

RELACIÓN DE ALTURA Y COMPETENCIA DE PLANTAS CON INCIDENCIA Y DISPERSIÓN DE *Septoria tritici* EN TRIGO DE TEMPORAL*

RELATION OF PLANT HEIGHT AND COMPETENCE WITH INCIDENCE AND DISPERSION OF *Septoria tritici* ON RAINFED WHEAT

María Elsa Rodríguez Contreras¹, Santos Gerardo Leyva Mir^{2§}, Héctor Eduardo Villaseñor Mir³, Julio Huerta Espino³, José Sergio Sandoval Islas¹ y Héctor Manuel de los Santos Posadas¹

¹Posgrado en Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Carretera México- Texcoco, km 35.5. Montecillo, Estado de México. Tel. 01 595 9520229. Fax. 01 595 9520230. C. P. 56230. (elsarc@colpos.mx), (saldoval@colpos.mx), (hmsantos@mail.colpos.mx). ²Departamento de Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México- Texcoco, km 38.5. Chapingo, Estado de México. Tel. 01 595 9521500. Ext. 6179. C. P. 56230. ³Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes- Texcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. A. P. 10. C. P. 56230. Tel. 01 595 9542277, 9542877. Ext. 127. (hevimir3@yahoo.com.mx), (j.huerta@cgjar.org). [§]Autor para correspondencia: lsantos@correo.chapingo.mx.

RESUMEN

La septoriosis es una enfermedad del trigo que se presenta en regiones altas con temporal lluvioso del Altiplano mexicano. Con el objetivo de analizar la relación de la altura y densidad de plantas sobre la incidencia y severidad de esta enfermedad, se evaluaron seis líneas de porte alto y seis de porte bajo de trigo temporalero en parcelas con competencia (surcos separados a 30 cm) y sin competencia (surcos separados a 70 cm), durante los ciclos primavera-verano 2005 y 2006, en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala. Las líneas de porte alto fue de ciclo tardío, con altura de planta casi el doble (124 cm vs 65 cm), con mayor rendimiento y peso de grano y mayor resistencia al tizón foliar. Esto demuestra que el efecto de *Septoria tritici* fue diferente entre las líneas de ambos portes. Las líneas de porte alto en el tratamiento con competencia maduraron a 136 días y el tratamiento sin competencia a 138 días. En ambos tratamientos la altura de la planta, rendimiento de grano de 25 tallos y peso de mil granos fueron estadísticamente iguales. Las variables infección máxima y el área bajo la curva del progreso *Septoria tritici*, resultaron mayores en los tratamientos con competencia. Las líneas de porte bajo, el tratamiento con competencia maduró a 132 días y sin competencia a 135 días. Los análisis demostraron que las variables altura de planta y peso de mil

ABSTRACT

Septoriosis is a wheat disease that exist in high areas with rainy seasons in the Mexican Highlands. With the aim of analyzing the relation of plant height and density on the incidence and severity of this disease, six lines of seasonal tall wheat and short wheat with competition (furrows 30 cm apart) and without competition (furrows 70 cm apart), were evaluated in the spring-summer cycles of 2005 and 2006, in Juchitepec, State of Mexico and Nanacamilpa, Tlaxcala. The tall lines were of a late cycle, with plants almost double in height (124 cm vs 65 cm), with greater yield and grain weight, and greater resistance to leaf rust. This proves that the effect of *Septoria tritici* was different in both lines. The tall lines in the treatment with competition matured in 136 days and the treatment without competition, in 138 days. In both treatments, plant height, yields of grains from 25 stems and the weight of 1 000 grains were statistically equal. The variables of maximum infection and the area under the progress curve of *Septoria tritici*, were greater in the treatments with competition. In the short lines, the treatment with competition matured in 132 days, and without competition at 135 days. The analysis showed that the plant height and weight of 1 000 grains

* Recibido: diciembre de 2009
Aceptado: septiembre de 2010

granos fueron estadísticamente iguales; por el contrario, el rendimiento de grano de 25 tallos, fue menor en el tratamiento con competencia (16.9 g) que sin competencia (20.6 g). En el caso de la infección máxima, en los tratamientos sin competencia fue menor (59%) que con competencia (85%). La variable área bajo la curva del progreso de *Septoria tritici* fue mayor cuando la competencia estuvo presente (1 748).

Palabras clave: *Septoria tritici*, líneas de porte alto, líneas de porte bajo, tizón foliar, trigo de temporal.

INTRODUCCIÓN

Mycosphaerella graminicola (anamorfo *Septoria tritici*) es el agente causal de la enfermedad conocida como tizón foliar del trigo. El hongo se presenta particularmente en regiones altas y lluviosas con temperaturas de 12 a 25 °C (Eyal, 1981; Cowger *et al.* 2000), es capaz de reducir el rendimiento de 30 a 60% (Eyal, 1981; King *et al.*, 1983). Leyva *et al.* (2006), reportaron la presencia del hongo en áreas lluviosas de temporal del Altiplano mexicano (Estado de México, Jalisco y Michoacán), en zonas con condiciones de clima y suelo propicias para la producción de trigo y donde el monocultivo ha incrementado la presencia de la enfermedad. Eyal (1981) indicó que la dispersión de la enfermedad se debe en gran parte a la siembra de variedades de alto rendimiento, porte bajo y madurez temprana que son susceptibles al tizón foliar, además de los cambios en las prácticas culturales.

Eyal (1981) reportó asociación genética positiva entre precocidad y susceptibilidad, mientras que Camacho *et al.* (1995), mencionaron que en algunos casos se ha encontrado una asociación entre resistencia, mayor altura de planta y madurez tardía, lo cual podría sugerir un mecanismo de escape en lugar de una resistencia genética verdadera. Por otro lado, Simón *et al.* (2004) demostraron que trigos moderadamente bajos no son susceptibles al tizón que los altos y no existe asociación genética entre altura de planta y la enfermedad; es decir, que el porte de la planta no tiene efecto con la enfermedad (Wainshilbaum y Lipps, 1991; Arama *et al.*, 1999).

Baltazar *et al.* (1990); Arraiano *et al.* (2006), reportaron que en cultivares de porte alto y tardíos es menor el daño de *S. tritici*; mientras que Shaw *et al.* (1993), mencionaron que las siembras tempranas tienen mayor riesgo porque las plantas maduran más lentamente, permitiendo mayor multiplicación de la enfermedad y mejor transferencia entre las capas de hojas. En diversos estudios se ha mencionado que el porte

variable were statistically equal; on the other hand, the yield of grains from 25 stems was lower in the treatment with competition (16.9 g) than without competition (20.6 g). Maximum infection was lower in the treatment without competition (59%) than with competition (85%). The aerial variable under the progress curve for *Septoria tritici* was greater when there was competition (1 748).

Key words: *Septoria tritici*, leafrust, seasonal wheat, short lines, tall lines.

INTRODUCTION

Mycosphaerella graminicola (anamorpho *Septoria tritici*) is the agent that causes the disease known as wheat leaf rust. The fungus appears particularly in high and rainy areas with temperatures between 12 and 25 °C (Eyal, 1981; Cowger *et al.* 2000), and it can reduce yields between 30 and 60% (Eyal, 1981; King *et al.*, 1983). Leyva *et al.* (2006), reported the presence of this fungus in seasonally rainy areas of the Mexican Highlands (States of Mexico, Jalisco and Michoacán), in areas with appropriate weather and soil conditions for wheat production, and where monoculture has increased the incidence of this disease. Eyal (1981) pointed out that the dispersal of the disease is due mostly to the planting of high yield short, early-maturing varieties, which are susceptible to leaf rust, as well as the changes in cultural habits.

Eyal (1981) reported a positive genetic association between precociousness and susceptibility, while Camacho *et al.* (1995), mentioned that in some cases, a relationship between resistance, greater plant height and late maturity has been found, which could suggest an escape mechanism instead of a true genetic resistance. Likewise, Simón *et al.* (2004) showed that moderately short wheat plants are less susceptible to rust than tall plants, and there is no genetic association between plant height and the disease; that is, that plant height has no effect on the disease (Wainshilbaum and Lipps, 1991; Arama *et al.*, 1999).

Baltazar *et al.* (1990); Arraiano *et al.* (2006), reported that in tall and late cultivars *S. tritici* damage is less; Shaw *et al.* (1993), mentioned that the early plantations are at greater risk, since plants mature slower, allowing a greater spread of the disease, and a better movement between leaf

bajo está asociado con el incremento del daño, debido a las distancias cortas que hay entre las hojas, que provoca que el inoculo se disemine fácilmente; de manera que el movimiento del inoculo hacia arriba puede ocurrir en ausencia de lluvia, dependiendo de la posición de las hojas en desarrollo con relación a las hojas infectadas (Eyal, 1981; Lovell *et al.*, 1997, 2004; Simón *et al.*, 2004). Por su parte, Arama *et al.* (1999) concluyeron que la interferencia entre parcelas no es un factor importante en pruebas para resistencia a *Septoria tritici*.

Los objetivos del presente trabajo fueron determinar la importancia de la altura de planta sobre la incidencia y severidad de la enfermedad en campo y el efecto que tiene la separación entre plantas y parcelas para favorecer el desarrollo de la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cuatro experimentos se establecieron durante los ciclos primavera-verano (P-V) 2005 y 2006, dos en Juchitepec (Juchi1 "P-V, 2005" y Juchi2 "P-V, 2006" a 2 590 msnm, 19° 05' latitud norte y 98° 52' longitud oeste con precipitación anual de 853 mm), y dos en Nanacamilpa (Nana1 "P-V, 2005" y Nana2 "P-V, 2006" a 2 720 msnm, 19° 29' latitud norte y 98° 32' longitud oeste con precipitación anual de 841 mm). Se sembraron seis líneas F_6 altas "130-140 cm" (A5, A6, A7, A8, A9 y A10) y seis bajas "60 a 70 cm" (B15, B16, B17, B18, B19 y B20), obtenidas de la cruce entre las variedades Rebeca F2000 (resistente a *S. tritici*, de 97 cm de altura) y Salamanca S75 (susceptible a *S. tritici*, de 87 cm de altura).

La siembra se realizó en parcelas con competencia (surcos continuos separados a 0.3 m y de 1 m de largo "CC= con competencia") y sin competencia (surcos continuos separados a 0.7 m y de 1 m de largo "SC= sin competencia"). Con la finalidad de medir el efecto que tiene la separación entre parcelas (contacto entre plantas) en la severidad de la enfermedad; se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones en arreglo de tratamientos de parcelas divididas, en donde la parcela grande correspondió a siembra con y sin competencia y la parcela chica a los genotipos.

En cada parcela se indujo artificialmente una epífita durante el estadio 45, cuando se presenta el embuche (Zadoks *et al.*, 1974); para lo cual las plantas se inocularon mediante una aspersión de ultrabajo volumen con una suspensión

layers. Several studies have mentioned that lower height is related to the increase of the damage, due to the shorter distances between leaves, which helps the inoculant to spread easily, so the upward movement of the inoculant can occur in the absence of rain, depending on the position of the growing leaves in relation to the infected leaves (Eyal, 1981; Lovell *et al.*, 1997; Lovell *et al.*, 2004; Simón *et al.*, 2004). Likewise, Arama *et al.* (1999) concluded that the interference between fields is not an important factor in *Septoria tritici* resistance tests.

The aims of this study were to determine the importance of plant height on the incidence and severity of the disease on the field, and the effect that separation between plants and fields has for its development.

MATERIALS AND METHODS

Four experiments were performed during the 2005 and 2006 spring-summer cycles (P-V), two in Juchitepec (Juchi1 "P-V, 2005" and Juchi2 "P-V, 2006" at 2 590 masl, 19° 05' latitude north and 98° 52' longitude west, with a yearly rainfall of 853 mm), and two in Nanacamilpa (Nana1 "P-V, 2005" and Nana2 "P-V, 2006" at 2 720 masl, 19° 29' latitude north and 98° 32' longitude west, with an annual rainfall of 841 mm). Six tall F_6 lines "130-140 cm" (A5, A6, A7, A8, A9 and A10) and six short ones "60-70 cm" (B15, B16, B17, B18, B19 and B20), were planted, obtained from the cross between the varieties Rebeca F2000 (resistant to *S. tritici*, 97 cm tall) and Salamanca S75 (susceptible to *S. tritici*, 87 cm tall).

Plantation was carried out in furrows with competition (CC) (continuous furrows, 0.3 m apart, and 1 m long) and without competition (SC) (continuous furrows, 0.7 m apart, and 1 m long). In order to measure the effect of the separation in the fields (contact between plants) on the severity of the disease, an experimental design of complete clusters at random was used, with three repetitions, in an arrangement of divided field treatments, in which the large field contained treatments with and without competition, and the small field contained the genotypes.

In each field, an epiphyte was artificially induced during stage 45, when the cram is presented (Zadoks *et al.*, 1974); for this, the plants were sprayed with an ultralow volume of approximately 10^7 pycnidiospores ml^{-1}

aproximada de 10^7 picnidiosporas ml^{-1} de agua, después se agregó Tween 20[®] como surfactante (Wainshilbaum y Lipps, 1991). Se utilizó la fórmula 80-40-00 para fertilizar antes del amacollamiento y el control de maleza se realizó de forma manual, para evitar los efectos por uso de herbicidas.

Los parámetros evaluados en cada uno de los experimentos fueron días a madurez (DM), altura de planta (AP), infección máxima o porcentaje de área necrótica por la presencia de picnidios (IMAX) (Brown *et al.*, 2001); se obtuvo además el área bajo la curva del progreso de *Septoria tritici* (ABCPST), mediante la evaluación del daño en el área foliar. Se realizó un muestreo al azar de 25 tallos cortados al nivel del suelo, con lo cual se obtuvieron datos de peso de mil granos (PMG) y rendimiento de grano de 25 tallos (RE25T) en gramos (Villaseñor, 1996).

La toma de datos para determinar el ABCPST se inició aproximadamente 80 días después de la siembra y 40 días después de la inoculación. El daño del área foliar se evaluó semanalmente (King *et al.*, 1983). La última lectura se realizó en la etapa de grano masoso, cuando se observó el máximo nivel de la enfermedad en las líneas más susceptibles, misma que se consideró como infección máxima o nivel máximo de infección en el área foliar (King *et al.*, 1983).

La información de los cuatro experimentos se combinó y se analizó en SAS para identificar los efectos entre sitios, tratamientos (con y sin competencia) y sus interacciones SAS (1999). Las diferencias entre altura y tratamientos, se determinaron utilizando la diferencia mínima significativa (DMS). El área bajo la curva del progreso de *Septoria tritici* se calculó con la ecuación propuesta por Roelfs *et al.* (1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existió diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre sitios para todas las variables, excepto en RE25T donde la diferencia fue significativa ($p > 0.05$) (Cuadro 1). Diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) se encontraron entre tratamientos en DM, IMAX y ABCPST, y significativas ($p > 0.05$) en RE25T.

Las diferencias entre las líneas y altura fueron altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables, así como en las líneas de porte alto, mientras que entre líneas de porte bajo sólo en AP la diferencia fue altamente significativa ($p \leq 0.01$)

water, and Tween 20[®] was then added as a surfactant (Wainshilbaum and Lipps, 1991). The formula 80-40-00 was used to fertilize before tillering, and weeds were controlled by hand, to avoid the effects of herbicides.

The parameters analyzed in each of the experiments were days to maturity (DM), plant height (AP), maximum infection or percentage of necrotic area due to the presence of pycnidia (IMAX) (Brown *et al.*, 2001); the area under progress curve of *Septoria tritici* (ABCPST) was also obtained, with the evaluation of the damage in the foliar area. Random samples were taken from 25 stems cut at ground level, which were used to obtain the weight for 1 000 grains (PMG) and the grain yield from 25 stems (RE25T) in grams (Villaseñor, 1996).

The data intake to determine the ABCPST began approximately 80 days after planting and 40 days after inoculation. Foliar damage was evaluated weekly (King *et al.*, 1983). The last read was performed in the dough-stage grain, when the maximum level of disease was observed in the more susceptible lines, considered as a maximum infection or the highest level of infection in the foliar area (King *et al.*, 1983).

The information of the four experiments was combined and analyzed using SAS to identify the effects between locations, treatments (with and without competition) and their interactions SAS (1999). The differences between height and treatments were determined using the minimum significant difference (DMS). The area under the progress curve of *Septoria tritici* was calculated using the equation proposed by Roelfs *et al.* (1992).

RESULTS AND DISCUSSION

There were highly significant differences ($p \leq 0.01$) between locations for all the variables, except for RE25T in which the difference was significant ($p > 0.05$) (Table 1). Highly significant differences ($p \leq 0.01$) were found between treatments in DM, IMAX and ABCPST, and significant differences ($p > 0.05$) in RE25T.

Differences between lines and height were highly significant ($p \leq 0.01$) for all variables, as well as in the tall lines, while between short lines, only in AP was the difference highly significant ($p \leq 0.01$), and in IMAX it

y en IMAX fue significativa ($p \leq 0.05$). En las interacciones sitio por tratamiento se observó diferencia significativa ($p > 0.05$) en PMG, RE25T, IMAX y ABCPST.

was significant ($p \leq 0.05$). In the interactions of site by treatment, there was a significant difference ($p > 0.05$) found in PMG, RE25T, IMAX and ABCPST.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza en seis líneas de trigo de porte bajo y seis de porte alto, en la incidencia de *Septoria tritici*, durante el ciclo primavera-verano 2005 y 2006.

Table 1. Average squares for the variance analysis in six short wheat lines and six tall lines, on the incidence of *Septoria tritici*, during the 2005 and 2006 spring-summer cycles.

FV	GL	DM	AP	PMG	RE25T	IMAX	ABCPST
Sitio	3	709**	4 233.8**	1 223.6**	416.6*	9 305.1**	10 612 996.5**
Rep	8	16.9	86.4	17.6	28.7	229.6	115 714.7
Trat	1	524.9**	148.9 NS	11.4 NS	552.12*	25 925.1**	8 764 666.27*
Sitio*Trat	3	8.2 NS	150.3 NS	181.9**	427.5*	643.1*	598 838*
Rep*Trat	8	2.9	38.2	17	51.5	107	96 118
Líneas	11	105.4**	23 174.6**	876.5**	1 775.7**	5 649.4**	1 566 424.7**
Altas	5	54.3**	460.9**	171.3**	396.8**	1 519.4**	604 046.2**
Bajas	5	5.7 NS	367.3**	49 NS	50.8 NS	393.2*	132 621 NS
Altura	1	856.3**	250 130.7**	8 541.6**	17 362.8**	52 548**	13 549 395.5**
Trat*Líneas	11	5.5 NS	22.3 NS	29.8 NS	38.5 NS	353.9*	193 925.8*
Trat*Altas	5	5.2 NS	12.9 NS	39.1*	45 NS	108.3 NS	17 641 NS
Trat*Bajas	5	3.5 NS	24.1 NS	14.4 NS	26.7 NS	65.4 NS	125 660.8*
Trat*Altura	1	16.7 NS	50.1 NS	63.5 NS	63.5 NS	3041.9**	1 425 958.7**
Error	256	6.8	64.11	23.18	65.51	163.8	67 498
\bar{X}		135	95.38	30.78	26.55	58.36	1 279.25
CV (%)		1.94	8.39	15.64	30.48	21.9	20.3
Total	287						

Trat= tratamiento; NS= no significativo; *= significativo ($p \leq 0.05$); **= altamente significativo ($p \leq 0.01$); FV= fuente de variación; Rep= repetición; GL= grados de libertad; DM= días a madurez; AP= altura de planta (cm); PMG= peso de mil granos (g); RE25T= rendimiento económico de 25 tallos (g); IMAX= infección máxima (%); ABCPST= área bajo la curva del progreso de *Septoria tritici*.

En la interacción tratamiento por línea se observaron diferencias significativas en IMAX y ABCPST. En las interacciones tratamiento por líneas altas hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en PMG. En tratamiento por líneas bajas sólo presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) para ABCPST y en tratamiento por altura se expresó diferencia altamente significativa ($p \leq 0.05$) en IMAX y ABCPST. Esta información indica que las líneas altas o bajas tendrán el mismo comportamiento independientemente del nivel de separación entre parcelas y plantas; sin embargo, al compararse como grupos (Trat*Altura) hubo diferente respuesta a la incidencia de *S. tritici*.

En diferentes investigaciones se reportan variables asociadas con el ataque de *S. tritici* en trigo, por ejemplo: DM y AP (Arraiano *et al.*, 2006), PMG (Simón *et al.*, 2002; Leyva *et al.*, 2006), ABCPST (Simón *et al.*, 2005; Leyva *et al.*, 2006). En el presente trabajo estas variables también se

In the interaction of treatment by line, highly significant differences were observed in IMAX and ABCPST. In the interaction of treatment by tall lines, there was a significant difference ($p \leq 0.05$) in PMG. In treatments by short lines, there was only a significant difference ($p \leq 0.05$) for ABCPST and in treatment by height; there were highly significant differences ($p \leq 0.05$) in IMAX and ABCPST. This information indicates that the tall or short lines will have the same behavior, regardless of the separation between fields and plants; however, when compared as groups (Treat*Height) there were different responses to the incidence of *S. tritici*.

Different investigations report variables related to the attack of *S. tritici* in wheat, for example: DM and AP (Arraiano *et al.*, 2006), PMG (Simón *et al.*, 2002; Leyva *et al.*, 2006), ABCPST (Simón *et al.*, 2005; Leyva *et al.*, 2006). In this study, these variables were also related with

asociaron con mayor resistencia a la enfermedad, aunque de acuerdo con Brown *et al.* (2001), el porcentaje de infección en campo (IMAX) se puede considerar como buen criterio para evaluación de resistencia.

En el Cuadro 2 se muestra la comparación de medias entre líneas de porte alto y porte bajo, encontrándose diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$). El grupo de líneas altas fue de ciclo tardío, altura de planta casi doble (124 cm vs 65 cm), mayor rendimiento, menor infección, menor área bajo la curva y por lo tanto mayor resistencia al tizón foliar; esto coincide con Simón *et al.* (2004), quienes mencionaron que las líneas de porte bajo, está asociada al incremento del daño por el hongo, porque hay distancias cortas entre las capas de hojas que hace posible el avance del inoculo.

a greater resistance to the disease, although according to Brown *et al.* (2001), the percentage of infection on the field (IMAX) can be considered a good criterion for evaluating resistance.

Table 2 shows the comparison of averages between the tall and short lines, where statistical differences were found ($p \leq 0.05$). The group of tall lines belonged to a late cycle, plant height was almost double (124 cm vs 65 cm), greater yield, less infection, lower area under the curve, and therefore, greater resistance to leaf rust; this coincides with Simón *et al.* (2004), who mentioned that the short lines are related to the increase in the damage by the fungus, since there are shorter distances between leaf layers that makes the progress of the inoculants easier.

Cuadro 2. Comparación de medias en seis líneas de trigo de porte alto y porte bajo, en la incidencia de *Septoria tritici*, primavera-verano 2005 y 2006.

Table 2. Comparison of averages in six tall and short wheat lines, of the incidence of *Septoria tritici*, 2005 and 2006 spring-summer.

Porte de planta	DM	AP	RE25T	PMG	IMAX	ABCPST
Alta	137 a	124.9 a	34.3 a	36.2 a	44.86 b	1 061.75 b
Baja	133 b	65.7 b	18.8 b	25.32 b	71.95 a	1 498.27 a
DMS	0.94	2.51	2.06	1.42	4.52	109.65

DMS= diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$); DM= días a madurez; AP= altura de planta (cm); RE25T= rendimiento económico de 25 tallos (g); PMG= peso de mil granos (g); IMAX= infección máxima (%); ABCPST= área bajo la curva del progreso de *Septoria tritici*.

Las líneas altas en el tratamiento con competencia estadísticamente maduraron a 136 días y el tratamiento sin competencia en 138 días. En ambos tratamientos la AP, RE25T y PMG fueron estadísticamente iguales. El ABCPST y la infección máxima en el tratamiento con competencia fueron estadísticamente mayores que sin competencia. Las líneas bajas del tratamiento con competencia maduraron a 132 días y sin competencia en 135 días, los análisis demostraron que las variables AP y PMG fueron iguales; en cambio, para la variable RE25T bajo competencia fue menor (16.9 g) que sin competencia (20.6 g). En el caso de IMAX fue 59% sin competencia y 85% con competencia; del mismo modo, ABCPST con competencia hizo que el progreso de la enfermedad fuera mayor (1 748) que sin competencia resultara menor (1 251) (Cuadro 3).

The tall lines in the treatment with competition matured statistically in 136 days, and the treatment without competition in 138 days. In both treatments, AP, RE25T and PMG were statistically equal. The ABCPST and maximum infection in the treatment with competition were statistically higher than without competition. The short lines of the treatment with competition matured in 132 days and without competition in 135 days, the analysis demonstrated that variables AP and PMG were equal; on the other hand, for the variable RE25T under competition, it was lower (16.9 g) than without competition (20.6 g). In the case of IMAX, it was 59% without competition and 85% with competition; likewise, ABCPST with competition made the progress of the disease greater (1 748), and less without competition (1 251) (Table 3).

Cuadro 3. Comparación de medias en seis líneas de trigo de porte alto y porte bajo en la incidencia de *Septoria tritici*, primavera-verano 2005 y 2006.**Table 3. Comparison of averages in six tall and short wheat lines in the incidence of *Septoria tritici*, spring-summer 2005 and 2006.**

Líneas	DM		AP		RE25T		PMG		IMAX		ABCPST	
	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC	CC	SC
Altas	136 b	138 a	126 a	123.8 a	33.4 a	35.2 a	36.5 a	35.9 a	51 a	39 b	1 166 a	957 b
DMS	1.39		4.09		2.99		1.86		5.63		131.77	
Bajas	132 b	135 a	66 a	65.4 a	16.9 b	20.6 a	24.7 a	26 a	85 a	59 b	1 748 a	1 251 b
DMS	1.12		2.97		2.81		2.19		5.37		154.16	

DMS= diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$); CC= con competencia; SC= sin competencia; DM= días a madurez; AP= altura de planta (cm); PMG= peso de mil granos (g); RE25T= rendimiento económico de 25 tallos (g); IMAX= infección máxima (%); ABCPST= área bajo la curva del progreso de *Septoria tritici*.

El análisis de los grupos de líneas altas y bajas con competencia (surcos separados a 30 cm) redujo el ciclo de madurez del cultivo e incrementó la infección de la enfermedad y el área bajo la curva con respecto al tratamiento sin competencia (surcos separados a 70 cm). Se observó que el mayor contacto entre plantas incrementó la incidencia del tizón foliar que coincide con Shaw *et al.* (1993), ya que menciona que las infecciones tienden a ser severas porque las hojas funcionan como fuente de inóculo y se encuentran cercanas unas con otras.

No hubo diferencia estadística en el peso de 1 000 granos (PMG), entre líneas altas y bajas (Cuadro 3). Al respecto Leyva *et al.* (2006), mencionaron que el peso bajo de grano (tamaño pequeño) puede ser compensado por una mayor producción de grano (granos por espigas); por lo tanto, el impacto de la enfermedad sobre el peso del grano no necesariamente puede traducirse en una importante reducción de rendimiento.

El análisis de las variables PMG, IMAX y ABCPST de líneas altas y bajas, con y sin competencia (CC y SC) se presenta en los Cuadros 4 y 5. No se observó diferencia entre las medias promedio de tratamientos, para PMG tanto en las líneas altas (36 CC vs 35 SC), como en las bajas (24 CC vs 25 SC); sin embargo, dentro del grupo de líneas altas las líneas A6 y A10 fueron superiores en peso de 1 000 granos a las A5 y A8 (Cuadro 4), mientras que las seis líneas bajas fueron estadísticamente iguales (Cuadro 5).

The analysis of the tall and short line groups with competition (furrows 30 cm apart) reduced the maturity cycle and increased infection of the disease and the area under the curve in regard to the treatment without competition (furrows 70 cm apart). The greater contact between plants was noticed to increase the incidence of leaf rust, which coincides with Shaw *et al.* (1993), since it mentions that the infections tend to be severe, since the leaves serve as a source of inoculants, and also due to their proximity with each other.

There was no statistical difference between the weight of 1 000 grains (PMG), for tall and short lines (Table 3). On this, Leyva *et al.* (2006) mentioned that a low grain weight (small size) can be compensated by greater grain production (grains per cob); therefore, the impact of the disease on the grain can not necessarily translate into an important reduction in yield.

The analysis of variables PMG, IMAX and ABCPST in tall and short lines, with and without competition (CC and SC) is shown in Tables 4 and 5. There was no difference observed between the treatment averages for PMG in tall lines (36 CC vs 35 SC), or in short lines (24 CC vs 25 SC); however, within the group of tall lines, lines A6 and A10 showed a higher weight of 1 000 grains than A5 and A8 (Table 4), while the six short lines were statistically equal (Table 5).

The average PMG with competition in tall lines (36.4 g) was greater than the low lines (24.6 g), which indicates its yield potential. For ABCPST and maximum infection in both the

Cuadro 4. Comparación de medias en seis líneas de trigo de porte alto, primavera-verano 2005 y 2006.
Table 4. Comparison of averages in six tall wheat lines, 2005 and 2006 spring-summer.

Línea	PMG		IMAX		ABCPST	
	CC	SC	CC	SC	CC	SC
A5	34 c	32.91 b	42.5 c	32.5 c	963.1 c	785.6 b
A6	39.16 a	38 a	39.16 c	33.33 bc	1 012.3 bc	849 ab
A7	37 ab	40.41 a	52.5 abc	38.33 abc	1 201.3 abc	1 026.7 ab
A8	32.25 c	33.75 b	58.33 ab	44.16 ab	1 279.6 ab	1 054.4 ab
A9	36.33 abc	33.83 b	65.83 a	47.5 a	1450 a	1 140.4 a
A10	40.83 a	36.66 ab	48.33 bc	35.83 bc	1 090 bc	888.8 ab
DMS	4.43	3.96	14.48	11.31	312.87	319.41
\bar{X}	36.47 A	35.93 A	51.11 A	38.61 B	1 166.04 A	957.47 B
DMS	1.86		5.63		131.77	

DMS= diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$); PMG= peso de mil granos (g); IMAX= infección máxima (%); ABCPST= área bajo la curva del progreso de *Septoria tritici*; CC= tratamiento con competencia y SC= tratamiento sin competencia.

Cuadro 5. Comparación de medias en seis líneas de trigo de porte bajo, primavera-verano 2005 y 2006.
Table 5. Comparison of averages in six short wheat lines, 2005 and 2006 spring-summer.

Línea	PMG		IMAX		ABCPST	
	CC	SC	CC	SC	CC	SC
B15	26.16 a	27.66 a	90 a	65 a	1 908.5 a	1 281.5 a
B16	26.33 a	25.58 a	77.5 a	55.83 a	1 629 a	1 282.1 a
B17	26.25 a	26.50 a	85.83 a	62.5 a	1 675 a	1 303.5 a
B18	21.83 a	24.16 a	83.33 a	59.16 a	1 706.9 a	1 291.3 a
B19	23.45 a	26.75 a	89.16 a	58.33 a	1 903.1 a	1 200.6 a
B20	24 a	25.08 a	83.63 a	54.16 a	1 663.9 a	1 147.7 a
DMS	5.79	5.26	14.46	12.34	408.69	370.28
\bar{X}	24.69 A	25.95 A	84.93 A	59.16 B	1 748.91 A	1 251.11 B
DMS	2.19		5.37		154.16	

DMS= diferencia mínima significativa ($p \leq 0.05$); PMG= peso de mil granos (g); IMAX= infección máxima (%); ABCPST= área bajo la curva del progreso de *Septoria tritici*; CC= tratamiento con competencia y SC= tratamiento sin competencia.

El PMG promedio con competencia, en las líneas altas (36.4 g) fue superior a las líneas bajas (24.6 g), que indica su potencial de rendimiento. El ABCPST y la infección máxima, tanto para el grupo de las líneas altas como para las bajas, los valores promedio entre medias de tratamientos CC y SC fueron estadísticamente diferentes (Cuadros 4 y 5); resultando que ambas alturas cuando la planta estuvo bajo competencia se incrementó presencia de la enfermedad.

La comparación de medias de la variable IMAX del grupo de líneas altas, indicaron diferencias estadísticas ($p = 0.05$) en el tratamiento CC; la línea A9 fue la que presentó mayor infección mientras que A6 tuvo infección fue menor. El tratamiento SC también se observó diferencia estadística, la línea A9 presentó mayor infección mientras que A5

tall line and short line groups, the average values between averages for treatments CC and SC were statistically different (Tables 4 and 5); as a result, both heights, when in competition, increased the presence of the disease.

The comparison of averages for the variable IMAX of the tall line group, indicated statistical differences ($p = 0.05$) in the CC treatment; line A9 showed the greatest infection, while A6 showed the lowest levels. The SC treatment also showed statistical differences, and A9 had greater levels of infection while A5 was the least affected. Lines A5 and A6 showed an apparent potential genetic resistance, since IMAX with competition was lower than in the rest of the lines, indicating that some lines have a greater level of resistance (Table 4).

fue menos afectada. Las líneas A5 y A6 mostraron una aparente resistencia genética potencial, ya que el IMAX con competencia, fue menor que el resto de líneas, esto indica que existen líneas con mayor nivel de resistencia (Cuadro 4).

En cambio el grupo de las líneas bajas, todas resultaron estadísticamente iguales en los tratamientos CC y SC (Cuadro 5), y con niveles de infección superiores con relación a las líneas altas, evidenciando que la menor altura favorece la incidencia del tizón foliar y dentro de este grupo no se identificaron líneas con resistencia a *S. tritici*.

Con respecto a ABCPST, las medias de los valores promedio CC y SC fueron estadísticamente diferentes ($p=0.05$), tanto para el grupo de las líneas altas como para bajas, resultando que bajo competencia se alcanzan mayores valores. El ABCPST fue mayor bajo competencia en las líneas altas y bajas. Al analizar las medias de las líneas altas en el tratamiento CC, el ataque de la enfermedad fue diferencial de la misma manera como ocurrió en IMAX, mientras que dentro del grupo de líneas bajas no hubo diferencia estadística entre genotipos, que indica que el grupo de líneas bajas fueron susceptibles al ataque del tizón foliar (Cuadros 4 y 5).

El efecto diferencial entre líneas altas y bajas podría explicarse de acuerdo con Van Beuningen y Kohli (1990), quienes indican que los genotipos altos presentan una barrera física hacia el patógeno, dado que las hojas se encuentran más separadas, que dificulta la dispersión de conidios por salpique. En cambio, Bahat *et al.* (1980), sugieren que la proximidad de las hojas en los cultivares enanos, permiten que las hojas en emergencia estén más expuestas al salpique de picnidiosporas o al contacto directo con las hojas inferiores infectadas, y que las distancias entre la primera hoja de cultivares enanos y semienanos son similares, pero se incrementan progresivamente entre las hojas superiores. Así, la asociación entre altura y *S. tritici* podría estar influenciada por factores ambientales y epidemiológicos, más que por la correlación genética entre estas características (Bahat *et al.*, 1980; Wainhilbaum y Lips, 1991; Simón *et al.*, 2004; Arraiano *et al.*, 2006).

CONCLUSIONES

Las líneas bajas fueron más susceptibles que las líneas altas, que determina que el tizón foliar expresa mayor incidencia cuando las hojas de las plantas están más próximas.

On the other hand, the group of short lines all turned out statistically equal in the CC and SC treatments (Table 5), and with higher infection levels than the tall lines, proving that the lower height favors the incidence of leaf rust, and within this group, there were no lines with resistance to *S. tritici*.

In regard to ABCPST, the medians for the average CC and SC values were statistically different ($p=0.05$), for the group of tall lines, as well as for short lines, resulting in the fact that under competition, higher values are reached. ABCPST was higher under competition in the tall and short lines. When analyzing the medians of tall lines in the CC treatment, the attack of the disease turned out to be differential, as in IMAX, whereas inside the group of short lines, there was no statistical difference between genotypes, indicating that the group of short lines was susceptible to leaf rust (Tables 4 and 5).

The differential effect between the tall and short lines could be explained according to Van Beuningen and Kohli (1990), who point out that the tall genotypes are a physical barrier towards the pathogen, since the leaves are more separated, making the dispersal of conidia by spreading more difficult. On the other hand, Bahat *et al.* (1980), suggest that the proximity of leaves in the short cultivars allow emerging leaves to be more exposed to the spread of pycnidiospores or the direct contact with the lower, infected leaves, and that the distance between the first leaf of dwarf and semi-dwarf, but increase progressively between higher leaves. In this way, the association between height and *S. tritici* could be influenced by environmental and epidemiological factors, more than by the genetic correlation between these characteristics (Bahat *et al.*, 1980; Wainhilbaum and Lips, 1991; Simón *et al.*, 2004; Arraiano *et al.*, 2006).

CONCLUSIONS

The short lines were more susceptible than the tall lines, and this determines that the leaf rust expresses greater incidence when the leaves are closer to each other.

The leaf rust under competition between plants had favorable conditions for causing damage, although it increased with greater intensity in short lines.

El tizón foliar bajo competencia entre plantas tuvo condiciones favorables para causar mayor daño, aunque éste se incrementó con mayor intensidad en las líneas bajas.

Las 12 líneas hermanas evaluadas, las bajas fueron más susceptibles que las altas, esto determina que la susceptibilidad al ataque del tizón foliar fue influenciada por la altura de la planta.

Of the 12 sister lines evaluated, the short lines were more susceptible than the tall ones, which determines that the susceptibility to leaf rust was influenced by the height of the plant.

End of the English version



LITERATURA CITADA

- Arama, F. P.; Parlevliet, J. E. and Van Silfhout, C. H. 1999. Heading date and resistance to *Septoria tritici* blotch in wheat not genetically associated. *Euphytica*. 106:63-68.
- Arraiano, L. S.; Brading, P. A.; Dedryver, F. and Brown, J. K. M. 2006. Resistance of wheat to *Septoria tritici* blotch (*Mycosphaerella graminicola*) and associations with plant ideotype and the 1BL-1RS translocation. *Plant Pathol.* 55:54-61.
- Bahat, A.; Gelernter, I.; Brown, M. B. and Eyal, Z. 1980. Factors affecting the vertical progression of *Septoria* leaf blotch in short-statures wheat. *Phytopathology*. 70:179-184.
- Baltazar, B.; Scharen, A. L. and Kronstad, W. E. 1990. Associations between dwarfing genes Rht₁ and Rht₂ and resistance to *Septoria tritici* blotch in winter wheat (*Triticum aestivum* L. Em Thell). *Theor. Appl. Genet.* 79:422-426.
- Brown, J. K. M.; Kema, G. H. J.; Forrer, H. R.; Verstappen, E. C. P.; Arriano, L. S.; Brading, P. A.; Foster, E. M.; Fried, P. M. and Jenny, E. 2001. Resistance of wheat cultivars and breeding lines to *Septoria tritici* blotch caused by isolates of *Mycosphaerella graminicola* in field trials. *Plant Pathol.* 50:325-338.
- Camacho, C. M. A.; Kronstad, W. E. and Scharen, A. L. 1995. *Septoria tritici* resistance and associations with agronomic traits in a wheat cross. *Crop Sci.* 35:971-976.
- Cowger, C.; Hoffer, M. E. and Mundt, C. C. 2000. Specific adaptation by *Mycosphaerella graminicola* to a resistant wheat cultivar. *Plant Pathol.* 49:445-451.
- Eyal, Z. 1981. Integrated control of *Septoria* diseases of wheat. *Plant Dis.* 65:763-768.
- King, J. E.; Cook, R. J. and Melville, S. C. 1983. A review of *Septoria* diseases of wheat and barley. *Ann. Appl. Biol.* 103:345-373.
- Leyva, M. S. G.; Gilchrist, S. L.; Zavaleta, M. E. and Khairallah, M. 2006. Yield losses in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype inoculated with single and mixed isolates of *Septoria tritici* Rob Ex. *Desm. Agrociencia.* 40:315-323.
- Lovell, D. J.; Parker, S. R.; Hunter, T.; Royle, D. J. and Coker, R. R. 1997. Influence of crop growth on the risk of epidemics by *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) in winter wheat. *Plant Pathol.* 46:126-138.
- Lovell, D. J.; Parker, S. R.; Hunter, T.; Welham, S. J. and Nichols, A. R. 2004. Position of inoculum in the canopy affects the risk of *Septoria tritici* blotch epidemics in winter wheat. *Plant Pathol.* 53:11-21.
- Roelfs, A. P.; Singh, R. P. and Saari, E. E. 1992. Rust diseases of wheat: Concepts and methods of disease management. CIMMYT, Distrito Federal, México. 81 p.
- Shaw, M. W.; Royle, D. J. and Shtieberg, D. 1993. Factors determining the severity of epidemics of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) on winter wheat in the UK. *Plant Pathol.* 42:882-889.
- Statistical Analysis Systems Institute (SAS Institute). 1999. The SAS system for window. SAS Institute Inc. Cary, NC27513, USA.
- Simón, M. R.; Perelló, A. E.; Cordo, C. A. and Struik, P. C. 2002. Influence of *Septoria tritici* on yield, yield components, and test weight of wheat under two nitrogen fertilization conditions. *Crop Sci.* 42:1974-1981.

- Simón, M. R.; Worland, A. J. and Struik, P. C. 2004. Influence of plant height and heading date on the expression of the resistance to *Septoria tritici* blotch in near isogenic lines of wheat. *Crop Sci.* 44:2078-2085.
- Simón, M. R.; Perelló, A. E.; Cordo, C. A.; Larrán, S.; Van der Putten, P. E. L. and Struik, P. C. 2005. Association between *Septoria tritici* blotch, plant height, and heading date in wheat. *Agron. J. Plant Dis.* 97:1072-1081.
- Van Beuningen, L. T. and Kohli, M. M. 1990. Deviation from the regression of infection on heading and height as a measure of resistance to *Septoria tritici* blotch in wheat. *Plant Dis.* 74:488-493.
- Villaseñor, M. H. E. 1996. Selección recurrente en una población de trigo de apareamiento aleatorio mediante el uso de androesterilidad. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 186 p.
- Wainshilbaum, S. J. and Lipps, P. E. 1991. Effect of temperature and growth stage of wheat on development of leaf and glume blotch caused by *Septoria tritici* and *S. nodorum*. *Plant Dis.* 75:993-998.
- Zadoks, J. C.; Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.