 14 de marzo (Herrera-Yolimea y Betancourt, 1980). Por lo tanto las diferencias en rendimiento se deben de atribuir a condiciones climáticas diferentes. En promedio, el genotipo con mayor rendimiento de grano fue el híbrido RB-3030 el cual superó a las variedades S-23, Amarillo Precoz, Costeño 201, Perla 101, VAR-9, Mazatlán 16 y Dulce (Cuadro 3). Esto se encuentra dentro de lo normal, ya que en general los híbridos tienen un mayor potencial de rendimiento de grano en comparación con las variedades. (House *et al.*, 1996; Palacios-Velarde *et al.*, 2001). Estas diferencias se atribuyen al vigor híbrido (House *et al.*, 1996). RB-3030 presenta un potencial de producción de grano en el noreste de México 16.9 % superior a los testigos comerciales (Williams-Alanís, 1981), por lo que los resultados del híbrido se encuentran dentro de lo esperado. Además RB-3030 presentó amplia adaptación, ya que se recomendó en las principales áreas sorgueras del país (Williams-Alanís *et al.*, 1995). Aunque las variedades de polinización libre generalmente tienen menor potencial de rendimiento que los híbridos, hay que considerar que tienen la

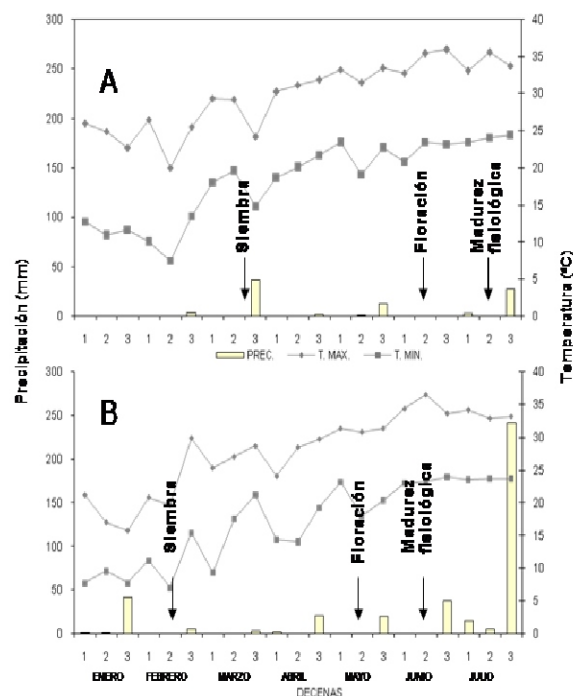


Fig. 1 Temperaturas máximas, mínimas y precipitación de enero a julio en Río Bravo, Tamaulipas, México en el 2006 (A) y en el 2007 (B).

Fig. 1. Maximum and minimum temperatures, and precipitation from January to July at Río Bravo, Tamaulipas, México in 2006 (A) and 2007 (B).

impossibility to reach a mechanic crop. Consequently, it might be possible that the highest loss on crop yield relies more on plants beaten down than to the direct effect derived from the pathogen in the grain (Díaz-Franco *et al.*, 2008). The grain yield revealed by Amarillo Precoz was the same as the rest of the varieties, except for the advantage that it took place 9 to 18 days before the earliest flowering than any of the others (Table 3). This particular characteristic represents a sowing advantage in rainfall conditions, since its shorter yield cycle requires less humidity to complete its development and escape from drought conditions, as indicated by Levitt (1972). It is considered that its plant height which is 161 cm higher than the height presented by RB-3030 (117 cm) and Asgrow Ámbar (114 cm) is adequate for grain mechanic crop.

Variety selection. It has been reported that within the programs of crop genetic improvement, disease resistant materials identification is very important (Smith and Carvil, 1997; Mayek-Pérez *et al.*, 2001; Mayek-Pérez *et al.*, 2002; Songa and Hillocks, 1996; Rooney *et al.*, 2002). As a result of the study hereby, the Amarillo Precóz variety is considered as an SSR tolerance promissory source. It is indicated in the state of Sinaloa, Mexico, that such variety is in a commercial liberation process, looking forward to have it recommended for rainfall conditions, being precociousness one of its most important characteristics. Additionally, a line R (male) behavior has been reported, as well as being a progenitor of an outstanding

ventaja de que la semilla es más fácil de reproducir, es más barata y los agricultores pueden producir su propia semilla y con esto hay una reducción significativa de costos (Palacios-Velarde *et al.*, 2001). Sin embargo, aunque RB-3030 presentó un mayor rendimiento de grano, fue más susceptible al patógeno en promedio de dos años que la variedad Amarillo Precoz. Por lo que se infiere que en este caso fue más importante el vigor híbrido que la tolerancia a PCT de la variedad. Sin embargo se reporta en el norte de Tamaulipas que cuando las condiciones ambientales son propicias para el desarrollo de *M. phaseolina*, las pérdidas económicas son considerables (Montes-García y Díaz-Franco, 2006). Así mismo, se observó una ausencia de correlación de Pearson ($r=0.0222$) entre la longitud de lesión y el rendimiento de grano, lo cual no concuerda con Williams-Alanís, *et al.*, en 2004 quien encontró una correlación negativa entre estas dos características y con Mayek-Pérez *et al.*, (2002) quien reportó una correlación negativa entre la lesión causada por PCT y acumulación de peso seco. Lo anterior es provocado por la destrucción parcial o total de los tejidos en la base del tallo por el patógeno, lo que impide la translocación de nutrientes hacia la panoja para la formación y llenado de grano (Tuinstra *et al.*, 2002). Díaz-Franco *et al.* (2008) en maíz no encontró un efecto directo de la PCT con el rendimiento de grano, pero indica que en caso de presentarse fuertes vientos, se produce el acame del cultivo y la pérdida de rendimiento de grano por la imposibilidad de la cosecha mecánica. Por lo que puede ser que la pérdida mayor en el rendimiento del cultivo provocado por la enfermedad se deba más al acame de las plantas, que al efecto directo del patógeno en el grano (Díaz-Franco *et al.*, 2008). Amarillo Precoz presentó un rendimiento de grano igual que el resto de las variedades utilizadas, pero con la ventaja de que fue de 9 a 18 días a la floración más precoz que aquellas (Cuadro 3). Esta característica le confiere ventaja para la siembra en condiciones de temporal, ya que por su ciclo más corto requiere de menos humedad para completar su desarrollo y escapar a la sequía tal como lo indica Levitt (1972). Se considera que su altura de planta de 161 cm mayor a la que presentó RB-3030 (117 cm) y Asgrow Ámbar (114 cm), es adecuada para la cosecha mecánica del grano.

Selección de Variedades. Se reporta que dentro de los programas de mejoramiento genético de un cultivo, la identificación de materiales resistente a enfermedades es muy importante (Smith y Carvil, 1997; Mayek-Pérez *et al.*, 2001; Mayek-Pérez *et al.*, 2002; Songa y Hillocks, 1996; Rooney *et al.*, 2002). Como resultado de este estudio se considera a la variedad Amarillo Precoz, como fuente promisorio de tolerancia a PCT. En Sinaloa se indica que esta variedad se encuentra en proceso de liberación comercial para recomendarla en condiciones de temporal, siendo su precocidad una de sus característica más importante. Además se reporta que se comporta como línea R (macho) y es progenitora de un híbrido experimental sobresaliente (13A x amarillo precoz) para condiciones de temporal. (Comunicación personal de Ing. Tomás Moreno Gallegos del Campo Experimental Sur de Sinaloa del INIFAP).

Experimental hybrid (13A x Amarillo Precoz) for rainfall conditions. (Personal comunicación of engineer Tomas Moreno Gallegos from the Campo Experimental Sur de Sinaloa del INIFAP).

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. Se agradece al INIFAP, Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU) el haber proporcionado las variedades utilizadas en este estudio, las cuales fueron generadas gracias al apoyo financiero proporcionado por la Fundación Produce Sinaloa, A. C. 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 manuscrito.

LITERATURACITADA.

- Clafin, L.E., and Giorda, L.M. 2002. Stalk rots of sorghum. pp. 185-190. In: J.F. Leslie (ed.). Sorghum and Millet Diseases. Chapter 33. Iowa State Press. Ames, USA. 504 p.
- Díaz-Franco, A., Salinas-García, J. R., Garza-Cano, I. y Mayek-Pérez, N. 2008. Impacto de labranza e inoculación micorrízica arbuscular sobre la pudrición carbonosa del tallo y rendimiento de maíz en condiciones semiáridas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31:257-263.
- Edmunds, L.K. 1964. Combined relation of plant maturity, temperature, and soil moisture to charcoal stalk rot development in grain sorghum. *Phytopathology* 54: 514-517.
- Herrera-Yolimea, A. y Betancourt, V.A. 1981. Fecha óptima de siembra de sorgo. Folleto técnico No. 1. SARH-INIA. Río Bravo, Tamaulipas, Mexico. 16 p.
- House, L. R., Verma, B. N., Ejeta, G., Rana, B. S., Kapran, I., Obilana, A. B. and Reddy, B. V. S. 1996. Developing countries breeding and potential of hybrid sorghum. pp 84-96. In: ed. INTSORMIL-ICRISAT. Proceedings of the International Conference on Genetic Improvement of Sorghum and Pearl Millet. Lubbock, Texas, USA. 708 p.
- Mayek-Pérez, N., López-Castañeda, C., González-Chavira, M., García-Espinosa, R., Acosta-Gallegos, J., Martínez de la Vega, O., and Simpson, J. 2001. Variability of Mexican isolates of *Macrophomina phaseolina* based on pathogenesis and AFLP genotype. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 59: 257-264.
- Mayek-Pérez, N., López-Castañeda, C. y Acosta-Gallegos, J.A. 2002. Reacción de germoplasma de *Phaseolus sp.* a *Macrophomina phaseolina*. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:35-42.
- Montes-García, N. y Díaz Franco, A. 2006. Fitopatología. 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. pp. 192-213.

- Levitt, J. 1972. Responses of plants to environmental stresses. First Edition. Ed Academic Press. New, York. USA. 697p.
- Odvody, GN. and Dunkle, L.D. 1979. Charcoal stalk rot of sorghum: Effect of environment in host-parasite relations. *Phytopathology* 69: 250-254.
- Palacios-Velarde O. Moreno-Gallegos T. G y Reyes-Jiménez J. E. (2001) Costeño 201, sorgo de doble propósito para temporal en Sinaloa. Desplegable, folleto para productores No. 2. SAGARPA-INIFAP. Campo Experimental Valle de Culiacán. Culiacán, Sin., México. 2p.
- Pecina-Quintero, V. and Vandemark, G.J. 1996. Evaluation of Mexican inbred lines of sorghum for resistance to *Macrophomina phaseolina* under conditions of post-anthesis drought stresses. *Phytopathology* 86:1116.
- Pecina-Quintero, V. 1999. Análisis Cuantitativo de la Resistencia Genética del Sorgo a *Macrophomina phaseolina* y Caracterización Molecular de este Patógeno. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Unidad Irapuato. Irapuato, México. 92 p.
- 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.
- Pecina-Quintero, V., De Jesús-Alvarado, M., Williams-Alanís, H. And Vandemark, G.J. 2000. Detection of double-stranded RNA in *Macrophomina phaseolina*. *Micología* 95:900-907.
- Rodríguez-Herrera, R., Trujillo-Aguirre, J. y Compton, L.P. 1993. Costeño 201: variedad de sorgo apta para consumo humano adaptada a zonas cálidas de la costa de Jalisco. Folleto Técnico No. 2. SARH-INIFAP. La Huerta, Jalisco, México. 9p.
- Rooney, W.L., Collins, S. D., Klein, R. R., Mehta, 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.
- 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. 60p.
- 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. INIFAP. Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas. México 50 p.
- Smith, G.S., and Carvil, O.N. 1997. Field screening of commercial and experimental soybean cultivars for their reaction to *Macrophomina phaseolina*. *Plant Disease* 81: 363-368.
- Songa-W. and Hillocks-R.J. 1996. Charcoal rot in common bean with special reference to Kenya. *International Journal of Pest Management* 42:213-219.
- Tenkouano, A., Millar, F.R., Frederiksen, R.A., and Rosenow, D.T. 1993. Genetics of nonsenescence and charcoal rot resistance in sorghum. *Theoretical and Applied Genetics*. 85:644-648.
- Tuinstra, M.R., Teferra, T.T., Claflin, L.E., Henzell, R.G., Borrell, A., Seetharama, N., Ejeta, G and Rosenow, D.T. 2002. Breeding for resistance to root and stalk rots in sorghum. pp.281-286. In: *Sorghum and Millet Diseases*. J.F. Leslie (ed.). Chapter 33. Iowa State Press. Ames, Iowa, USA. 504 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. SARH-INIA. Río Bravo, Tamaulipas, Mexico. 12 p.
- 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. p. 494.
- 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.
- 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. Zavala-García, F. Martínez-Hernández, R. Rangel-Estrada, S.E. y Machuca-Orta, I. 2004. Reacción a *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid de híbridos comerciales y experimentales de Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] para grano. *Revista Mexicana de Fitopatología* 22:216-222.