

EFFECTO DE *Septoria tritici* EN EL RENDIMIENTO DE TRIGO DE TEMPORAL EN AMBIENTES LLUVIOSOS DE LOS VALLES ALTOS CENTRALES DE MÉXICO

EFFECT OF *Septoria tritici* ON RAINFED WHEAT YIELD IN RAINY ENVIRONMENTS OF THE CENTRAL HIGHLANDS OF MÉXICO

M. Elsa Rodríguez-Contreras¹, Héctor E. Villaseñor-Mir^{2*}, Gerardo Leyva-Mir³, Julio Huerta-Espino²,
J. Sergio Sandoval-Islas¹ y Héctor M. de los Santos-Posadas¹

¹Fitopatología y Forestal. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (elsarc@colpos.mx), (sandoval@colpos.mx), (hmsantos@colpos.mx). ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. CEVAMEX, (hevimir3@yahoo.com.mx) (j.huerta@cgiar.org). ³Parasitología. Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Texcoco, Estado de México.

RESUMEN

El tizón foliar causado por *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) es una enfermedad que daña la producción de trigo en los Valles Altos lluviosos de México. Para determinar las pérdidas que ocasiona en esta región, se evaluaron seis variedades en parcelas con y sin control de la enfermedad en las localidades de Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, en los veranos de 1997 a 1999. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo de tratamientos de parcelas divididas y los ensayos se evaluaron como series de experimentos. Hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) para rendimiento de grano y peso de grano entre ambientes, tratamientos y variedades; además la severidad del tizón foliar varió entre localidades y años. La enfermedad afectó directamente el ciclo del cultivo y la productividad; el efecto negativo en el rendimiento de grano llegó a 44%. La manera más efectiva y rentable para su control es la siembra de variedades con mayor nivel de resistencia.

Palabras claves: Daño máximo de área foliar, rendimiento de grano, tizón foliar, variedades susceptibles.

INTRODUCCIÓN

En México, el trigo se siembra en condiciones de riego y temporal. Durante la década de 1990 se redujo el área irrigada debido a problemas fitopatológicos, escasez de agua y baja rentabilidad ocasionando la importación de grano para surtir la demanda nacional desde 1997. Las siembras de temporal son una alternativa para complementar la producción obtenida con riego, porque se oferta más barato que el trigo importado y su cultivo tiene más ventajas agromónicas en áreas donde otros cultivos, como el maíz, tienen limitantes por precipitación o estación corta de

ABSTRACT

Leaf blotch caused by *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) is a disease damaging the wheat production in the rainy Highlands of México. In order to determine the losses it causes in this region, six varieties in plots, controlled and uncontrolled of this disease, were assessed in the localities of Juchitepec, State of México, and Nanacamilpa, Tlaxcala, in the summers of 1997 and 1999. The experimental design was complete randomized blocks with an arrangement of split plot treatments, and the assays were evaluated as experimental series. There were highly significant differences ($p \leq 0.01$) for grain yield and grain weight among environments, treatments, and varieties; furthermore, the severity of leaf blotch varied among localities and years. The disease directly affected crop cycle and productivity; the negative effect on grain yield reached 44%. The most effective and profitable way of control is by sowing varieties with higher resistance level.

Key words: Maximum leaf area damage, grain yield, leaf blotch, susceptible varieties.

INTRODUCTION

In México, wheat is sown under irrigation and rainfed conditions. During the 1990s, the irrigated area was reduced due to phyto-pathological problems, water shortage, and low profitability caused by grain import in order to supply the national demand since 1997. Rainfed seeding is an alternative to complement the production obtained with irrigation, because it is offered cheaper than imported wheat, and its cultivation has greater agronomic advantage in areas where other crops, like maize, are limited by factors such as precipitation or short growth season. Nevertheless, rainfed wheat is produced in the summer cycle when incidence of diseases occurs, like rusts, blights, and leaf spots (Huerta and Singh, 2000).

*Autor responsable.

Recibido: Noviembre, 2006. Aprobado: marzo, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 435-442. 2008.

crecimiento. Sin embargo, el trigo de temporal se produce en el ciclo de verano, cuando inciden enfermedades como royas, tizones y manchas foliares (Huerta y Singh, 2000).

El tizón foliar causado por *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schrot. in cohn. (anamorfo *Septoria tritici* Roberge in Desmaz. (Cunfer, 1997)) incide en diversas regiones trigueras del mundo con clima templado lluvioso (Eyal, 1981; Polley y Thomas, 1991; Shaw y Royle, 1993), ocasionando hasta 60% de pérdidas en rendimiento (Arraiano *et al.*, 2001). Estas pérdidas se asocian con disminución en peso hectolítrico del grano y su calidad (Karjalainen *et al.*, 1983), ya que los granos se arrugan, pierden peso y no son adecuados para la molienda (Eyal, 1981). Por tanto su control es necesario para minimizar las pérdidas y lograr una producción rentable.

En México el tizón foliar se presenta en las partes altas (a más de 2000 m) y lluviosas (800 mm de precipitación), principalmente en la región de la Sierra Tarasca, Michoacán, en el Valle de Toluca, Estado de México, y en los Altos de Jalisco (Gómez y González, 1990); su severidad está en función de las condiciones climáticas y de la variedad sembrada. En años inductivos al desarrollo de la enfermedad los daños pueden alcanzar 45% en los Altos de Jalisco (Gómez y González, 1990) o 60% en la Sierra Tarasca (Castrejón *et al.*, 1995).

En partes altas y lluviosas de los Valles Altos de México, como Juchitepec y Amecameca, Estado de México, Nanacamilpa y Tlaxco, Tlaxcala, y Singuilucan, Hidalgo, prevalecen condiciones de clima y suelo para la producción de trigo de temporal. Sin embargo, el tizón foliar es una de las principales enfermedades, principalmente donde la siembra es monocultivo (Eyal, 1981), lo cual aumenta cada año su presencia en siembras de temporal (Leyva *et al.*, 2006). Por la importancia que tiene este hongo en los Valles Altos, el objetivo del presente trabajo fue cuantificar las pérdidas en rendimiento que causa esta enfermedad en diferentes variedades cultivadas en temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en los ciclos de cultivo Primavera-Verano de 1997, 98 y 99 en las localidades de Juchitepec, Estado de México (JUCH) (2590 m; 19° 05' N y 98° 52' O; precipitación anual de 853 mm) y Nanacamilpa, Tlaxcala (NANA) (2720 m; 19° 29' N, 98° 32' O; precipitación anual 841 mm). Para determinar el efecto del tizón foliar se evaluó el cultivo con y sin control de la enfermedad en seis variedades. Se usó una serie de experimentos en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones con un arreglo de tratamientos de parcelas divididas. La parcela

Leaf blotch caused by *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schrot. in Cohn. (anamorphic *Septoria tritici* Roberge in Desmaz. (Cunfer, 1997)) affects several wheat producing regions of the world with rainy temperate climate (Eyal, 1981; Polley and Thomas, 1991; Shaw and Royle, 1993) causing up to 60% in yield loss (Arraiano *et al.*, 2001). These losses are associated to diminution in hectoliter weight of grain and its quality (Karjalainen *et al.*, 1983), since the grains get wrinkled, lose weight and are not adequate for milling (Eyal, 1981). Therefore, their control is necessary in order to minimize losses and achieve profitable production.

In México, leaf blotch appears in the high (more than 2000 m) and rainy regions (800 mm precipitation) mainly in the Sierra Tarasca, Michoacán, in the Valle de Toluca, State of México, and the Highlands of Jalisco (Gómez and González, 1990); its severity is according to the climatic conditions and to the sown variety. In years of induction to the development of the disease, the damages may reach up to 45% in the Altos de Jalisco (Gómez and González, 1990) or 60% in the Sierra Tarasca (Castrejón *et al.*, 1995).

In the high and rainy parts of the Highlands of México, such as Juchitepec and Amecameca, State of México, Nanacamilpa and Tlaxco, Tlaxcala, and Singuilucan, Hidalgo, climatic and soil conditions for rainfed wheat production prevail. However, leaf blotch is one of the principal diseases mainly where the seeding is a monoculture (Eyal, 1981), reason why every year, its presence in rainfed seedings increases (Leyva *et al.*, 2006). Because of the importance this fungus has achieved in the Highlands, the objective of the present study was to quantify the yield loss caused by this disease in different rainfed crop varieties.

MATERIALS AND METHODS

The study was carried out during the crop cycles spring-summer 1997, 98, and 99, in the localities of Juchitepec, State of México, (JUCH) (2590 m above sea level; 19° 05' N and 98° 52' W; annual rainfall 853 mm) and Nanacamilpa, Tlaxcala (NANA) (2720 m; 19° 29' N, 98° 32' W; annual rainfall 841 mm). In order to determine the effect of leaf blotch the crop with and without disease control was assessed in six varieties. A series of experiments in complete randomized blocks design was used with four replications and with split plots arrangement of treatments. The main plot corresponded to the treatments: 1) disease control by two applications of Sportak fungicide (Procloraz, 1.0 L ha⁻¹), the first one during flowering, and the second 20 - 25 d afterwards; 2) without control, where an epiphyte was artificially induced, inoculating the plants between the phenological stages of feeding and tasseling by spraying at ultra-low volume a suspension of approximately 10⁷ pycnidial spores mL⁻¹ water (Wainshilbaum and Lipps, 1991). The small plot corresponded

grande correspondió a los tratamientos: 1) control de la enfermedad mediante dos aplicaciones del fungicida Sportak (Procloraz, 1.0 L ha⁻¹), la primera durante floración y la segunda 20-25 d después; 2) sin control donde artificialmente se indujo una epifitia, inoculando las plantas entre las etapas fenológicas de embuche a espigamiento, mediante una aspersión de ultrabajo volumen con una suspensión aproximada de 10⁷ picnidiosporas mL⁻¹ de agua (Wainshilbaum y Lipps, 1991). La parcela chica correspondió a las variedades Siete Cerros T66, Zacatecas VT74, México M82, Temporalera M87, Batán F96 y Romoga F96, las cuales no se han evaluado por su reacción a *S. tritici* y se siembran en los Valles Altos. Las prácticas fueron similares a las usadas por los agricultores de la región: una sola aplicación de fertilizante (80-40-00) antes del amacollamiento. No se aplicó herbicida ni otro producto químico para evitar efectos de los mismos sobre la expresión del tizón foliar, realizando manualmente las labores agronómicas.

El tamaño de la parcela experimental fue 3.6 m², con cuatro surcos separados 0.30 m y una longitud de 3.0 m. Se evaluaron variables directas e indirectas. Las primeras fueron de las parcelas experimentales: días a floración (DF), días a madurez (DM), altura de planta (AP), rendimiento de grano (KGHA) obtenido de cada parcela en g m⁻² y transformado a kg ha⁻¹, y daño máximo de área foliar (DMAF) en % (escala 0 a 100) evaluando todo el dosel de la planta en la etapa de grano masoso, cuando la enfermedad alcanza su máximo nivel. Las segundas fueron producto del muestreo al azar de 25 tallos cortados al nivel del suelo tomados de los dos surcos centrales de la parcela: índice de cosecha (IC), espigas por m² (EPMC), peso de mil granos (PMG), número de granos por espiga (GPE), número de granos por m² (GPMC), número de granos por espiguilla (GPEE) y biomasa (BIOM). El rendimiento de grano y materia seca de los 25 tallos, el peso de mil granos y el número de espiguillas por espiga permitió calcular: BIOM=((RGP+RE25T)/PU/IC); IC=RE25T/RB25T; EPMC=BIOM/RB25T/25; GPMC=RGP/(peso de 1000 granos/1000); GPE=GPMC/EPMC; GPEE= GPE/ESESP; donde RB25T=rendimiento biológico (peso total de la parte aérea, g) de 25 tallos; RE25T=rendimiento económico (peso del grano, g) de 25 tallos; RGP=rendimiento (g), de grano de la parcela; PU=parcela útil; ESESP= número de espiguillas por espiga (Villaseñor, 1996).

Se realizaron análisis de varianza y de correlación usando los procedimientos GLM y CORR (SAS, 1999). El grado de asociación entre variables que aportó la mayor cantidad de información se obtuvo mediante el análisis de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre ambientes en todas las variables evaluadas (Cuadro 1). Entre tratamientos hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre casi todas las variables; para DF, IC, GPE y GPEE; fueron significativas ($p \leq 0.05$), pero no para AP ($p > 0.05$). Entre variedades las diferencias fueron altamente significativas ($p \leq 0.01$) en todas las variables. En las interacciones

to the varieties Siete Cerros T66, Zacatecas VT74, México M82, Temporalera M87, Batán F96, which have not been evaluated for their reaction to *S. tritici* and are sown in the Highlands. Management was similar to that used by farmers of the region: one single fertilizer application (80-40-00) before the sprouting of shoots. Neither herbicides nor other chemical products were applied in order to avoid their effects on leaf blotch expression, carrying out farm work manually.

The size of the experimental plot was 3.6 m², with four furrows separated 0.30 m and 3.0 m long. Direct and indirect variables were assessed. The first were taken from the experimental plots: days flowering (DF), days to maturity (DM), plant height (AP), grain yield (KGHA) obtained from each plot in g m⁻² and transformed to kg ha⁻¹, maximum damage of leaf area (DMAF) in % (scale 0-100), evaluating all the plant canopy at the stage of soft grain, when the disease reaches its highest level. The indirect variables were the product of the random sample of 25 stems cut at ground level, taken from the two central furrows of the plot: crop index ears per m² (EPMC), weight of thousand grains (PMG), number of grains per ear (GPE), number of grains per m² (GPMC), number of grains per spikelet (GPEE), and biomass (BIOM). Grain yield and dry matter of the 25 stems, weight of thousand grains, and the number of spikelets per ear allowed to calculate: BIOM=((RGP+RE25T)/PU/IC); IC=RE25T/RB25T; EPMC=BIOM/RB25T/25; GPMC=RGP/weight of 1000 grains/1000; GPE=GPMC/EPMC; GPEE=GPE/ESESP; where RB25T= biological yield (total weight of aerial part, g) of 25 stems; RE25T= economic yield (grain weight, g) of 25 stems; RGP= grain yield of the plot (g); PU= useful plot, ESESP= number of spikelets per ear (Villaseñor, 1996).

Analyses of variance and correlation were carried out using GLM and CORR procedures (SAS, 1999). The degree of association among variables, which contributed the highest amount of information, was obtained by correlation analysis.

RESULTS AND DISCUSSION

Highly significant differences ($p \leq 0.01$) were found among environments in all the variables assessed (Table 1). Among treatments there were highly significant differences ($p \leq 0.01$) in most of the variables; for DF, IC, GPE, and GPEE, differences were significant ($p \leq 0.05$), but not for AP ($p > 0.05$). Among varieties, there were highly significant differences ($p \leq 0.01$) in all variables. In first and second order interactions, highly significant differences were found ($p \leq 0.01$) in some variables; in grain yield, important variable in the present study, there was highly significant differences ($p \leq 0.01$) in interactions environment by treatment and environment by variety.

The analysis of correlation among the different variables in treatments with and without fungicide application, is shown in Table 2. The following variables were used to explain the losses caused by *S. tritici*: KGHA is the main productivity indicator and was significantly associated with IC, EPMC, GPMC, and

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables directas e indirectas producto de las seis variedades de trigo evaluadas con y sin aplicación de fungicida en Juchitepec, Estado de México, y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 1997, 1998 y 1999.**Table 1. Mean squares of variance analysis for direct and indirect variables, product of the six wheat varieties evaluated with and without fungicide application in Juchitepec, State of México, and Nanacamilpa, Tlaxcala, during the Spring-Summer cycles 1997, 1998, and 1999.**

F V	GL	DF	DM	AP	KGHA	IC	EPMC
AMB	5	624 †	2339.7 †	1476.9 †	34751459 †	0.167 †	383678 †
REP(AMB)	18	5	4.79	26	238693	0.002	2888
TRAT	1	12.5 †	606.68 †	2.92 NS	61685501 †	0.029 †	126119 †
AMB*TRAT	5	2.3 NS	5.90 NS	8.65 NS	1175160 †	0.004 NS	7752 NS
REP*TRAT(AMB)	18	1.9 3	25.9		143728	0.002	5058
VAR	5	384.2 †	384.25 †	850.33 †	15522431 †	0.015 †	53414 †
AMB*VAR	25	14.9 †	15.72 †	42.18 NS	745587 †	0.005 †	6421 NS
TRAT*VAR	5	5.9 †	52.33 †	17.15 NS	301929NS	0.003 †	8377 NS
AMB*TRAT*VAR	25	3.0 †	5.91 †	19.47 NS	244336NS	0.001 NS	5015 NS
Error	180	1.51	3.03	31.53	205736	0.001	4125
Media		65.6	127.8	85.4	3514	0.32	304
CV (%)		1.9	1.4	6.7	13	10	21
F V	GL	PMG	GPMC	GPE	GPEE	BIOMASA	DMAF
AMB	5	1710 †	222992399 †	1012 †	7.419 †	253025624 †	2047 †
REP(AMB)	18	24	5675869	37.9	0.304	3842038	72
TRAT	1	501 †	288213919 †	217 †	1.955 †	399919274 †	179500 †
AMB*TRAT	5	33.0 NS	2155900 NS	103.19 NS	0.395NS	9827917 NS	2080 †
REP*TRAT(AMB)	18	24.0	3231305	42.16	0.231	4241093	74
VAR	5	414.7 †	91755657 †	138.84 †	1.866 †	120122003 †	6150 †
AMB*VAR	25	85.7 †	10982445 †	85 †	0.449 †	6839305 †	124 †
TRAT*VAR	5	55 †	10299064 †	25.83 NS	0.179 NS	663167 NS	2012 †
AMB*TRAT*VAR	25	11.5 NS	3178034 NS	29 NS	0.151 NS	3168193 NS	93 †
Error	180	15	3756515	36	0.178	3790945	30
Media		34	10585	36.2	2.4	11334	44
CV (%)		11	18	16	17	17	12

NS = no significativo ♦ non-significant.

† Significativo ($p \leq 0.05$) ♦ significant ($p \leq 0.05$).‡ Altamente significativo ($p \leq 0.01$) ♦ highly significant ($p \leq 0.01$).

FV=fuente de variación; AMB=ambiente; REP=repeticón; VAR=variedad; TRAT=tratamiento; GL=grados de libertad; DM=días a madurez; AP=altura de planta (cm); KGHA=rendimiento de grano (kg ha^{-1}); IC=índice de cosecha (%); EPMC=espigas m^{-2} ; PMG=peso de mil granos (g); GPMC=granos m^{-2} ; GPE=granos por espiga; GPEE=granos por espiguilla; BIOM=biomasa (kg ha^{-1}); DMAF=daño máximo de área foliar (%) ♦ FV=source of variation; AMB=environment; REP=repitition; VAR=variety; TRAT=treatment; Gl=degrees of freedom; DM= days to maturity; AP= plant height (cm); KGHA0 grain yield (kg ha^{-1}); IC=crop index (%); EPCM= ears m^{-2} ; PMG=weight of thousand grains (g); GPMC=grains m^{-2} ; GPE=grains per ear; GPEE=grains per spikelet; BIOM=biomass (kg ha^{-1}); DMAF=maximum damage of leaf area (%).

de primer y segundo orden se encontró diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) en algunas variables; en el rendimiento de grano, variable importante en el presente estudio, hubo diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) en las interacciones ambiente por tratamiento y ambiente por variedad.

En el Cuadro 2 se presenta el análisis de correlación entre las diferentes variables en los tratamientos con y sin aplicación de fungicida. Las siguientes variables se usaron para explicar las pérdidas ocasionadas por *S. tritici*: KGHA es el principal indicador de la

BIOM; PMG associated with DF and IC, but mainly because it is an indicator of the disease effect, avoiding the photosynthate movement towards grain. DMAF practically did not associate significantly with any variable in the two treatments, but it is the phytopathological component indicating the presence of the disease. This may be due to the fact that the correlation analysis was conducted using mean values of six varieties and six environments. Subsequently, comparison of means for the selected variables is shown. The localities of rainfed farming throughout the time

Cuadro 2. Análisis de correlación entre las variables de seis variedades de trigo evaluadas en Juchitepec Estado de México, y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 1997, 1998 y 1999.**Table 2. Correlation analysis among the variables of six wheat varieties evaluated in Juchitepec, State of México, and Nanacamilpa, Tlaxcala, during Spring-Summer cycles 1997, 1998, and 1999.**

Variable	TRAT	DM	AP	KGHA	IC	EPMC	PMG	GPMC	GPE	GPEE	BIOM	DMAF
DF	CF	0.457 [†]	0.34 [†]	0.14NS	-0.45 [†]	0.25NS	-0.43 [†]	0.37 [†]	0.13NS	0.07NS	0.43 [†]	-0.07NS
	SF	0.451 [†]	0.36 [†]	0.13NS	-0.40 [†]	0.20NS	-0.38 [†]	0.34 [†]	0.16NS	0.09NS	0.35 [†]	0.01NS
DM	CF		0.25NS	0.15NS	-0.01NS	0.33 [†]	-0.17NS	0.24NS	-0.10NS	-0.03NS	0.10NS	-0.13NS
	SF		0.32 [†]	0.22NS	0.05NS	0.29 [†]	-0.13NS	0.27 [†]	0.013NS	0.07NS	0.14NS	-0.03NS
AP	CF			0.23NS	-0.28 [†]	0.16NS	-0.03NS	0.21NS	-0.02NS	-0.14NS	0.46 [†]	-0.17NS
	SF			0.25NS	-0.32 [†]	0.22NS	-0.11NS	0.31 [†]	0.052NS	-0.04NS	0.46 [†]	-0.05NS
KGHA	CF				0.36 [†]	0.60 [†]	0.28 [†]	0.71 [†]	-0.03NS	-0.12NS	0.64 [†]	-0.02NS
	SF				0.38 [†]	0.58 [†]	0.42 [†]	0.70 [†]	-0.00NS	-0.06NS	0.77 [†]	-0.15NS
IC	CF					-0.19NS	0.65 [†]	-0.08NS	-0.08NS	0.19NS	-0.45 [†]	-0.07NS
	SF					-0.10NS	0.63 [†]	-0.05NS	0.12NS	0.19NS	-0.25NS	0.05NS
EPMC	CF						-0.26NS	0.73 [†]	-0.54 [†]	-0.52 [†]	0.70 [†]	0.18NS
	SF						-0.18NS	0.76 [†]	-0.53 [†]	-0.55 [†]	0.68 [†]	-0.13NS
PMG	CF							-0.42 [†]	-0.14NS	-0.13NS	-0.22NS	-0.00NS
	SF							-0.29 [†]	-0.10NS	-0.02NS	0.054NS	-0.03NS
GPMC	CF								0.12NS	0.04NS	0.74 [†]	-0.02NS
	SF								0.08NS	-0.03NS	0.76 [†]	-0.16NS
GPE	CF									0.88 [†]	-0.19NS	-0.32 [†]
	SF									0.89 [†]	-0.08NS	0.00NS
GPEE	CF										-0.26 [†]	-0.27 [†]
	SF										-0.19NS	0.03NS
BIOM	CF											0.32NS
	SF											-0.22NS

NS=no significativo ♦ non-significant.

† Significativo ($p \leq 0.05$) ♦ significant ($p \leq 0.05$).‡ Altamente significativo ($p \leq 0.01$) ♦ highly significant ($p \leq 0.01$).

DF=días a floración; DM=días a madurez; AP=altura de planta (cm); KGHA=rendimiento de grano (kg ha^{-1}); IC=índice de cosecha (%); EPMC=espigas m^{-2} ; PMG=peso de mil granos (g); GPMC=granos m^{-2} ; GPE=granos por espiga; GPEE=granos por espiguilla; BIOM = biomasa (kg ha^{-1}); DMAF= daño máximo de área foliar (%); CF= con funguicida; SF = sin funguicida ♦ DF= days to flowering; CF= with fungicide; SF= without fungicide; FV=source of variation; AMB=environment; REP=repetition; VAR=variety; TRAT=treatment; Gl=degrees of freedom; DM= days to maturity; AP= plant height (cm); KGHA0 grain yield (kg ha^{-1}); IC=crop index (%); EPMC= ears m^{-2} ; PMG=weight of thousand grains (g); GPMC=grains m^{-2} ; GPE=grains per ear; GPEE=grains per spikelet; BIOM=biomass (kg ha^{-1}); DMAF=maximum damage of leaf area (%).

productividad y se asoció significativamente con IC, EPMC, GPMC y BIOM; PMG asociado con DF e IC, pero sobretudo porque es un indicador del efecto de la enfermedad al evitar la movilización de fotosintatos hacia el grano. El DMAF prácticamente no se asoció significativamente con ninguna variable en los dos tratamientos, pero es el componente fitopatológico indicador de la presencia de la enfermedad. Esto se puede deber a que el análisis de correlación se realizó usando valores promedio de seis variedades y seis ambientes. Posteriormente se presenta la comparación de medias para las variables seleccionadas. Las localidades de temporal a través del tiempo representan ambientes contrastantes de producción; así, la evaluación de las variedades en las dos localidades durante tres años representa seis condiciones de siembra para evaluar el efecto del tizón foliar (Rodríguez *et al.*, 2005).

En el Cuadro 3 se presenta la comparación de medias entre los seis ambientes; para KGHA y PMG hubo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los ensayos, lo

represent contrasting production environments; thus, the evaluation of the varieties in the two localities during three years represents six sowing conditions to assess the effect of leaf blotch (Rodríguez *et al.*, 2005).

In Table 3 the comparison of means among the six environments is shown; for KGHA and PMG there was significant difference ($p \leq 0.05$) among the assays, which sustains that the six environments may represent the problems caused by *S. tritici* in rainfed seedings in the Highlands of México. Also the fact mentioned by Polley and Thomas (1991) is confirmed, that the incidence of this pathogen varies through the years, depending on their climatological conditions. The loss in grain yield varied among environments from 16% (JUCH98) to 30% (JUCH97); whereas in weight of thousand grains was from 2% for JUCH98 to 15% in NANA98. Regarding this, Royle *et al.* (1986) indicate that the damages of this disease tend to vary among sites and years, depending on climatic and crop conditions.

cual sustenta que los seis ambientes pueden representar la problemática que *S. tritici* ocasiona en las siembras de temporal en los Valles Altos de México. También se confirma lo mencionado por Polley y Thomas (1991) de que la incidencia de este patógeno varía a través de los años, dependiendo de las condiciones climatológicas. La pérdida en rendimiento de grano varió entre ambientes, de 16% (JUCH98) a 30% (JUCH97); mientras que en peso de mil granos fue de 2% para JUCH98 a 15% en NANA98. Al respecto, Royle *et al.* (1986) indican que los daños de esta enfermedad tienden a variar entre sitios y años, dependiendo de las condiciones climáticas y del cultivo.

Los resultados de pérdidas en rendimiento de grano por ambiente (Cuadro 3) se refieren al promedio de las seis variedades, que son menores a los reportados por Gómez y González (1990) y Castrejón *et al.* (1995) para otras regiones temporales de México. De acuerdo con la significancia de la interacción ambiente por variedad, se espera que en las variedades susceptibles estas pérdidas sean mayores en condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad, como lo mencionan Arraiano *et al.* (2001).

En las medias para las variedades hay diferencia en las variables KGHA y PMG (Cuadro 4). En las variedades México M82 y Temporalera M87; la enfermedad redujo el peso de mil granos hasta 13%, mientras que en Batán F96 no hubo pérdidas. En relación con el rendimiento, la pérdida promedio en los seis ambientes fue 16% en la variedad más resistente (Batán F96), 36% en la variedad más susceptible (Siete Cerros T66), pero la pérdida máxima fue 44% para Siete Cerros T66 en NANA98. En rendimiento hay dos grupos de variedades; Siete Cerros T66, Zacatecas VT74 y México M82, de baja productividad; Temporalera M87, Batán F96 y Romoga F96, de alta productividad. Esta agrupación es más evidente cuando el cultivo no se protegió contra el ataque de la enfermedad, ya que se conjuntó el rendimiento con la resistencia a este hongo. Esto confirma el reporte de Van Ginkel y Rajaram (1995), de que la siembra de variedades resistentes y de alto rendimiento puede reducir el efecto del tizón foliar del trigo, y es un método más efectivo y más rentable en la producción, ya que el uso de fungicidas aumenta su costo (Brown *et al.*, 2001).

En la Figura 1 se presenta el efecto que causa la enfermedad sobre el rendimiento de grano en los dos sitios y tres ciclos (ambientes) de evaluación. Independientemente de la localidad o el año, al intensificarse el daño foliar se redujo la producción. El efecto sobre el rendimiento en algunas situaciones fue más severo, como en NANA98, comparando en esa misma localidad en 1997 (NANA97). Esto sugiere que la severidad del tizón foliar está fuertemente influenciada por las

Cuadro 3. Medias entre ambientes y diferencia porcentual (%) para las variables KGHA y PMG en Juchitepec y Nanacamilpa P-V/1997-99. Promedio de dos tratamientos (con y sin fungicida) y seis variedades.

Table 3. Means among environments and difference in percentage terms (%) for variables KGHA and PMG in Juchitepec and Nanacamilpa/Spring-Summer/1997-99. Average of two treatments (with and without fungicide) and six varieties.

Ambientes	KGHA			PMG		
	CF	SF	%	CF	SF	%
JUCH97	4091c	2860c	-30	33b	29cd	-12
JUCH98	3247d	2736c	-16	43a	42 a	-2
JUCH99	5337a	4310a	-19	40a	38ab	-5
NANA97	3603d	2876c	-20	35b	34bc	-3
NANA98	4780b	3474b	-27	34b	29cd	-15
NANA99	2803e	2052d	-27	26c	24d	-8
Tukey (5%)	416	385		3.9	5	

Letras diferentes indican diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$). KGHA=rendimiento de grano (kg ha^{-1}); PMG=peso de mil granos (g); CF=con funguicida; SF=sin funguicida ♦ Different letters indicate statistically significant difference ($p \leq 0.05$) KGHA=grain yield (kg ha^{-1}); PMG=weight of thousand grains (g); CF=with fungicide; SF= without fungicide.

Cuadro 4. Medias de variedades y diferencia (%) para las variables KGHA y PMG en Juchitepec y Nanacamilpa P-V/1997-99. Promedio entre dos tratamientos (con y sin fungicida) y seis ambientes.

Table 4. Means of varieties and difference (%) for the variables KGHA and PMG in Juchitepec and Nanacamilpa, Spring-Summer/1997-99. Average among treatments (with and without fungicide) and six environments

Variedad	KGHA			PMG		
	CF	SF	%	CF	SF	%
Siete Cerros	3150 c	2029 c	-36	30 c	28 c	-7
Zacatecas VT74	3888 b	2861 b	-26	37 ab	34 ab	-8
México M82	3721 b	2691 b	-28	38 ab	33 ab	-13
Temporalera M87	4408 a	3636 a	-18	39 a	34 ab	-13
Batán F96	4400 a	3675 a	-16	35 b	35 a	0
Romoga F96	4294 a	3416 a	-20	32 c	31 bc	-3
Tukey (5%)	391	371		3.18	3.40	

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$). KGHA=rendimiento de grano (kg ha^{-1}); PMG=peso de mil granos (g); CF=con funguicida; SF=sin funguicida ♦ Different letters indicate statistically significant difference ($p \leq 0.05$) KGHA=grain yield (kg ha^{-1}); PMG=weight of thousand grains (g); CF=with fungicide; SF= without fungicide.

The results of losses in grain yield by environment (Table 3) refer to the average of the six varieties, which are lower than those reported by Gómez and González (1990) and Castrejón *et al.* (1995) for other regions of rainfed farming of México. According to the

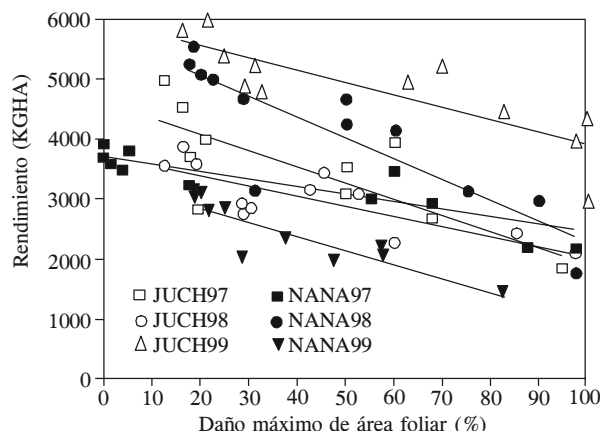


Figura 1. Relación entre el rendimiento y daño del área foliar para dos localidades y tres ciclos de producción (ambientes). Promedio de dos tratamientos y seis variedades de temporal. P-V/1997-99.

Figure 1. Relation between yield and damage of leaf area for two localities and three production cycles (environments). Mean of two treatments and six varieties of rainfed farming; Spring-Summer/1997-99.

condiciones ambientales, como lo señalan Jlibene *et al.* (1994).

En la Figura 2 se presenta el efecto que causa la enfermedad sobre el rendimiento de grano para las seis variedades; al incrementarse el daño foliar se redujo el rendimiento de grano. Los puntos con mayor rendimiento y menor incidencia de la enfermedad (Figura 2) correspondieron a las variedades más tolerantes (Temporalera M87, Batán F96 y Romoga F96), mientras que sus recíprocos correspondieron a las susceptibles (Siete Cerros T66, Zacatecas VT74 y México M82).

El tizón foliar es una enfermedad agresiva en los ambientes lluviosos de los Valles Altos de México. Al convertirse el trigo en monocultivo, las pérdidas en el rendimiento serán mayores y superarán los esfuerzos del mejoramiento genético para aumentar los rendimientos del trigo del temporal en México. Entonces, para minimizar los efectos de esta enfermedad es necesario generar variedades con mayor nivel de resistencia que Batán F96 y Temporalera M87.

CONCLUSIONES

La severidad de la enfermedad tiende a variar entre sitios. Tiene un efecto negativo directo en el peso y rendimiento de grano, que es de mayor magnitud para las variedades más susceptibles. El tizón foliar puede causar pérdidas de hasta 44% en el rendimiento del trigo en la región. Una manera de reducir el daño de la enfermedad es sembrando variedades con mayor nivel de resistencia.

importance of the interaction environment-variety, it is expected that in the susceptible varieties, these losses be greater under conditions favorable for the disease development, as mentioned by Arraiano *et al.* (2001).

In the means for the varieties there are differences between the variables KGHA and PMG. In the varieties México M82 and Temporalera M87 the disease reduced thousand grains weight up to 13% decrease, whereas in Batán F96 there were no losses. With relation to yield, the average loss in the six environments was 16% in the most resistant variety (Batán F96), 36 % in the most susceptible variety (Siete Cerros T66), but the maximum loss was 44% for Siete Cerros T66 in NANA98. As for yield there are two groups of varieties: Siete Cerros T66, Zacatecas VT74, and México M82, low productivity; Temporalera M87, Batán F96, and Romoga F96, high productivity. This grouping is more evident when the crop has not been protected against the attack of the disease, since the yield combined with the resistance against this fungus. This confirms the report by Van Ginkel and Rajaram (1995), that sowing resistant varieties and of high yield may reduce the effect of wheat leaf blotch, and is a more effective and profitable production method, since the use of fungicides increases its cost (Brown *et al.*, 2001).

The effect on grain yield caused by the disease at the two sites and three cycles (environments) of evaluation is shown in Figure 1. Independently of the locality or the year, when leaf damage was intensified the production was reduced. The effect on yield in some situations was more severe than in others, as in

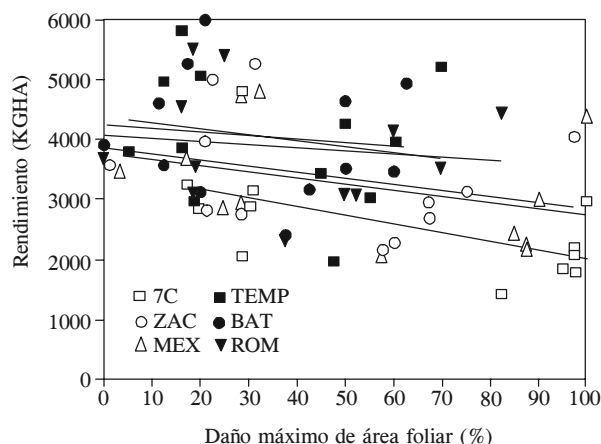


Figura 2. Relación entre el rendimiento y el daño del área foliar para seis variedades. Promedio de dos tratamientos, dos localidades y tres ciclos de producción (ambientes) de temporal. P-V/1997-99.

Figure 2. Relation between yield and damage of leaf area for six varieties. Mean of two treatments, two localities and three production cycles (environments) of rainfed farming. Spring-Summer/1997-99.

LITERATURA CITADA

- Arraiano L. S., P. A. Brading, and J. K. M. Brown. 2001. A detached seedling leaf technique to study resistance to *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*) in wheat. *Plant Pathol.* 50:339-346.
- Brown, J. K., G. Kema, H. Forrer, E. Verstappen, L. S. Arraiano, P. A. Brading, E. M. Foster, P. M. Fried, and E. Jenny. 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.
- Castrejón S. A., R. M. González, and L. Gilchrist. 1995. Control químico redituable de *Septoria tritici* para el área de temporal húmedo en México. In: Gilchrist S. L., M. van Ginkel, A. McNab, and G. H. J. Kema (eds). *Proceedings of a Septoria tritici* Workshop. México, D. F. CIMMYT. pp:135-146.
- Cunfer, B. M. 1997. Taxonomy and nomenclature of *Septoria* and *Stagonospora* species on small grain cereals. *Plant Dis* 81:427-428.
- Eyal, Z. 1981. Integrated control of *Septoria* diseases of wheat. *Plant Dis.* 65 (9):763-768.
- Gómez L., B. L., and R. M. González. 1990. Mejoramiento genético de trigos harineros para resistencia a *Septoria tritici* en el área de temporal húmedo en México. In: Kohli, M. M., y L. T. Van Beuningen (eds.) 1990. Conferencia regional sobre septorios de trigo, México, D. F. CIMMYT. pp: 42-58.
- Huerta, E. J., y R. Singh. 2000. Las royas del trigo. In: Villaseñor M., H. E., y E. Espitia. R. (eds.) *El Trigo de Temporal en México*. SAGAR, INIFAP, CIR-CENTRO y CEVAMEX. México. pp: 231-251.
- Jlibene, M., J. P. Gustafson, and S. Rajaram. 1994. Inheritance of resistance to *Mycosphaerella graminicola* in hexaploid wheat. *Plant Breeding* 112:301-310.
- Karjalainen, R., Laitinen, A., and Juuti, T. 1983. Effects of *Septoria nodorum* Berk. on yield and yield components of spring wheat. *J. Sci. Agric. Soc. Finl.* 55:333-334.
- Leyva, M. S. G., L. Gilchrist-Saavedra, E. Zavaleta-Mejia, and M. Khairallah. 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.
- Polley, R. W., and M. R. Thomas. 1991. Surveys of diseases of winter wheat in England and Wales, 1976, 1988. *Ann. Appl. Biol.* 119:1-20.
- Rodríguez-Pérez, J. E., J. Sahagún-Castellanos, H. E. Villaseñor-Mir, J. D. Molina-Galán, y A. Martínez-Garza. 2005. La interacción genotipo x ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo. *Agrociencia* 39:51-64.
- Royle, D. J., M. W. Shaw, and R. J. Cook. 1986. Patterns of development of *Septoria nodorum* and *S. tritici* in some winter wheat crops in Western Europe, 1981-83. *Plant Pathol.* 35: 466-476.
- SAS Institute. 1999. The Statistical Analysis System for Windows. Ver. 8. Cary, N. C. USA.
- Shaw, M. W., and D. J. Royle. 1993. Factors determining the severity of epidemics of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) on winter wheat in the UK. *Plant Pathol.* 42:882-889.
- NANA98 compared to the same locality in 1997 (NANA97). This suggests that the severity of leaf blotch is strongly influenced by the environmental conditions, as Jlibene *et al.* point out (1994).
- The impact the disease has on grain yield for the six varieties is shown in Figure 2; as leaf damage increased, grain yield diminished. The points shown with the highest yield and the lowest incidence of disease (Figure 2) corresponded to the most tolerant varieties (Temporalera M87, Batán F96, and Romoga F96), whereas their reciprocal corresponded to the susceptible varieties (Siete Cerros T66, Zacatecas VT47, and México M82).
- Leaf blotch is an aggressive disease in the rainy environments of the Highlands of México. As wheat becomes a monoculture, the yield losses will be higher and surpass the efforts of genetic improvement to increase wheat yield of rainfed farming in México. So, in order to minimize the effects of this disease it is necessary to generate varieties with higher resistance level than Batán F96 and Temporalera M87.

CONCLUSIONS

The severity of the disease tends to vary among sites. It has a direct negative effect on grain weight and yield and is of greatest impact for the most susceptible varieties. Leaf blotch may cause losses up to 44% in the yield of wheat in the region. One way of reducing the damage of the disease is sowing varieties with higher resistance level.

End of the English version—



- Van Ginkel M., and S. Rajaram. 1995. Breeding for resistance to *Septoria tritici* at CIMMYT. In: Gilchrist S. L., M. van Ginkel, A. McNab, and G. H. J. Kema (eds). *Proceedings of a Septoria tritici* Workshop. México, D. F. CIMMYT. pp: 55-61.
- Villaseñor M., H. E. 1996. Selección recurrente en una población de trigo de apareamiento aleatorio mediante el uso de androesterilidad. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Programa de Genética. Montecillo, Texcoco Edo. de México. 186 p.
- Wainshilbaum, S. J., and P. E. Lipps. 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.