



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE FITOSANIDAD

FITOPATOLOGÍA

EFFECTO DE LA RESISTENCIA Y ALTURA DE PLANTA DEL TRIGO
EN LA INCIDENCIA DE *Septoria tritici* Y SU EXPRESIÓN EN EL
RENDIMIENTO.

MARÍA ELSA RODRÍGUEZ CONTRERAS

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2008

La presente tesis titulada: Efecto de la resistencia y altura de planta del trigo en la incidencia de *Septoria tritici* y su expresión en el rendimiento realizada por la alumna María Elsa Rodríguez Contreras, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

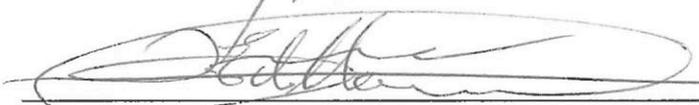
DOCTORA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
FITOPATOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

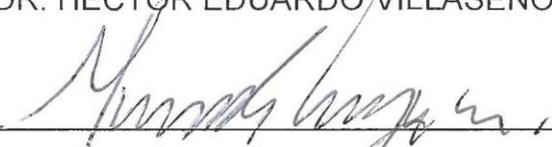
CONSEJERO


DR. JOSÉ SERGIO SANDOVAL ISLAS

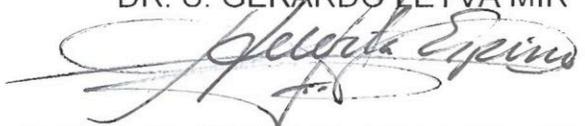
DIRECTOR


DR. HÉCTOR EDUARDO VILLASEÑOR MIR

ASESOR


DR. S. GERARDO LEYVA MIR

ASESOR


DR. JULIO HUERTA ESPINO

ASESOR


DR. HÉCTOR M. DE LOS SANTOS POSADAS

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, julio de 2008

EFEECTO DE LA RESISTENCIA Y ALTURA DE PLANTA DEL TRIGO EN LA
INCIDENCIA DE *Septoria tritici* Y SU EXPRESIÓN EN EL RENDIMIENTO.

María Elsa Rodríguez Contreras, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2008

Se evaluaron variedades con diferente nivel de resistencia a *Septoria tritici* en parcelas con control y sin control de la enfermedad en las localidades de Juchitepec, Edo. de México y Nanacamilpa, Tlaxcala. Se observó que los daños en el rendimiento de trigo que causa el tizón foliar pueden llegar a ser hasta del 50% en variedades susceptibles. Se determinaron tres grupos de variedades con base a su susceptibilidad: resistentes (Rebeca F2000) moderadamente resistentes (Triunfo F2004) y susceptibles (Gálvez M87, Salamanca S75 y Verano S91). De seis líneas altas y seis bajas evaluadas en parcelas con y sin competencia (separación entre hileras de plantas), el tizón foliar afectó más a las líneas bajas que a las altas. Parcelas con competencia mostraron mayor daño, principalmente en las líneas bajas, por lo que la susceptibilidad está influenciada por la altura de la planta. La segregación de familias F_6 derivadas de las cruces entre las variedades Rebeca (resistente), con Gálvez, Salamanca y Verano (susceptibles) sugiere que la herencia de la resistencia de la variedad Rebeca F2000 es de forma cuantitativa.

Palabras claves: Tizón foliar, pérdidas, rendimiento, variedades susceptibles, líneas altas, líneas bajas, Rebeca F2000.

EFFECT OF RESISTANCE AND HEIGHT PLANT OF WHEAT IN *Septoria tritici*
INCIDENCE AND ITS EXPRESSION IN YIELD.

María Elsa Rodríguez Contreras, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2008

Varieties with different levels of resistance to *Septoria tritici* were assessed in plots with and without disease control in the localities of Juchitepec, State of México and Nanacamilpa, Tlaxcala. It was observed that damage in wheat yield caused by leaf blotch can be up to 50% in susceptible varieties. Three groups of varieties were determined according to their susceptibility: resistant (Rebeca F2000), moderately resistant (Triunfo F2004) and susceptible (Gálvez M87, Salamanca S75 y Verano S91). Six tall and six short lines were evaluated in plots with and without competence (separation among plant rows). The leaf blotch affected more the short lines than tall ones. Plots with competence showed greater damage, mainly in short lines, thus the susceptibility is influenced by plant height. The segregation of families F_6 derived from crosses of the Rebeca (resistant) variety with the Gálvez, Salamanca and Verano (susceptibles) varieties suggests that inheritance in the Rebeca F2000 variety is quantitative.

Key words: Leaf blotch, yield, losses, susceptible varieties, tall lines, short lines, Rebeca F2000.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico durante mis estudios de Doctorado.

Al Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas especialmente al Programa de Fitosanidad, Fitopatología por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación profesional.

Al Campo Experimental Valle de México (INIFAP-CEVAMEX), por los materiales proporcionados y por las facilidades prestadas para la realización del presente trabajo.

Al personal del Programa de trigo del INIFAP-CEVAMEX por su apoyo en la conducción de las diferentes actividades de investigación, gracias Don Carlitos, gracias Don Adrián.

Esta tesis fue financiada por el Proyecto CONACYT-SAGARPA-COFUPRO No. 12163. Generación de variedades de trigo tolerantes a enfermedades, eficientes en el uso de agua con alta calidad y alto rendimiento en México.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. H. Eduardo Villaseñor Mir por el tiempo y apoyo que me proporcionó en el trabajo de campo, por su participación en la dirección para la ejecución y edición de la presente investigación.

Al Dr. J. Sergio Sandoval Islas por su orientación en el aspecto académico y por sus sugerencias para afinar el presente trabajo.

Al Dr. Gerardo Leyva Mir por su participación y su acertada revisión de esta tesis. Agradezco la confianza que ha demostrado en mi formación profesional durante mis estudios de Licenciatura, Maestría y ahora Doctorado.

Al Dr. Julio Huerta Espino por ser parte de mi consejo particular y por las sugerencias vertidas en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Héctor de Los Santos Posadas por formar parte de mi consejo particular y por sus valiosas sugerencias para la edición de esta tesis.

A René por su comprensión y por estar conmigo

A mis hijas

Mayra y Reny por ser parte de mí

A mi Padre

José Santos por su constante muestra de cariño y bendiciones

DEDICO ESPECIALMENTE ESTA TESIS A LA MEMORIA DE MI MADRE



Entre tus manos esta mi vida señor;
Entre tus manos pongo mi existir
Hay que morir para vivir,
Entre tus manos
Confío mi ser.

Si el grano de trigo no muere
Si no muere solo quedará; pero si muere,
En abundancia dará
Un fruto eterno que no morirá

NENA... ESTAS EN MI CORAZÓN

CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN GENERAL.	iii
ABSTRACT.	iv
AGRADECIMIENTOS.	v
LISTA DE CUADROS.	xi
LISTA DE FIGURAS.	xiv
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.	4
Generalidades de <i>Septoria tritici</i>	4
Características morfológicas.	4
Epidemiología.	5
Sintomatología.	7
Efecto de <i>S. tritici</i> en el rendimiento de trigo.	8
Especificidad de <i>S. tritici</i>	8
Genética de <i>S. tritici</i>	10
Literatura citada.	12
3. CAPÍTULO I. EFECTO DE <i>Septoria tritici</i> EN EL RENDIMIENTO DE TRIGO DE TEMPORAL EN AMBIENTES LLUVIOSOS DE LOS VALLES ALTOS CENTRALES DE MÉXICO.	22
RESUMEN.	22
ABSTRACT.	23
INTRODUCCIÓN.	24
MATERIALES Y MÉTODOS.	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	28
CONCLUSIONES.	38
LITERATURA CITADA.	39
4. CAPÍTULO II. PÉRDIDAS OCASIONADAS POR <i>Septoria tritici</i> EN GENOTIPOS DE TRIGO CON DIFERENTES NIVELES DE RESISTENCIA EN AMBIENTES DE TEMPORAL.	42
RESUMEN.	42

ABSTRACT.	43
INTRODUCCIÓN.	44
MATERIALES Y MÉTODOS.	45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	49
CONCLUSIONES.	64
LITERATURA CITADA.	64
5. CAPÍTULO III. RELACIÓN ALTURA DE PLANTA E INCIDENCIA DE <i>Septoria tritici</i> Y EFECTO DE LA SEPARACIÓN ENTRE PLANTAS (COMPETENCIA) EN SU DISPERSIÓN EN TRIGO DE TEMPORAL. ...	70
RESUMEN.	70
ABSTRACT.	71
INTRODUCCIÓN.	72
MATERIALES Y MÉTODOS.	74
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	76
CONCLUSIONES.	88
LITERATURA CITADA.	88
6. CAPÍTULO IV. HERENCIA DE LA RESISTENCIA DE LA VARIEDAD REBECA F2000.	92
RESUMEN.	92
ABSTRACT.	93
INTRODUCCIÓN.	94
MATERIALES Y MÉTODOS.	96
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	98
CONCLUSIONES.	101
LITERATURA CITADA.	101
7. DISCUSIÓN GENERAL.	109
LITERATURA CITADA.	114
8. CONCLUSIONES GENERALES.	120

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I.

	PÁGINA
Cuadro 1 Cuadros 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.	29
Cuadro 1 Continuación.	30
Cuadro 2 Análisis de correlación entre las variables de estudio de seis variedades de trigo evaluadas en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala durante los ciclos P-V 1997, 1998 y 1999.	32
Cuadro 2 Continuación.	33
Cuadro 3 Medias entre ambientes y diferencia porcentual (%) para las variables KGHA y PMG en Juchitepec y Nanacamilpa P-V/1997-99. Considerando promedio de dos tratamientos (con y sin fungicida) y seis variedades.	35
Cuadro 4 Medias de variedades y diferencia porcentual (%) para las variables KGHA y PMG en Juchitepec y Nanacamilpa P-V/1997-99. Considerando promedio entre dos tratamientos (con y sin fungicida) y seis ambientes.	36

CAPÍTULO II.

Cuadro 1 Genealogía y Pedigrí de las variedades de trigo evaluadas en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 2005 y 2006.	46
Cuadro 2 Cuadros medios del análisis de varianza de cinco variables registradas en cinco variedades de trigo evaluadas	

	con y sin aplicación de fungicida en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 2005 y 2006.	50
Cuadro 3	Rendimiento de grano (en kg ha ⁻¹) y efecto (en %) de <i>Septoria tritici</i> en cinco variedades con y sin fungicida en cinco sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.	53
Cuadro 4	Peso de mil granos (PMG) y efecto (en %) de <i>Septoria tritici</i> en cinco variedades con y sin fungicida en cinco sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.	55
Cuadro 5	Biomasa (en kg ha ⁻¹) y efecto (en %) de <i>Septoria tritici</i> en cinco variedades con y sin fungicida en cinco sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.	57
Cuadro 6	Nivel Máximo de infección (IMAX “en %”) de <i>Septoria tritici</i> en el tratamiento sin aplicación de fungicida de las cinco variedades evaluadas en cinco sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.	59
Cuadro 7	Área Bajo la Curva del Progreso de <i>Septoria tritici</i> (ABCPST) en el tratamiento sin aplicación de fungicida de las cinco variedades evaluadas en cinco sitios de prueba. P-V/2006 y P-V/2006.	60

CAPÍTULO III.

Cuadro 1	Cuadros medios del análisis de varianza de seis variables registradas en seis líneas de trigo bajas y seis altas evaluadas con y sin competencia en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 2005 y 2006.	78
Cuadro 2	Comparación de medias de cinco variables evaluadas en seis líneas altas y seis bajas promedio de dos tratamientos (con y sin competencia) y cuatro sitios de prueba. P-V/2005	

	y P-V/2006.	79
Cuadro 3	Comparación de medias de cinco variables evaluadas en seis líneas altas y seis bajas con y sin competencia promedio de cuatro sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.	81
Cuadro 4	Comparación de medias de las variables peso de mil granos (PMG), índice máximo de infección (IMAX) y área bajo la curva del progreso de <i>S. tritici</i> (ABCPST) en seis líneas altas con y sin competencia promedio de cuatro sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.	82
Cuadro 5	Comparación de medias de las variables peso de mil granos (PMG), índice máximo de infección (IMAX) y área bajo la curva del progreso de <i>Septoria tritici</i> (ABCPST) en seis líneas bajas con y sin competencia promedio de cuatro sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.	84

CAPÍTULO IV.

Cuadro 1	Clasificación de familias F_6 derivadas de las tres cruzas evaluadas en Juchitepec, Estado de México, durante el ciclo P-V 2005.	98
Cuadro 2	Clasificación de familias F_6 de las tres cruzas evaluadas en Nanacamilpa, Tlaxcala, durante el ciclo P-V 2005.	99
Cuadro 3	Clasificación de familias F_6 de las tres cruzas evaluadas en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante el ciclo P-V 2005.	100

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

		PÁGINA
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.	37
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.	38

CAPÍTULO II

Figura 1	Comportamiento de <i>Septoria tritici</i> Con y Sin tratamiento de fungicida en el sitio (JUCHI2) en donde se presentó con mayor intensidad.	61
Figura 2	Comportamiento de <i>Septoria tritici</i> de las variedades Rebeca F2000 (más resistente) y Salamanca S75 (más susceptible) con y sin aplicación de fungicida en los cinco sitios de prueba.	62

CAPÍTULO III

Figura 1	Nivel máximo de infección (en %) y Área Bajo la Curva de <i>S. tritici</i> para los grupos de líneas altas y bajas con los tratamientos con y sin competencia en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 2005 y 2006.	87
----------	---	----

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El tizón en trigo es una enfermedad foliar de trigos duros y harineros causado por *Mycosphaerella graminicola* (anamorfo *Septoria tritici*) (Eyal *et al.*, 1973; Palmer y Skinner, 2002). Es una de las mayores amenazas en la mayoría de las áreas de cultivo alrededor del mundo (Eyal y Levy, 1987; Halama, 1996; Hardwick *et al.*, 2001; Jorgensen *et al.*, 1999). Hasta antes de los años 60s, *M. graminicola* no se concebía como un patógeno de importancia económica en trigo. Sin embargo, debido a los cambios en las prácticas culturales y la introducción de nuevos cultivares, recientemente se ha reconocido que el tizón foliar tiene mayor impacto en el rendimiento de trigo (Hardwick *et al.*, 2001; Goodwin *et al.*, 2003) llegando a ser muy dañino y capaz de reducir el rendimiento desde un 30 a 60% (Eyal, 1981 y King *et al.*, 1983; Arraiano *et al.*, 2001a), particularmente en áreas altas y lluviosas con temperaturas de 12 a 25°C (Eyal, 1981; Cowger *et al.*, 2000 y Palmer *et al.*, 2002). Arraiano *et al.* (2006) menciona que el tizón causado por *S. tritici* es la principal enfermedad de trigo, alcanzando proporciones epidémicas en varias partes del mundo.

En epifitias graves, los granos de las variedades de trigo susceptibles se arrugan y no son adecuados para la molienda (Eyal *et al.*, 1987). Estos efectos son atribuidos a los ciclos repetidos del estado asexual del hongo, mediante el cual los picnidios liberan las picnidiosporas que son dispersadas por salpique de lluvia, las que eventualmente infectan las hojas superiores donde se lleva a cabo

la actividad fotosintética de la cual depende el rendimiento del cultivo (Thomas *et al.*, 1989; Hunter *et al.*, 1999). Se ha demostrado que el movimiento del inóculo hacia la parte superior puede ocurrir en ausencia del salpique siendo influenciado por la posición de las hojas en desarrollo con relación a las hojas infectadas (Lovell *et al.*, 1997).

Probablemente el centro de origen de *M. graminicola* es el Medio Oriente (McDonald *et al.*, 1999). Actualmente el patógeno se presenta causando enfermedad en trigo en diversas partes del mundo (Halama, 1996; Hardwick *et al.*, 2001; Jorgensen *et al.*, 1999; Loughman y Thomas, 1992; Chungu *et al.*, 2001 y Mundt *et al.*, 1999). En México se ha reportado alta incidencia y severidad de *Septoria tritici* (Eyal *et al.*, 1985). Leyva *et al.* (2006) lo reportaron principalmente en áreas de temporal del Altiplano Mexicano (estados de México, Jalisco y Michoacán), mientras que Villaseñor y Espitia (2000) lo detectaron en zonas de temporal de los Valles Altos de México tales como Juchitepec y Amecameca, Méx., Nanacamilpa y Tlaxco, Tlax. y Singuilucan, Hgo., zonas donde prevalecen condiciones de clima y suelo favorables para la producción trigo de temporal, razón por la cual se incrementa año con año la presencia del tizón foliar (Leyva *et al.*, 2006).

La resistencia a enfermedades es con frecuencia el mejor procedimiento de manejo para limitar las pérdidas de enfermedades en plantas. Por lo tanto, los productores necesitan conocer la reacción de diferentes genotipos hacia los

patógenos para decidir que variedades cultivar (Bockus *et al.*, 2007). Debido al incremento en el costo de fungicidas y la dificultad de controlar la enfermedad, los productores están incrementando su interés en variedades que combinan resistencia a *S. tritici* con alto valor agronómico (Arraiano *et al.*, 2001a). La resistencia hospedante ha llegado a ser la forma de control relativamente menos costosa para los productores y se ha reportado ser ambientalmente mas adecuada que otras estrategias de control como la aplicación de quimicos (Bockus *et al.*, 2001).

Por lo expuesto anteriormente, los objetivos planteados para el presente trabajo fueron:

1. Medir el efecto de *Septoria tritici* en el rendimiento de variedades de trigo con diferentes niveles de resistencia.
2. 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 (parcelas) para favorecer el desarrollo de la misma.
3. Determinar la genética de la resistencia a *Septoria tritici* de la variedad Rebeca F2000.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades de *Septoria tritici*

El término enfermedades por *Septoria* en trigo, se refiere a enfermedades causadas por la forma anamórfica de los hongos patógenos del género *Septoria*. La especie económicamente más importante de este grupo es *Septoria tritici* en *Triticum* spp., que causa el tizón de la hoja por *Septoria* (Cunfer, 1999). Es un Deuteromiceto que pertenece al orden Sphaeropsidales.

Desmazieres en 1842 encontró en trigo la forma asexual de *Mycosphaerella graminicola*, es decir *Septoria tritici* Rob. Ex. Desm. (Shearer y Wilcoxson, 1978). En 1902 se encontraron picnidios y picnidiosporas de *Septoria tritici* en plantas silvestres de *Triticum turgidum* var. *dicoccoides* colectadas en las colinas de Jerusalén y en 1924 en plantas de trigo duro (*T. turgidum*) colectadas en los Valles de Jordania que se mantienen en el herbario de la Universidad Hebrea de Jerusalén (Eyal, 1976; Eyal 1999). Sanderson en 1972 en Nueva Zelanda describió la forma sexual que corresponde a *M. Graminicola* (Fuckel) Schroeter (Sanderson y Hampton, 1978), es un ascomyceto que pertenece al orden de los Dothideales.

Características morfológicas

Septoria tritici, forma dentro del tejido foliar picnidios negros conspicuos con un diámetro de 60-200 μ , las picniosporas son filiformes (1 -3 x 35-98 μ), hialinas y de 3 a 15 septas (Eyal *et al.*, 1987).

M. graminicola forma un pseudotecio subepidermal globoso, café oscuro, con diámetro de 68-114 μ y ascas de 30-40 x 11-14 μ , las ascosporas son de dos células diferentes en tamaño, hialinas, elípticas y de 2.5-4 x 9-16 μ m (Wiese, 1977).

Epidemiología

Las epidemias se inician por ascosporas producidas en rastrojos de trigo y que son dispersadas por el aire. El inóculo secundario proviene de picnidiosporas que son dispersadas por el salpique de lluvia. Las epifitias ocasionadas por *Septoria* están asociadas con condiciones favorables como lluvias frecuentes en combinación con temperaturas de 12 a 25°C y una amplia distribución de cultivares de trigo susceptibles (Eyal, 1981).

Septoria tritici es esencialmente patógeno de hojas y raramente causa manchas en glumas. En estados iniciales de la enfermedad las manchas son pequeñas, globulares u oblongas de color amarillo claro. En la mayoría de los estados avanzados de infección las manchas llegan a ser lineales y casi paralelas a las nervaduras y pueden cubrir casi toda la hoja (Eyal, 1999; Gieco *et al.*, 2004). Los picnidios se encuentran embebidos en el tejido epidermal normalmente en ambos lados de la hoja (Eyal *et al.*, 1985). Bajo condiciones de alta humedad, tanto ascosporas como picnidiosporas germinan y producen hifas que penetran en las hojas a través de los estomas (Cohen, L. y Eyal. 1993).

La mayoría de las prácticas de remoción dejan desechos de trigo que podrían proveer suficiente inóculo para el cultivo siguiente. En la ausencia de una fase sexual, la única fuente aparente de inóculo primario es la presencia de picnidios viables en los desechos. Los picnidios pueden retener su viabilidad de 3 a 18 meses o más, dependiendo de las condiciones naturales (Eyal, 1981).

Hess y Shaner (1987), mencionan que el tiempo transcurrido entre la infección y la producción de picnidios depende de las condiciones ambientales como humedad, temperatura y luz, además de la variedad y el aislamiento. Mencionan también que en los trigos susceptibles existe un efecto de compensación entre humedad y temperatura. Cuando el período de humedad es breve, un aumento en la temperatura de hasta 25 °C también puede ocasionar graves daños. Altos grados de enfermedad se observan con períodos prolongados de humedad y temperaturas bajas. Shaner *et al.* (1975) señalan que bajo condiciones de campo si la temperatura es inferior a 7 °C durante dos noches consecutivas la infección puede retrasarse. Las temperaturas bajas de 4 °C también afectan la germinación de las esporas, el desarrollo del micelio, las lesiones y los picnidios, ya que prolongan el tiempo necesario para cada uno de estos procesos (Hess y Shaner, 1987).

Wainshilbaum y Lipps (1991) determinaron el porcentaje de síntomas en hoja, la densidad de picnidios en lesiones y el número de conidios por picnidio. Obtuvieron el área bajo la curva del progreso de la enfermedad e indicaron que

Septoria tritici causa niveles similares de enfermedad entre 19 y 24 °C pero muy bajos niveles a 29 °C. Además, afirman que temperaturas mas frescas de principios de primavera favorecen el desarrollo del tizón foliar.

Lovell *et al.* (1997) mencionan que el movimiento del inóculo hacia arriba puede ocurrir en ausencia del salpique de lluvia, siendo influenciado por la posición de las hojas en desarrollo con relación a las capas de hojas infectadas. Por su lado, Eyal (1981) dice que a diferencia de las hojas en cultivares altos, la proximidad de las hojas en cultivares enanos facilita el contacto de las hojas nuevas emergentes con las hojas más bajas que son infectadas por las picnidiosporas.

Síntomatología

Los síntomas en cultivares muy susceptibles se manifiestan aproximadamente diez días después de iniciado el proceso de infección mediante la aparición de lesiones cloróticas y necróticas en la hoja del hospedante. La presencia de picnidios se observa en esas lesiones de dos a tres semanas después de la infección inicial. Eyal (1971) reportó que *Septoria tritici* libera aproximadamente de $5-10 \times 10^3$ picnidiosporas de un picnidio. En *M. graminicola*, la penetración del hongo al hospedante ocurre directamente a través de los estomas sin formar un apresorio (Goodwin *et al.* 2003).

Efecto de *S. tritici* en el rendimiento de trigo

A pesar de que se conoce la existencia del estado sexual (*M. graminicola*) en varios países y muy probablemente en otras partes, la forma asexual es la que causa la mayoría de los síntomas de la enfermedad y las pérdidas en rendimiento (Eyal, *et al.*, 1987).

Bajo epidemias severas algunos cultivares susceptibles pueden sufrir pérdidas en rendimiento de 30 a 60%, resultando en el poco llenado de grano y no adecuados para la molienda (Eyal, 1981; King *et al.*, 1983; Arraiano *et al.*, 2001a). Cornish *et al.* (1990) y Zuckerman *et al.* (1997) mencionan que la enfermedad puede reducir el peso del grano y algunas veces el número de granos por espiga.

Especificidad de *S. tritici*

La mayoría de los estudios en el patosistema trigo-*Mycosphaerella graminicola* han estado relacionados con trigo y aislamientos de trigos harineros (King *et al.*, 1983; Nelson y Marshall, 1990). Brokenshire (1976) determinó que trigos tetraploides resultaron ser más resistentes a *Mycosphaerella graminicola* que especies de trigos hexaploides. A su vez, Eyal *et al.* (1985) sugiere un amplio espectro de virulencia con cierta asociación con la geografía y prácticas de manejo del trigo duro contra el trigo harinero y que el germoplasma que puede servir como diferenciales o como fuentes para generar resistencia.

Eyal *et al.* (1973) concluyeron que la interacción significativa entre cultivar x aislamiento refleja especificidad y la diferenciación ocurre también a nivel de especies. Mientras que Kema *et al.* (1996b) indicaron la existencia de variación genética para resistencia específica y factores de virulencia en hospedante y patógeno respectivamente. Medini *et al.* (2003) con el uso de ocho hospedantes diferenciales indicó la efectividad de series diferenciales para caracterizar la virulencia de *Mycosphaerella graminicola*.

Diversos estudios sugieren la existencia de especialización fisiológica en el patosistema *Septoria tritici-Triticum* spp. Investigadores como Van Ginkel y Rajaran (1995) no encontraron evidencias contundentes de la existencia de interacción aislamientos por variedad, mientras que otros como Kema *et al.* (1996a) y McCartney *et al.* (2002) reportaron que un aislamiento específico de resistencia contra *S. tritici* sigue una relación gene a gene. Por otra parte, Jlibene *et al.* (1994) sugieren que la presencia de un gene de resistencia al tizón por *S. tritici* puede ser poco efectiva debido a que se presenta una gran variabilidad genética, misma que puede ser influenciada por las condiciones ambientales.

McDonald y Martínez (1990) detectaron una gran variación genética de *S. tritici* entre aislamientos colectados en un mismo campo agrícola, respecto a esto, ellos señalan que esta gran variabilidad genética puede dar lugar a nuevos aislamientos capaces de superar la resistencia en variedades resistentes o

capaces de resistir el efecto tóxico de fungicidas. Además, durante la estación de crecimiento, por los ciclos repetidos del hongo, *Septoria tritici* no sólo se reproduce en forma clonal por picnidiosporas sino que también existe recombinación sexual abundante y por lo tanto, reproducción por ascosporas. Por lo que los posibles genes para virulencia, avirulencia y agresividad se recombinarán en un número incalculable de formas. Por lo tanto, el patógeno en el campo consiste en una mezcla muy diversa de genotipos y no de una población genéticamente uniforme o de una mezcla de unas pocas razas como en muchas especies de patógenos biotrofos (Niks y Lindhout, 2004).

Genética de *S. tritici*

Las plantas resistentes a enfermedades son un prerrequisito para la utilización exitosa de cultivos en la agricultura moderna (Ayliffe y Lagudah, 2004), por lo que la búsqueda de variedades con resistencia es de gran importancia en los programas de mejoramiento.

Inicialmente se pensaba que el patosistema trigo-*M. graminicola* había sido controlado mediante caracteres cuantitativos (Narváez y Caldwell, 1957; Rosielle y Brown, 1979; Eyal *et al.*, 1973; Camacho *et al.*, 1995; Van Ginkel y Scharen 1988; Johnson, 1992; Matus, 1993; Lee y Gough, 1984; Jlibene *et al.*, 1994; Simon y Cordo, 1998; Brown *et al.*, 2001). Posteriormente se demostró que el hospedante y el patógeno interactúan de acuerdo a la hipótesis gene por gene (Adhikari *et al.*, 2002; Adhikari *et al.*, 2003; Adhikari *et al.*, 2004abc ; Brading *et*

al., 2002; Kema *et al.*, 1996ab; Kema y Van Silfhout 1997; y Chartrain *et al.*, 2005b). Desde entonces varios genes mayores para resistencia a *Mycosphaerella graminicola* han sido identificados y mapeados a lo largo del genoma en varios cultivares de trigo. El gene *Stb1* fue localizado en el cromosoma 5BL (Adhikari *et al.*, 2004c); Los genes *Stb2* y *Stb3* fueron mapeados en los cromosomas 3BS y 6DS, respectivamente (Adhikari *et al.*, 2004b), los genes *Stb4* y *Stb5* fueron mapeados cerca del centromero del cromosoma 7DS (Adhikari *et al.*, 2004a; Arraiano *et al.*, 2001b), el gene *Stb6* fue mapeado en el cromosoma 3AS (Brading *et al.*, 2002), el *Stb7* y el *Stb12* fueron localizados en los brazos del cromosoma 4AL (McCartney *et al.*, 2003 y Chartrain *et al.*, 2005a). El gene *Stb8* fue identificado en el trigo sintético exaploide W7984 y mapeado en el brazo largo del cromosoma 7BL (Adhikari *et al.* 2003), el *Stb9* se localizó en 2BL (Chartrain *et al.*, 2005a), el gene *Stb10* en 1Dc (Chartrain *et al.*, 2005a), y el *Stb11* fue localizado en 1BS (Chartrain *et al.*, 2005b). Recientemente el gene de resistencia *Stb15* a *M. graminicola* en el cultivar Arina fue localizado en el cromosoma 6AS y confiere resistencia al aislamiento IPO88004 (Arraiano *et al.*, 2007).

LITERATURA CITADA

- Adhikari, T. B., J. M. Anderson, and S. B. Goodwin. 2003. Identification and molecular mapping of a gene in wheat conferring resistance to *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 93: 1158-1164.
- Adhikari, T., J. M. Anderson, and S. B. Goodwin. 2002. Molecular mapping of *Septoria tritici* leaf blotch resistance in wheat. *Phytopathology* 92: S2 (Abstract).
- Adhikari, T. B., J. R. Cavaletto, J. Dubcovsky, J. O. Gieco, A. R Schlatter, and S. B. Goodwin. 2004a. Molecular mapping of the *Stb4* gene for resistance to septoria tritici blotch in wheat. *Phytopathology* 94: 1198-1206.
- Adhikari, T. B., H. Wallwork, and S. B. Goodwin. 2004b. Microsatellite markers linked to the *Stb2* and *Stb3* genes for resistance to septoria tritici blotch in wheat. *Crop Sci.* 44: 1403-1411.
- Adhikari, T. B., X. Yang, J. R. Cavaletto, X. Hu, G. Buechley, H. W. Ohm, G. Shaner, and S. B. Goodwin. 2004c. Molecular mapping of *Stb1*, a potentially durable gene for resistance to septoria tritici blotch in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 109: 944-953.
- Arraiano, L. S., P. A. Brading, and J. K. M. Brown. 2001a. A detached seedling leaf technique to study resistance to *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*) in wheat. *Plant Pathol.* 50: 339-346.
- Arraiano, L. S., A. J. Worland, C. Ellerbrook, and J.K.M. Brown. 2001b. Chromosomal location of a gene for resistance to septoria tritici blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in the hexaploid wheat "Synthetic 6x". *Theor. Appl. Genet.* 103: 758-764.

- Arraiano, L. S., L. Chartrain, E. Bossolini, H. N. Slatter, B. Keller, and J. K. M. Brown. 2007. A gene in European wheat cultivars for resistance to an African isolate of *Mycosphaerella graminicola*. *Plant Pathol.* 56: 73-78.
- Arraiano, L. S., P. A. Brading, F. Dedryver, and J. K. M. Brown. 2006. Resistance of wheat to septoria tritici blotch (*Mycosphaerella graminicola*) and associations with plant ideotype and 1BL-1RS translocación. *Plant Pathol.* 55: 54-61.
- Ayliffe, M. A., And E. S. Lagudah. 2004. Molecular genetics of disease resistance in cereals. *Annals of Botany.* 94: 765-773.
- Brading, P. P., E. C. Verstappen, G. H. J. Kema, and J. K. M. Brown. 2002. A gene-for-gene relationship between wheat and *Mycosphaerella graminicola*, the Septoria tritici blotch pathogen. *Phytopathology* 92: 439-445.
- Brokenshire, T. 1976. The reaction of wheat genotypes to *Septoria tritici*. *Ann. Appl. Biol.* 82: 415-423.
- Brown, J. K. M., G. H. J. Kema, H. R. Forrer, E. C. P. 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.
- Bockus, W. W., J. A. Appel, R. L. Bowden, A. K. Fritz, B.S Gill, T. J. Martin, R. G. Sears, D. L. Seifers, G. L. Brown-Guedira, and M. G. Eversmeyer. 2001. Success stories: Breeding for wheat disease resistance in Kansas. *Plant Dis.* 85 (5): 453-461.

- Bockus, W. W., Z. Su, K. A. Garrett, B. S. Gill, J. P. Stack, A. K. Fritz, K. L. Roozeboom, and T. J. Martin. 2007. Number of experiments needed to determine wheat disease phenotypes for four wheat diseases. *Plant Dis.* 91: 103-108.
- Camacho-Casas, M. A., W. E. Kronstad and A. L. Scharen. 1995. *Septoria tritici* resistance and associations with agronomic traits in a wheat cross. *Crop Sci.* 35: 971-976.
- Cohen, L., and Z. Eyal. 1993. The histology of processes associated with the infection of resistant and susceptible wheat cultivars with *Septoria tritici*. *Plant Pathol.* 42: 737-743.
- Cornish, P. S., G. R. Baker, and G. M Murray 1990. Physiological responses of wheat (*Triticum aestivum*) to infection with *Mycosphaerella graminicola* causing *Septoria tritici* blotch. *Australian Journal of Agricultural Research* 41: 317-327.
- Cowger, C., M. E. Hoffer, and C. C. Mundt. 2000. Specific adaptation by *Mycosphaerella graminicola* to a resistant wheat cultivar. *Plant Pathol.* 49: 445-451.
- Cunfer, B. M., and P. P. Ueng. 1999. Taxonomy and identification of *Septoria* and *Stagonospora* species on small grain cereals. *Ann. Rev. Phytopathol.* 37: 267-284.
- Chartrain, L., P. Joaquim, S. T. Berry, L. S. Arraiano, F. Azanza, and J. K. M. Brown. (2005a). Genetics of resistance to *septoria tritici* blotch in the Portuguese wheat breeding line TE 9111. *Theor. Appl. Genet.* 110: 1138-1144.

- Chartrain, L., S. T. Berry, and J. K. M. Brown. 2005b. Resistance of the wheat line Kavkaz-K4500 L. 6. A. 4 to septoria tritici blotch controlled by isolate-specific resistance genes. *Phytopathology* 95: 664-71.
- Chungu, C., J. Gilbert, and F. Townley-Smith. 2001. Septoria tritici blotch development as affected by temperature, duration of leaf wetness, inoculum concentration, and host. *Plant Dis.* 85 (4): 430-435.
- Eyal, Z. 1981. Integrated control of *Septoria* diseases of wheat. *Plant Dis.* 65 (9): 763-768.
- Eyal, Z. 1976. Research on septoria leaf blotch of wheat caused by *Septoria tritici* in Israel. *In: Cunfer, B. M., And L. R. Nelson (eds). Proceedings of the Septoria diseases of wheat workshop. The University of Georgia Experiment Station Special Publication No. 4 pp: 49-53.*
- Eyal, Z. 1999. *Septoria* and *Stagonospora* diseases of cereals: A comparative perspective. *In: Lucas J. A., P. Bowyer, and H. M. Anderson (eds). Septoria on cereals. A study of pathosystems. IACR – Long Ashton Research Station Bristol, UK. CABI Publishing. Wallingford. pp: 1-25.*
- Eyal, Z. 1971. The kinetics of pycnidiospore liberation in *Septoria tritici*. *Can. J. Bot.* 49: 1095-1099.
- Eyal, Z., A. L. Scharen, J. M. Prescott, and M. van Ginkel. 1987. Enfermedades del trigo causadas por *Septoria*: Conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. CIMMYT. México, D. F. 52 p.
- Eyal, Z., A. L. Scharen, M. D. Huffman and J. M. Prescott. 1985. Global insights into virulence frequencies of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 75: 1456-1462.

- Eyal, Z., Z. Amiri, and I Wahl. 1973. Physiologic specialization of *Septoria tritici*. *Phytopathology* 63: 1087-1091.
- Eyal, Z., and E. Levy, 1987. Variations in pathogenicity patterns of *Mycosphaerella graminicola* within *Triticum* spp. in Israel. *Euphytica* 36: 237-250.
- Gieco, J. O., J. Dubcovsky, and L. E. Aranha-Camargo. 2004. Interaction between resistance to *Septoria tritici* and phenological stages in wheat. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 61 (4): 422-426.
- Goodwin, S. B., B. A. McDonald, and G. H. J. Kema. 2003. The *Mycosphaerella* sequencing initiative. *In*: Kema G. H. J., M. van Ginkel, and M. Harrabi (eds). *Global Insights into the Septoria and Stagonospora Diseases of Cereals: Proceedings of the Sixth International Symposium on Septoria and Stagonospora Diseases of Cereals, 2003*. Tunis, Tunisia: pp: 149-151.
- Halama, P. 1996. The occurrence of *Mycosphaerella graminicola*, teleomorph of *Septoria tritici* in France. *Plant Pathol.* 45: 135-138.
- Hardwick, N. V., D. R. Jones, and J. E. Slough. 2001. Factors affecting diseases of winter wheat in England and Wales, 1989-98. *Plant Pathol.* 50: 453-462.
- Hess, D. E., and G. Shaner. 1987. Effect of moisture and temperature on development of *Septoria tritici* blotch in wheat. *Phytopathology* 77: 215-219.
- Hunter, T., R. R. Coker, and D. J. Royle. 1999. The teleomorph stage, *Mycosphaerella graminicola*, in epidemics of septoria tritici blotch on winter wheat in the UK. *Plant Pathol.* 48: 51-57.

- Jlibene, M., J. P. Gustafson and S. Rajaram. 1994. Inheritance of resistance to *Mycosphaerella graminicola* in hexaploid wheat. *Plant Breed.* 112: 301-310.
- Johnson, R. 1992. Past, present and future opportunities in breeding for disease resistance, with examples from wheat. *Euphytica* 63: 3-22.
- Jorgensen, L. N., B. M. Secherand, and H. Hossy. 1999. Decision support systems featuring *Septoria* management. *In*: Lucas J. A., P. Bowyer, and H. M. Anderson (eds). *Septoria* on cereals. A study of pathosystems. IACR – Long Ashton Research Station Bristol, UK. CABI. Publishing, Wallingford. pp: 251-262.
- Kema, G. H. J., J. G. Annone. R. Sayoud, C. H. Van Silfhout, M. Van Ginkel, and J. De Bree. 1996a. Genetic variation for virulence and resistance in the wheat-*Mycosphaerella graminicola* pathosystem: I. Interactions between pathogen isolates and host cultivars. *Phytopathology* 86: 200-212.
- Kema, G. H. J., R. Sayoud, J. G. Annone, and C. H. Van Silfhout. 1996b. Genetic variation for virulence and resistance in the wheat-*Mycosphaerella graminicola* pathosystem: II. Analysis of interaction between pathogen isolates and host cultivars. *Phytopathology* 86: 213-220.
- Kema, G. H. J., and C. H. Van Silfhout. 1997. Genetic variation for virulence and resistance in the wheat-*Mycosphaerella graminicola* pathosystem. III. Comparative seedling and adult plant experiments. *Phytopathology* 87: 266-272.
- King, J. E., R. J. Cook, and S. C. Melville. 1983. A review of *Septoria* diseases of wheat and barley. *Ann Appl. Biol.* 103: 345-373.

- Lee, T. S., and F. J. Gough. 1984. Inheritance of *Septoria* leaf blotch (*S. tritici*) and Pyrenophora tan spot (*P. tritici repentis*) resistance in *Triticum aestivum* cv. Carifem 12. *Plant Dis.* 68: 848-851.
- Leyva-Mir, S. G., L. Gilchrist-Saavedra, E. Zavaleta-Mejía, 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.
- Loughman, R., and G. J. Thomas. 1992. Fungicide and cultivar control of *Septoria* diseases of wheat. *Crop Protection* 11: 349-354.
- Lovell, D. J., S. R. Parker, T. Hunter, D. J. Royle, and R. R. Coker. 1997. Influence of crop growth on the risk of epidemics by *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) in winter wheat. *Plant Pathol.* 46: 126-138.
- Matus, T. I. 1993. Genética de la resistencia a *Septoria tritici* en trigos harineros. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 84 p.
- Medini, M., S. Hamza, M. Harrabi, and L. Lamari. 2003. Virulence of *Mycosphaerella graminicola* from Tunisia, Algeria and Canada. *In*: Kema G. H. J., M. van Ginkel y M. Harrabi. Global insights into the *Septoria* and *Stagonospora* diseases of cereals. Proceedings of the 6th International Symposium on *Septoria* and *Stagonospora*. Diseases of cereals. December 8-12, 2003 Tunis, Tunisia. pp: 41-44.
- McCartney, C.A., A. L. Brule-Babel and L. Lamari. 2002. Inheritance of race-specific resistance to *Mycosphaerella graminicola* in wheat. *Phytopathology* 92: 138-144.

- McCartney, C. A., A. L. Brule-Babel, L. Lamari, and D. J. Somers. 2003. Chromosomal location of a race-specific resistance gene to *Mycosphaerella graminicola* in the spring wheat *ST6*. *Theor. Appl Genet.* 107 (7): 1181-1186.
- McDonald, B. A., and J. P. Martínez. 1990. DNA restriction fragment length polymorphisms among *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*) isolates collected from a single wheat field. *Phytopathology.* 80: 1368-1373.
- McDonald, B. A., J. Zhan, O. Yarden, K. Hogan, J. Garton, and R. E. Pettway. 1999. The population genetics of *Mycosphaerella graminicola* and *Stagonospora nodorum*. In: Lucas J. A., P. Bowyer, and H. M. Anderson (eds). *Septoria on cereals. A study of pathosystems.* IACR – Long Ashton Research Station Bristol, UK. CABI. Publishing, Wallingford. pp: 44-68.
- Mundt, C. C., M. E. Hoffer, H. U. Ahmed, S. M. Coakley, J. A. DiLeone, and C. Cowger. 1999. Population genetics and host resistance. In: Lucas J. A., P. Bowyer, and H. M. Anderson (eds). *Septoria on cereals. A study of pathosystems.* IACR – Long Ashton Research Station Bristol, UK. CABI. Publishing, Wallingford. pp: 115-130.
- Narvaez, J., and, R. M. Caldwell. 1957. Inheritance of resistance to leaf blotch of wheat caused by *Septoria tritici*. *Phytopathology* 47: 529-530. (Abstract).
- Nelson, L. R., and, D. Marshall, 1990. Breeding wheat for resistance to *Septoria nodorum* and *Septoria tritici*. *Advances in Agronomy.* 44: 257-277.
- Niks, R. E., and, W. H. Lindhout. 2004. Curso sobre mejoramiento para resistencia durable a patógenos especializados. 3^a. Ed. Wageningen Agricultural University. The Netherlands. 212 p.

- Palmer, C. L., and W. Skinner. 2002. *Mycosphaerella graminicola*: latent infection, crop devastation and genomics. *Molec. Plant Pathol.* 3 (2): 63-70.
- Rosielle, A. A., and A. G. P. Brown. 1979. Inheritance, heritability and breeding behavior of three sources of resistance to *Septoria tritici* in wheat. *Euphytica* 28: 385-392.
- Sanderson, F. R., and J. G. Hampton. 1978. Role of the perfect states in the epidemiology of the common *Septoria* diseases of wheat. *N. Z. Journal Agric. Res.* 21: 277-278.
- Shaner, G., R. E. Finney, and L. Patterson. 1975. Expression and effectiveness of resistance in wheat to *Septoria* leaf blotch. *Phytopathology* 65: 761-766.
- Shearer, B. L., and R. D. Wilcoxson. 1978. Variation in the size of macropycnidiospores and pycnidia of *Septoria tritici* on wheat. *Can. J. Bot.* 56: 742-746.
- Simon, M. R., and C. A. Cordo. 1998. Diallel analysis of four resistance components to *Septoria tritici* in six crosses of wheat (*Triticum aestivum*). *Plant breed.* 117: 123-126.
- Thomas, M. R. Cook, R. J., and King, J. E. 1989. Factors affecting the development of *Septoria tritici* in winter wheat and its effect on yield. *Plant pathol.* 38:246-257.
- Van Ginkel, M., and A. L. Scharen. 1988. Host-pathogen relationships of wheat and *Septoria tritici*. *Phytopathology* 78: 762-766.
- 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. y E. Espitia-Rangel. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: Problemática y condiciones de producción. *In: Villaseñor M., H. E. y E. Espitia-Rangel (eds.) El trigo de temporal en México.* SAGAR, INIFAP, CIR-CENTRO y CEVAMEX. México. pp: 85-98.
- 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.
- Wiese, V. M. 1977. Compendium of wheat diseases. American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA 106p.
- Zuckerman, E., A. Eshel, and Z. Eyal. 1997. Physiological aspects related to tolerance of spring wheat cultivars to *Septoria tritici* blotch. *Phytopathology.* 87: 60-65.

3. CAPÍTULO I

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

RESUMEN

El tizón foliar causado por *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) es una enfermedad que causa daños en 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 control y sin control de la enfermedad en las localidades de Juchitepec, Edo. de México y Nanacamilpa, Tlaxcala durante los veranos de 1997 a 1999. Se utilizó un diseño experimental de 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 en el rendimiento de grano llegó a 44%. La manera más efectiva y rentable para su control es mediante la siembra de variedades con mayor nivel de resistencia.

Palabras claves: Tizón foliar, rendimiento de grano, variedades susceptibles, daño máximo de área foliar.

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

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 during the summers of 1997 to 1999. The experimental design was completed 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.

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 agronómicas en áreas donde otros cultivos, como el maíz tienen limitantes por precipitación o estación corta de 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 *et al.*, 1993), ocasionando pérdidas de rendimiento de hasta 60% (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 lo que 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 msnm) 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 que se siembra. En años inductivos al desarrollo de la enfermedad los daños pueden alcanzar hasta un 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 donde, sin embargo, el tizón foliar es una de las principales enfermedades, sobre todo donde la siembra se ha convertido en monocultivo (Eyal, 1981), razón por la cual se incrementa año con año su presencia en siembras de temporal (Leyva *et al.*, 2006). Por la importancia que representa 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 bajo temporal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó durante 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 y precipitación anual de 853 mm) y Nanacamilpa, Tlaxcala (NANA) (2720 m, 19° 29' N, 98° 32' O y precipitación anual de 841 mm). Para determinar el efecto del tizón foliar se evaluó el cultivo con y sin control de la enfermedad en seis variedades. Se utilizó una serie de experimentos en un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones con un arreglo de tratamientos de parcelas divididas, donde la parcela grande correspondió a los tratamientos: tratamiento 1 con control de la enfermedad, que se logró con dos aplicaciones del fungicida Sportak (Procloraz, 1.0 L ha⁻¹), la primera durante floración y la segunda 20 - 25 días después; tratamiento 2 sin control donde artificialmente se indujo una epifitía, 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, variedades que no se han evaluado por su reacción a *S. tritici* y son las que se siembran en los Valles Altos. El experimento se manejó usando prácticas similares a las usadas por los agricultores comerciales de la región: una sola aplicación de fertilizante (80-40-00) antes del amacollamiento. No se aplicó herbicida ni ningún otro producto químico para evitar algún efecto de los mismos sobre la expresión del tizón foliar, realizando las labores agronómicas de forma manual.

El tamaño de la parcela experimental fue 3.6 m², que correspondió a cuatro surcos con separación de 0.30 m y una longitud de 3.0 m. Se evaluaron dos tipos de variables, directas e indirectas. Las primeras se tomaron de las parcelas experimentales y correspondieron a 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 % (en escala de 0 a 100) evaluando todo el dosel de la planta en la etapa de grano masoso que es 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 y correspondieron a 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 generar: $BIOM = ((RGP + RE25T)/PU/IC)$, $IC = RE25T/RB25T$, $EPMC = BIOM/RB25T/25$, $GPMC = RGP/(\text{peso de 1000 granos}/1000)$, $GPE = GPMC/EPMC$ y $GPEE = GPE/ESESP$; donde RB25T = Rendimiento biológico (peso total de la parte aérea) de 25 tallos en gramos, RE25T = Rendimiento económico (peso del grano) de 25 tallos en gramos, RGP = Rendimiento de grano de la parcela en gramos, PU = Parcela útil y ESESP = Número de espiguillas por espiga (Villaseñor, 1996).

Se realizaron análisis de varianza y de correlación utilizando los procedimientos GLM y CORR del 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 se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en casi todas las variables; para DF, IC, GPE y GPEE fueron significativas ($p \leq 0.05$), mientras que AP no fue significativa ($p > 0.05$). Entre variedades se obtuvieron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en todas las variables evaluadas. En las interacciones 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.

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.

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	0.0017	2888
TRAT	1	12.5*	606.68**	2.92NS	61685501**	0.0292*	126119**
AMB*TRAT	5	2.3NS	5.90NS	8.65NS	1175160**	0.0044NS	7752NS
REP*TRAT(AMB)	18	1.9	3	25.9	143728	0.0017	5058
VAR	5	384.2**	384.25**	850.33**	15522431**	0.0146**	53414**
AMB*VAR	25	14.9**	15.72**	42.18NS	745587**	0.0049**	6421NS
TRAT*VAR	5	5.9**	52.33**	17.15NS	301929NS	0.0032*	8377NS
AMB*TRAT*VAR	25	3.0**	5.91**	19.47NS	244336NS	0.0010NS	5015NS
Error	180	1.51	3.03	31.53	205736	0.0010	4125
Media		65.6	127.8	85.4	3514	0.32	304
CV (%)		1.9	1.4	6.7	13	10	21

NS = No significativo; * Significativo ($p \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); FV = Fuente de variación; AMB = Ambiente; REP = Repetición; 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 por metro cuadrado; PMG = Peso de mil granos (g); GPMC = Granos por metro cuadrado; GPE = Granos por espiga; GPEE = Granos por espiguilla; BIOM = Biomasa (kg ha^{-1}); DMAF= Daño máximo de área foliar (%).

Cuadro 1. Continuación

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	33.0NS	2155900NS	103.19NS	0.395NS	9827917NS	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*	25.83NS	0.179NS	663167NS	2012**
AMB*TRAT*VAR	25	11.5NS	3178034NS	29NS	0.151NS	3168193NS	93**
Error	180	1.5	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; * Significativo ($p \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); FV = Fuente de variación; AMB = Ambiente; REP = Repetición; 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 por metro cuadrado; PMG = Peso de mil granos (g); GPMC = Granos por metro cuadrado; GPE = Granos por espiga; GPEE = Granos por espiguilla; BIOM = Biomasa (kg ha^{-1}); DMAF= Daño máximo de área foliar (%).

En el Cuadro 2 se presenta el análisis de correlación entre las diferentes variables en los tratamientos con y sin aplicación de fungicida y las siguientes variables se utilizaron para explicar las pérdidas ocasionadas por *S. tritici*: KGHA que es el principal indicador de la productividad y que se asoció significativamente con IC, EPMC, GPMC y BIOM; PMG que se asoció con DF e IC, pero sobretodo 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 utilizando 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, de tal manera que 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).

Cuadro 2. Análisis de correlación entre las variables de estudio de seis variedades de trigo evaluadas en Juchitepec Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala durante los ciclos P-V 1997, 1998 y 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	0.22NS	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

NS = No significativo; * Significativo ($p \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); 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 por metro cuadrado; PMG = Peso de mil granos (g); GPMC = Granos por metro cuadrado; 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.

Cuadro 2. Continuación

VARIABLE	TRAT	DM	AP	KGHA	IC	EPMC	PMG	GPMC	GPE	GPEE	BIOM	DMAF
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; * Significativo ($p \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); 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 por metro cuadrado; PMG = Peso de mil granos (g); GPMC = Granos por metro cuadrado; 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.

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 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 de cada uno. La pérdida en el rendimiento de grano varió entre ambientes de 16% (JUCH98) a 30% (JUCH97); mientras que en peso de mil granos el rango 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 temporaleras 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 menciona Arraiano *et al.* (2001).

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

AMBIENTES	KGHA			PMG		
	CF	SF	%	CF	SF	%
JUCH97	4091c	2860c	-30	33b	29cd	-12
JUCH98	3247d	2736c	-16	43a	42a	-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 fungicida; SF = Sin fungicida.

En el Cuadro 4 se presentan las medias para las variedades, en el que se aprecia diferencia en las variables KGHA y PMG. En las variedades México M82 y Temporalera M87 el efecto de la enfermedad sobre el peso de mil granos fue de hasta un 13% de decremento, mientras que en Batán F96 no se presentaron pérdidas, Con relación al rendimiento, las pérdidas en promedio de los seis ambientes fueron del 16%, en la variedad más resistente (Batán F96), del 36% en la variedad más susceptible (Siete Cerros T66), sin embargo, las pérdidas máximas que ocasionó el tizón foliar fueron del 44% para Siete Cerros T66 en NANA98. Se puede apreciar que en cuanto al rendimiento se diferencian dos grupos de variedades; Siete Cerros T66, Zacatecas VT74 y México M82 forman el grupo de baja productividad, y Temporalera M87, Batán F96 y Romoga F96 el de alta productividad; esta agrupación se hace aún 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, información que confirma lo indicado por Van Ginkel y Rajaram (1995), quienes mencionan que a través de la siembra de variedades resistentes y de alto rendimiento se puede reducir el efecto del tizón foliar del trigo, y además que es un método más efectivo y resulta más rentable en la producción, ya que el uso de fungicidas incrementa su costo (Brown *et al.*, 2001).

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

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

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 fungicida; SF = Sin fungicida.

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, donde se observa que independientemente de la localidad o el año, a medida que se intensificó el daño foliar se redujo la producción, desde luego, el efecto sobre el rendimiento en algunas situaciones fue más severo, como en NANA98, que en otras, como esa misma localidad pero en 1997 (NANA97), información

que indica que la severidad del tizón foliar está fuertemente influenciadas por las condiciones ambientales, tal y como lo señala Jlibene *et al.* (1994).

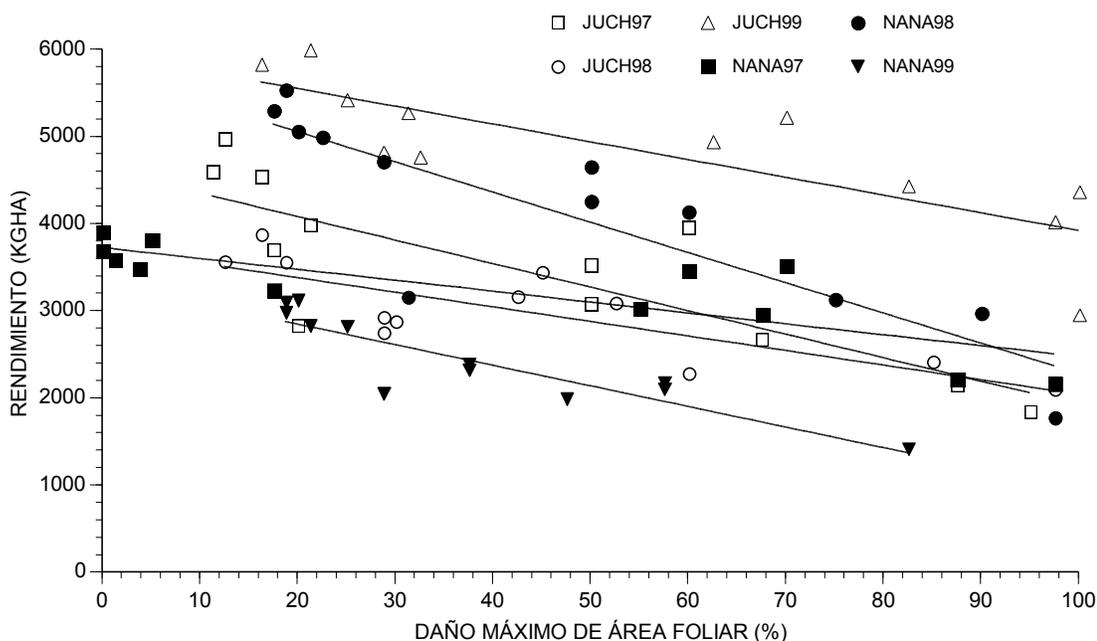


Figura 1. Relación entre el rendimiento y daño del área foliar para dos localidades y tres ciclos de producción (ambientes), promedio de dos tratamientos y seis variedades de temporal. P-V/1997-99.

En la Figura 2 se presenta el efecto que causa la enfermedad sobre el rendimiento de grano para las seis variedades. También se observa que a medida que se incrementó el daño foliar, se redujo el rendimiento de grano. Los puntos graficados con mayor rendimiento y menor incidencia de la enfermedad 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 que se presenta agresivamente en los ambientes lluviosos de los Valles Altos de México y a medida que el trigo se convierta en monocultivo, las pérdidas en el rendimiento serán mayores y superarán en mucho los esfuerzos del mejoramiento genético para incrementar los rendimientos del trigo del temporal en México, de tal manera que para minimizar los efectos de esta enfermedad es necesario que se generen variedades con mayor nivel de resistencia que Batán F96 y Temporalera M87.

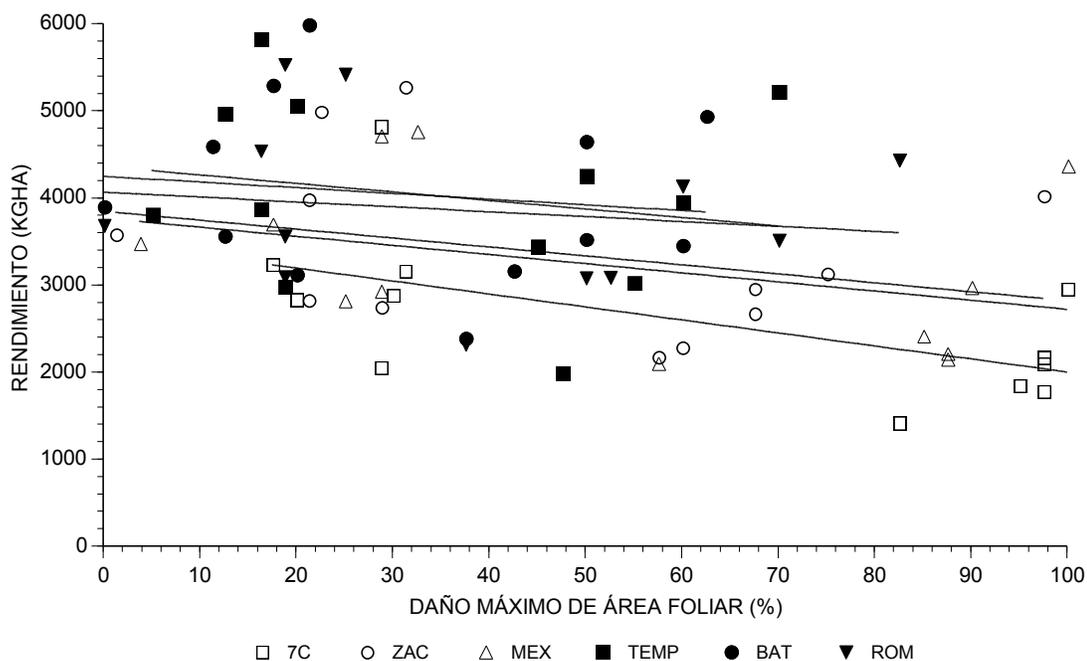


Figura 2. Relación entre el rendimiento y el daño del área foliar para seis variedades, promedio de dos tratamientos, dos localidades y tres ciclos de producción (ambientes) de temporal. P-V/1997-99.

CONCLUSIONES

La severidad de la enfermedad tiende a variar entre sitios. Su efecto directo repercute negativamente sobre el peso y rendimiento de grano y es de mayor

magnitud a medida que las variedades son más susceptibles. El tizón foliar puede causar pérdidas en el rendimiento del trigo cultivado en la región de hasta el 44%. Una manera de reducir el daño de la enfermedad es con la siembra de variedades con mayor nivel de resistencia.

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., y 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.) Conferencia regional sobre septoriosis 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 Breed. 112: 301-310.*
- Karjalainen, R., Laitinen, A., and T. Juuti. 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-Mejía, 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., D. J. Royle, and D. Shtienberg. 1993. Factors determining the severity of epidemics of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) on winter wheat in the UK. *Plant Pathol.* 42: 882-889.
- 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. 186p.
- 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.

4. CAPÍTULO II

PÉRDIDAS OCASIONADAS POR *Septoria tritici* EN GENOTIPOS DE TRIGO CON DIFERENTES NIVELES DE RESISTENCIA EN AMBIENTES DE TEMPORAL.

RESUMEN

El tizón foliar es una enfermedad de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) y trigos duros (*T. turgidum* var. *durum*) causado por *Mycosphaerella graminicola* (anamorfo *Septoria tritici*), el cual provoca pérdidas en rendimiento. En México se ha reportado alta incidencia y severidad en áreas de temporal de los Valles Altos Centrales de México. Para determinar las pérdidas ocasionadas por *Septoria tritici* y el nivel de resistencia de genotipos de trigo se evaluaron cinco variedades bajo dos tratamientos, con control y sin control de la enfermedad, en las localidades de Juchitepec, Edo. de México y Nanacamilpa, Tlaxcala durante los veranos 2005 y 2006. El diseño experimental empleado fue bloques completos al azar con arreglo de tratamientos de parcelas divididas. Los daños en el rendimiento que causa el tizón foliar pueden llegar a ser hasta del 50% en variedades susceptibles. Se determinaron tres grupos de variedades con base a su nivel de resistencia.

Palabras clave: Tizón foliar, *Septoria tritici*, daños, rendimiento, variedades susceptibles

LOSSES CAUSED BY *Septoria tritici* IN WHEAT GENOTYPES WITH
DIFERENTS LEVELS OF RESISTANCE IN RAINFED ENVIRONMENTS

ABSTRACT

Leaf blotch is a disease of bread (*Triticum aestivum* L.) and durum wheats (*T. turgidum* var. *durum*) caused by *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*), which inflicts yield losses. In México a high incidence and severity has been reported in the rainfed Central Highlands areas. In order to determine the losses caused by *Septoria tritici* and the resistance level of wheat genotypes five varieties were assessed under two treatments, with control and without control of this disease, in the localities of Juchitepec, State of México and Nanacamilpa, Tlaxcala during the summers of 2005 and 2006. The experimental design used was a completed randomized blocks with an arrangement of split plot treatments. Yield wheat damage caused by leaf blotch can be up to 50% in susceptible varieties. Three groups of varieties were determined considering their resistance level.

Key words: Leaf blotch, *Septoria tritici*, damages, yield, susceptible varieties.

INTRODUCCIÓN

El tizón foliar es una enfermedad de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) y trigos duros (*T. turgidum* var. *durum*) causado por *Mycosphaerella graminicola* (anamorfo *Septoria tritici*), el cual provoca pérdidas de hasta el 60%, (Arraiano *et al.* 2001a) en el cultivo, en áreas altas y lluviosas con temperaturas de 12 a 25°C (Chungu, *et al.*, 2001; Cowger *et al.*, 2000; Eyal, 1981). En México se ha reportado alta incidencia y severidad de *Septoria tritici* (Eyal *et al.*, 1985). Leyva *et al.* (2006) lo reportaron en áreas de temporal del Altiplano Mexicano (estados de México, Jalisco y Michoacán), mientras que Villaseñor y Espitia (2000a) lo detectaron en las zonas de temporal lluvioso de los Valles Altos de México tales como Juchitepec y Amecameca, Méx., Nanacamilpa y Tlaxco, Tlax. y Singuilucan, Hgo. En esta zona prevalecen condiciones favorables de clima y suelo para lograr altos rendimientos en trigo de temporal, razón por la que el monocultivo de este cereal ha incrementado año con año aún con la presencia del tizón foliar (Leyva *et al.*, 2006).

El uso de variedades resistentes a enfermedades es importante en los cultivos de la agricultura moderna (Ayliffe y Lagudah, 2004). Además, su empleo es el método más apropiado en términos de estabilidad económica e impacto ambiental (Gieco, *et al.* 2004; Tyryshkin y Tyryshkina, 2003), de manera que el mejoramiento para resistencia ha sido la estrategia más utilizada para el control de las enfermedades en trigo, dentro de las cuales *Septoria tritici* no ha sido la excepción (Nelson y Marshall, 1990). El primer paso en el mejoramiento es la

identificación de nuevos donantes para resistencia, tales como genotipos que presenten alto nivel de expresión de la característica y que sea fácilmente transferible (Tyryshkin y Tyryshkina, 2003). Debido a que el tizón foliar es una de las mayores amenazas en la mayoría de las áreas lluviosas donde se cultiva trigo alrededor del mundo (Eyal y Levy, 1987; Halama, 1996; Hardwick *et al.*, 2001; Jorgensen *et al.*, 1999) y en México (Leyva *et al.*, 2006), y que el control químico no es la mejor alternativa para minimizar los daños, por lo que es necesario tener conocimiento de la reacción de diferentes genotipos hacia esta enfermedad para decidir que variedades sembrar (Bockus *et al.*, 2007) y cuáles utilizar como fuente de resistencia en el mejoramiento genético (Rajaram, 1994; Arraiano *et al.*, 2001b), de manera que el objetivo del presente trabajo fue medir el efecto de *Septoria tritici* en el rendimiento de cinco variedades de trigo sembradas en los Valles Altos de México y determinar su nivel de resistencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se utilizaron las variedades de trigo Rebeca F2000, Triunfo F2004, Salamanca S75, Gálvez M87 y Verano S91 (Cuadro 1) recomendadas para siembras de temporal y que han mostrado diferente grado de resistencia a *S. tritici* (Villaseñor, 2005)¹.

La siembra se realizó durante los ciclos de cultivo Primavera-Verano 2005 y 2006 en las localidades de Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala. Se establecieron cinco experimentos, tres en Juchitepec (parte alta JUCHI1 “P-V/2005” y JUCHI2 “P-V/2006” y parte baja JUCHI3 “P-V/2006”) que

¹ Informe interno anual del programa nacional de trigo del INIFAP.

se ubica a 2590 msnm, 19° 05´ N y 98° 52´ O y tiene una precipitación anual de 853 mm, y dos en Nanacamilpa (NANA1 “P-V/2005” y NANA2 “P-V/2006”) que se ubica a 2720 msnm, 19° 29´ N y 98° 32´ O, y tiene una precipitación anual de 841 mm.

Cuadro 1. Genealogía y Pedigrí de las variedades de trigo evaluadas en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 2005 y 2006.

VARIETADES	GENEALOGÍA
REBECA F2000	PFAU/SERI//BOBWHITE CM85295-0101TOPY-2M-0Y-0M-1Y-0M-(1-50)C-032R-0C*
TRIUNFO F2004	ROMOGA/NORM TC950319-S-22C-0R-0C-0R-1C-0R**
SALAMANCA S75	CNO/PJ62//CNO/7C II26265-22Y-300M-301Y-2M-501Y-500M-0Y-0MEX***
GÁLVEZ M87	BB/GLL//CARP/3/PVN CM33483-C-7M-1Y-0M-5B-0Y**
VERANO S91	BB/CNO//JYCO/3IN/TGLR/4/VCM/SON//CNO79**** TC-820007-07C-05-08C-7R-0C

*Villaseñor *et al.*, 2004; **Villaseñor y Espitia, 2000b; *** Skovmand *et al.* 1997; ****Villaseñor y Moreno, 1998

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones con un arreglo de tratamientos de parcelas divididas (Martínez, 2005); los tratamientos con y sin control de *S. tritici* fueron las parcelas principales y las variedades las sub-parcelas. El tamaño de la sub-parcela fue 3.6 m², que correspondió a cuatro surcos con separación de 0.30 m y 3.0 m de longitud. En el primer tratamiento se realizaron dos aplicaciones del fungicida

Sportak (Procloraz, 1.0 L ha⁻¹), la primera durante formación de grano y la segunda 30 días después. En el segundo tratamiento no se realizó control de la enfermedad, y en éste artificialmente se indujo una epifitía durante el estadio 45 cuando se presentó el embuche (Zadoks, *et al.*, 1974) Las plantas se inocularon mediante la aspersion de una suspensión aproximada de 10⁷ picnidiosporas ml⁻¹ de agua, a la que se agregó Tween 20 como surfactante (Wainshilbaum y Lipps, 1991) con una bomba de ultrabajo volumen. Se aplicó una dosis de fertilizante antes del amacollamiento (80-40-00) y el control de malezas se realizó de forma manual para no confundir los efectos que pudiera tener la aplicación de herbicidas con los de la enfermedad. Los parámetros evaluados fueron rendimiento de grano obtenido de cada parcela en g m⁻² y transformado a kg ha⁻¹ (KG/HA) y nivel máximo de infección (área con necrosis por la presencia de picnidios) en % bajo una escala de 0 a 100 (IMAX). Se calculó además el área bajo la curva del progreso de *S. tritici* (ABCPST) con los datos del porcentaje de infección medido en diferentes fechas durante el desarrollo del cultivo.

Se realizó un muestreo al azar de 25 tallos cortados al nivel del suelo tomados de los dos surcos centrales de la parcela, con lo cual se obtuvieron datos de peso de mil granos en g (PMG), biomasa en kg ha⁻¹ (BIOM) e índice de cosecha (IC). El rendimiento de grano y materia seca de los 25 tallos y el peso de mil granos permitió generar: $BIOM = [(RGP + RE25T)/PU]/IC$ e $IC = RE25T/RB25T$, donde RGP = Rendimiento de grano de la parcela en gramos, RE25T = Rendimiento económico (peso del grano) de 25 tallos en gramos, PU = Parcela

útil, IC = índice de cosecha y RB25T = Rendimiento biológico (peso total de la parte aérea) de 25 tallos en gramos (Villaseñor, 1996).

La toma de datos para evaluar el área bajo la curva del progreso de *S. tritici* se inició 80 días aproximadamente después de la siembra, cuando se observaron síntomas de la enfermedad en las parcelas, y se realizaron cuatro evaluaciones a intervalos semanales de daño de área foliar (King *et al.*, 1983). La última lectura se realizó en la etapa de grano masoso cuando se observó el máximo nivel de enfermedad en las variedades más susceptibles, misma que se consideró como nivel máximo de infección en el área foliar (King *et al.*, 1983; Eyal y Ziv, 1974).

Se realizó análisis de varianza utilizando los procedimientos GLM del SAS (1999), para lo cual se combinó la información de los cinco experimentos para identificar los efectos entre sitios, tratamientos, variedades y las interacciones entre estos factores. Las diferencias entre localidades, tratamientos (CF y SF) y variedades se determinaron utilizando la Diferencia Mínima Significativa (LSD por sus siglas en inglés). El Área Bajo la Curva del Progreso de *S. tritici* se calculó usando el modulo de análisis de datos office Excel 2003 de Microsoft siguiendo la fórmula propuesta por Roelfs *et al.* (1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza para las variables seleccionadas, en donde se observa que existen diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre sitios en todas las variables evaluadas, excepto en IMAX donde la diferencia es significativa ($p > 0.05$). Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos y variedades en todas las variables evaluadas. En las interacciones sitio por tratamiento se observó diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) en KGHA, PMG y BIOMASA y significativa ($p > 0.05$) en IMAX y ABCPST; y en sitio por variedad y tratamiento por variedad hubo diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) en KGHA, PMG, IMAX y ABCPST, y significativa ($p > 0.05$) en BIOMASA. En la interacción de tercer orden IMAX y KGHA presentaron diferencias altamente significativa ($p \leq 0.01$) y en el resto de las variables las diferencias fueron significativas ($p > 0.05$).

Cuadro 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de cinco variables registradas en cinco variedades de trigo evaluadas con y sin aplicación de fungicida en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 2005 y 2006.

F V	GL	KGHA	PMG	BIOMASA	IMAX	ABCPST
SITIO	4	44646853**	317.8**	1036976395**	318.0*	3597696.4**
REP(SITIO)	15	499243	11.0	13744975	139128.1250	70820.5
TRAT	1	119634152**	2151.7**	536976308.3**	139128.1**	49747818.8**
SITIO*TRAT	4	4321000**	141.6**	41323304.1**	173.7*	933564.5*
REP*TRAT (SITIO)	15	383600	7.7	3397597	28.6	92367.9
VAR	4	14254138**	230.5**	113524300**	9902.3**	5294418.1**
SITIO*VAR	16	750962**	38.0**	3893995*	181.9**	100863.3**
TRAT*VAR	4	4138825**	148.8**	14065364*	7255.6**	2394576.36**
SITIO*TRAT* VAR	16	582645**	16.6*	8151988*	133.3**	59364.91*
Error	120	166716	8.5	3681825	33.7	19018.8
Total	199					
Media		4366.7	38.9	11786.4	45.4	1113.0
CV (%)		9.3	7.5	16.3	12.8	12.4

NS = No significativo; * Significativo ($p \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); FV = Fuente de variación; SITIO = Ciclo y lugar; REP = Repetición; VAR = Variedad; TRAT = Tratamiento; GL = Grados de libertad; KGHA = Rendimiento de grano (kg ha^{-1}); PMG = Peso de mil granos (g); BIOMASA = Biomasa (kg ha^{-1}); IMAX = Máximo nivel de infección (%); ABCPST = Área Bajo la Curva del Progreso de *Septoria tritici*.

En el Cuadro 3 se presentan la comparación de medias para rendimiento de grano entre tratamientos con y sin fungicida además de los porcentajes de pérdidas ocasionadas por la enfermedad en cada una de las variedades para los cinco sitios. La variedad Rebeca F2000, al comparar los tratamientos CF y SF, presentó diferencia estadística ($P = 0.05$) solamente en el sitio NANA1, y la

enfermedad afectó el rendimiento en promedio 9%, lo que indica que con base a este criterio de selección podría considerarse como una variedad resistente y que coincide con lo mencionado por Leyva *et al.* (2006) al reportar genotipos resistentes con pérdidas en rendimiento menores de 13% con respecto a los susceptibles.

En la variedad Triunfo F2004 se observaron diferencias estadísticas sólo en los sitios JUCHI2 ($P = 0.01$) y NANA1 ($P = 0.05$), y en promedio el efecto de la enfermedad fue de 24%. La variedad Verano S91 presentó diferencia estadística solamente en los sitios JUCHI1, JUCHI2 ($P = 0.01$), JUCHI3 y NANA1 ($P = 0.05$), y el efecto promedio en el rendimiento fue de 33%. En las variedades Gálvez M87 y Salamanca S75 se detectaron diferencias estadísticas en los cinco sitios, resultando más afectadas por la enfermedad con valores promedio de 40 y 41 %, respectivamente. Sin embargo, las pérdidas pueden llegar a ser hasta del 50% cuando las condiciones son favorables para *S. tritici* (JUCHI2) y se siembra una variedad susceptible (Salamanca S75) (Cuadro 3). Lo anterior demuestra que *S. tritici* afectó en diferente grado a cada una de las variedades, repercutiendo negativamente en el rendimiento y que trae como consecuencia la reducción en el valor económico del trigo (Mc Kendry *et al.* 1995).

El Cuadro 3 también muestra la diferencia porcentual de pérdidas promedio de las cinco variedades para cada sitio. Las pérdidas ocasionadas por el hongo (CF vs SF) fueron estadísticamente diferentes ($P = 0.01$) y variaron de 24% (JUCHI

3) a 39% (JUCHI 2), lo que demuestra que el tizón foliar es una enfermedad que en ambientes lluviosos causa pérdidas en el rendimiento y que sus efectos varían entre sitios y años (Royle *et al.*, 1986).

La comparación de medias en el rendimiento de grano promedio de tratamientos entre variedades también se presenta en el Cuadro 3, resultando que la variedad Rebeca F2000 fue el genotipo que alcanzó el máximo rendimiento con 5342 kg ha⁻¹, seguida por Triunfo F2004 y Gálvez M87, mientras que las variedades Salamanca S75 y Verano S91 se ubicaron en el último nivel de rendimiento, resultados que indican que el grupo de variedades evaluadas presentan diferencias en rendimiento o en el nivel de resistencia a *S. tritici*. Villaseñor *et al.* (2004), indican que la variedad Rebeca F2000 se caracteriza por su alto potencial de rendimiento en ambientes lluviosos, condición de producción en que supera ampliamente a otras variedades.

La comparación de medias en el rendimiento de grano promedio entre sitios indica que hubo diferencia entre éstos (Cuadro 3), variando los rendimientos de 5547 kg ha⁻¹ (NANA2) a 3310 kg ha⁻¹ (JUCHI3); esa diferencia se dio también entre años para el mismo sitio (JUCHI1 vs JUCHI2 y NANA1 vs NANA2), lo que confirma lo indicado por Eyal *et al.* (1987), Camacho *et al.* (1995) y Arraiano *et al.* (2006), quienes mencionan que el rendimiento de grano en las áreas lluviosas en donde se presenta *S. tritici* tiende a variar a través de los años y sitios.

Cuadro 3. Rendimiento de grano (en kg ha⁻¹) y efecto (en %) de *Septoria tritici* en cinco variedades con y sin fungicida en cinco sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.

VARIEDAD	JUCHI1			JUCHI2			JUCHI3			NANA 1			NANA 2			PROM1			PROM3		
	CF	SF	%	CF	SF	%	CF	SF	%												
Rebeca F2000	4121	3777	8ns	7110	6564	8ns	4646	4165	10ns	5170	4770	8*	6928	6171	11ns	9	5342	a			
Triunfo F2004	4010	3349	16ns	7016	3631	48**	3852	3223	16*	5012	4183	17*	5923	4495	24ns	24	4469	b			
Gálvez M87	3855	2405	38**	6210	3524	43**	3012	1974	34**	5021	2878	43**	6998	4020	43**	40	4207	c			
Salamanca S75	3860	2116	45**	6005	2985	50**	3199	2067	35*	4949	2644	46**	6210	4194	32**	41	3990	cd			
Verano S91	3738	2421	35**	6805	3526	48**	4053	2909	28*	4923	3164	36*	5866	4667	20ns	33	3823	d			
PROM2	3917	2814	28**	6629	4046	39**	3753	2868	24**	5015	3528	30**	6385	4709	26**						
PROM4	3365	c		5338	a		3310	c		4271	b		5547	a							

CF = Tratamiento con fungicida; SF = Tratamiento sin fungicida; % = Efecto de *S. tritici* en el rendimiento ((KGHA CF- KGHA SF)*100/(KGHA CF)); * = Significativo con $P = 0.05$; ** = Significativo con $P = 0.01$; PROM1= Porcentaje de pérdidas para cada variedad promedio de los cinco sitios; PROM2 = Rendimiento con y sin fungicida y porcentaje de pérdidas para cada sitio promedio de cinco variedades; PROM3 = Rendimiento medio para cada variedad; PROM4 = Rendimiento medio para cada sitio.

En el Cuadro 4 se presentan las medias para peso de mil granos (PMG), en donde se observa que la variedad Rebeca F2000 fue la que presentó en promedio (PROM1) menor porcentaje de pérdidas (1.36%), seguida por Triunfo F2004 (12%), Salamanca S75 (17%) y finalmente Gálvez M87 y Verano S91 (22%). En la comparación de pérdidas entre tratamientos CF y SF por sitio para cada variedad, no se observaron diferencias significativas en la variedad Rebeca F2000, mientras que en las restantes variedades hubo diferencia estadística con $P = 0.05$ o $P = 0.01$ en tres o cinco sitios. Eyal y Ziv (1974) mencionan que las pérdidas en rendimiento de grano causadas por el tizón foliar están frecuentemente asociadas con su correspondiente disminución en el peso de grano, de manera que las pérdidas mínimas registradas en la variedad Rebeca F2000 son indicador de su resistencia a esta enfermedad. En ese mismo cuadro se aprecia que al comparar los tratamientos CF y SF entre sitios en cuatro de ellos el porcentaje de pérdida resultó diferente estadísticamente ($P = 0.01$ y $P = 0.05$), lo que indica que el peso del grano es una variable directamente afectada por la incidencia del tizón foliar, y que concuerda con lo reportado por Ziv y Eyal (1978) y Zuckerman *et al.* (1997). De igual manera que el rendimiento de grano, el peso de grano se afecta en todos aquellos sitios en donde se presenta esta enfermedad, esta variable varió entre los sitios de prueba de 6% (JUCHI1) a 27% (JUCHI2).

Cuadro 4. Peso de mil granos (PMG) y efecto (en %) de *Septoria tritici* en cinco variedades con y sin fungicida en cinco sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.

VARIEDAD	JUCHI 1			JUCHI 2			JUCHI 3			NANA 1			NANA 2			PROM1 (%)
	CF	SF	%	CF	SF	%	CF	SF	%	CF	SF	%	CF	SF	%	
Rebeca																
F2000	39.5	43	-8.8NS	38.75	39	-0.6NS	45	43	4.4NS	37	36.25	2NS	43	38.75	9.8NS	1.36
Triunfo																
F2004	37.25	37.25	0	38.5	28	27.2**	41.5	33.5	19*	38.5	36.25	5.8*	42.5	37.25	12.3**	12.86
Gálvez																
M87	42.5	38.75	8.8NS	38	23.75	37.5**	41.5	31.25	24.6*	36.25	33.25	8.2NS	44.5	31	30.3*	21.88
Salamanca																
S75	43	40.5	5.8**	43	30.25	29.6**	42.5	33.75	20.5**	38	33.25	12.5**	47	38.75	17.5**	17.18
Verano																
S91	47.75	37.5	21.4*	48.25	29.5	38.8**	48.25	42.5	11.9NS	37.75	34	10*	55.5	41	26*	21.62
PROM2	42	39.4	6*	41.3	30.1	27**	43.75	36.6	16**	37.5	34.6	7.7**	46.3	37.35	19**	

CF = Tratamiento con fungicida; SF = Tratamiento sin fungicida; %= Efecto de *S. tritici* en peso de mil granos ((PMG CF- PMG SF)*100/PMG CF)); * = Significativo con $P = 0.05$; ** = Significativo con $P = 0.01$; PROM1= Porcentaje de pérdidas para cada variedad promedio de los cinco sitios; PROM2 = PMG con y sin fungicida y porcentaje de pérdidas para cada sitio promedio de cinco variedades.

En el Cuadro 5 se presentan los resultados correspondientes a Biomasa, variable importante desde el punto de vista biológico, ya que expresa la capacidad que tiene la planta en producir materia seca. Al comparar los tratamientos con y sin aplicación de fungicida se observa que *S. tritici* es una enfermedad que afectó la producción de Biomasa de las variedades; las pérdidas causadas en todos los sitios fueron altamente significativas y variaron desde 18% (JUCHI3) hasta 29% (NANA1), resultando que esta variable presentó respuesta semejante que rendimiento y peso de grano. La variedad Rebeca F2000 se comportó como el genotipo con menor porcentaje promedio de pérdidas para esta variable (11%), seguida por Triunfo F2004 (17%) y en tercer término Gálvez M87, Salamanca S75 y Verano S91 (29 a 32%). La producción de Biomasa bien puede considerarse como un criterio importante de selección para resistencia al tizón foliar, ya que integra el rendimiento de grano y partes importantes como el follaje que no fue dañado por el patógeno y la capacidad de almacenar reservas del tallo (Parker *et al.*, 2004).

En la variedad Rebeca F2000 en los cinco sitios de prueba las pérdidas causadas en su Biomasa no fueron significativas, lo que confirma la resistencia de esta variedad. En Triunfo F2004 solamente en dos sitios fueron significativas las pérdidas, en Gálvez M87 en tres sitios, mientras que en Salamanca S75 y Verano S91 en cuatro sitios las diferencias fueron significativas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Biomasa (en kg ha⁻¹) y efecto (en %) de *Septoria tritici* en cinco variedades con y sin fungicida en cinco sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.

VARIEDAD	JUCHI 1			JUCHI 2			JUCHI 3			NANA 1			NANA 2			PROM1 (%)
	CF	SF	%	CF	SF	%	CF	SF	%	CF	SF	%	CF	SF	%	
Rebeca																
F2000	9332	8350	10NS	16399	14987	8.6NS	9735	8810	9.5NS	24852	20737	16.5NS	16717	15225	9NS	11
Triunfo																
F2004	8040	6638	17NS	14679	9005	38.6**	7608	6935	8.8*	19516	18937	3NS	15509	12787	17.5NS	17
Gálvez																
M87	7535	5271	30*	12665	9341	26.2NS	6124	4850	20.8NS	21454	12768	40.4*	15501	10972	29.2*	29
Salamanca																
S75	7697	4589	40*	10433	7979	23.5NS	6504	4635	28.7*	21745	13022	40*	14610	10672	27*	32
Verano																
S91	7524	5237	30**	13922	9066	34.8**	8609	6503	24.4NS	24574	13680	44.3*	14328	12686	11NS	29
PROM2	8026	6017	25**	13620	10075	26**	7716	6347	18 **	2242	1582	29**	15333	12469	19**	

CF = Tratamiento con fungicida; SF = Tratamiento sin fungicida; % = Efecto de *S. tritici* en Biomasa ((Biomasa CF- Biomasa SF)*100/Biomasa CF)); * = Significativo con $P = 0.05$; ** = Significativo con $P = 0.01$; PROM1 = Porcentaje de pérdidas para cada variedad promedio de los cinco sitios; PROM2 = Biomasa con y sin fungicida y porcentaje de pérdidas para cada sitio promedio de cinco variedades

Con respecto al nivel máximo de infección (IMAX), en el Cuadro 6 se presentan los resultados para sitios y variedades. Para sitios no se observó diferencia estadística ($p \leq 0.05$), el valor promedio más bajo fue para JUCHI2 con 66.5% y el más alto para NANA2 con 75.5%, información que corrobora lo reportado por Polley y Thomas (1991) quienes, en estudios realizados indicaron que cuando prevalecieron condiciones favorables para la incidencia del tizón foliar, éste se presentó agresivamente (79 a 94%) en cuatro años de prueba. Para variedades se identificaron tres grupos de medias; Salamanca S75, Gálvez M87 y Verano S91 en todos los sitios y en general se ubicaron en el primer grupo de significancia con los niveles máximos de infección de área foliar (alrededor del 90%); en el segundo se ubicó Triunfo F2004 con lecturas promedio de 58% de área infectada; por último se identificó a Rebeca F2000 con nivel de infección promedio de 27%, con variaciones de 20% (JUCHI2) a 38% (NANA2). Es importante considerar que el nivel máximo de área foliar dañada (IMAX) está asociado con la reducción del área foliar cubierta con picnidios y ésta a su vez expresa el nivel de resistencia a *S. tritici* (Gieco *et al.*, 2004), además, la expresión de la respuesta del hospedante a *S. tritici* usualmente es evaluada mediante la valoración de la cantidad relativa de tejido infectado, ya sea evaluando el tejido necrótico de la hoja o la cobertura por picnidios (Brokenshire, 1976; Eyal y Ziv, 1974). En ausencia de inmunidad al tizón foliar la categorización de la resistencia está basada en un número limitado de síntomas (Cohen y Eyal, 1993), por lo tanto cualquier restricción o retraso en el desarrollo del patógeno es una forma de resistencia o una competencia entre aislamientos

a nivel de campo (Nelson y Marshall, 1990; Leyva *et al.*, 2006), de manera que considerando el IMAX, la variedad Rebeca F2000 puede clasificarse como resistente.

Cuadro 6. Nivel Máximo de infección (IMAX “en %”) de *Septoria tritici* en el tratamiento sin aplicación de fungicida de las cinco variedades evaluadas en cinco sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.

VARIEDAD	JUCHI 1	JUCHI 2	JUCHI 3	NANA 1	NANA 2	PROM1
Rebeca F2000	30 b	20 c	23 c	23 c	38 c	27 c
Triunfo F2004	48 b	58 b	68 b	43 b	75 b	58 b
Gálvez M87	93 a	83 a	90 a	100 a	90 a	91 a
Salamanca S75	98 a	90 a	90 a	98 a	90 a	93 a
Verano S91	95 a	83 a	90 a	100 a	85 ab	91 a
LSD 0.01	22.22	18.6	6.53	8.12	11.49	8.12
PROM2	72.5 a	66.5 a	72 a	72.5 a	75.5 a	

(LSD) = Diferencia mínima significativa, por sus siglas en inglés; PROM1 = Comportamiento promedio de cada variedad en cinco localidades; PROM2 = Comportamiento promedio de cada sitio con cinco variedades.

En el Cuadro 7 se muestra el área bajo la curva del progreso de *S. tritici* (ABCPST), en donde se observan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre sitios, con variaciones de 2270 (NANA2) a 1081 (JUCHI3); para variedades también se observan diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), de la misma manera que en IMAX, se identificaron los mismos tres grupos en las variedades evaluadas.

Cuadro 7. Área Bajo la Curva del Progreso de *Septoria tritici* (ABCPST) en el tratamiento sin aplicación de fungicida de las cinco variedades evaluadas en cinco sitios de prueba. P-V/2006 y P-V/2006.

GENOTIPO	JUCHI 1	JUCHI 2	JUCHI 3	NANA 1	NANA 2	PROM1
Rebeca F2000	810 c	582 c	455 d	621 d	1052 c	704 c
Triunfo F2004	1260 b	1133 b	880 c	1211 c	1939 b	1284 b
Gálvez M87	2032 a	1683 a	1476 a	2371 a	2795 a	2071 a
Salamanca S75	2368 a	1800 a	1412 a b	2206 a b	2872 a	2131 a
Verano S91	2120 a	1518 a	1181 b	1816 b	2694 a	1865 a
LSD 0.01	355.27	320.38	245.7	453.9	272.2	397.81
PROM2	1718 b	1343.7 bc	1081 c	1645.6 b	2270.5 a	

LSD = Diferencia mínima significativa, por sus siglas en inglés; (PROM1 = Comportamiento promedio de cada variedad en cinco localidades; PROM2 = Comportamiento promedio de cada sitio con cinco variedades.

En la Figura 1 se presenta el comportamiento de la enfermedad en el sitio (JUCHI2) en donde causó mayores daños *S. tritici*, observándose que en el tratamiento con fungicida una vez que se presentó la enfermedad y se aplicó el producto se logró buen control. En el tratamiento sin fungicida se observó como las variedades Salamanca S75, Gálvez M87 y Verano S91 presentaron desde los inicios de la infección mayor área foliar dañada y a partir del día 95 el porcentaje de infección creció de manera acelerada hasta llegar a más del 85%, a diferencia de Triunfo F2004 en donde el crecimiento fue menos acelerado y alcanzó un nivel máximo de 60% aproximadamente; en Rebeca F2000 puede notarse como el crecimiento de la enfermedad fue muy lento a través del tiempo, lo que refleja su resistencia a *S. tritici*.

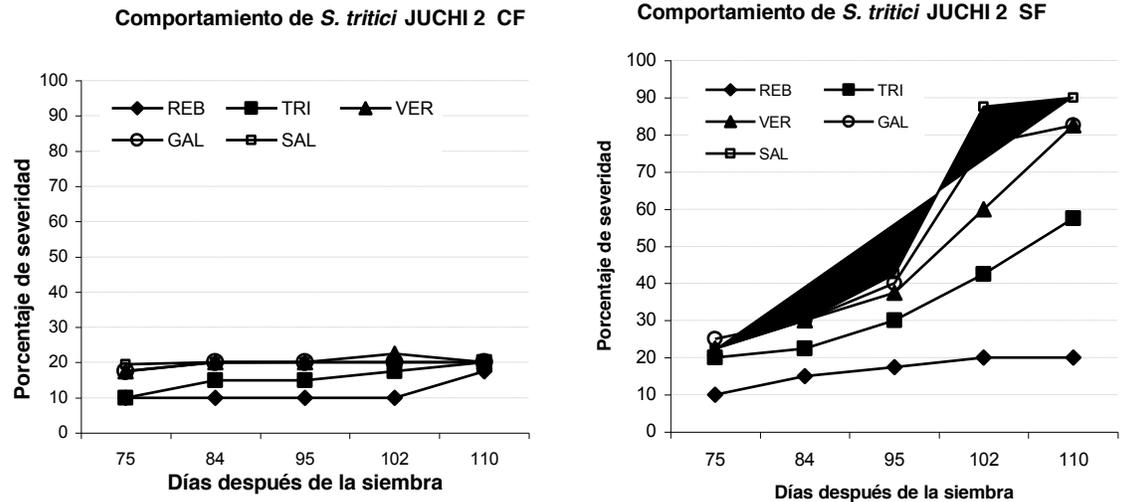


Figura 1. Comportamiento de *Septoria tritici* Con y Sin tratamiento de fungicida en el sitio (JUCHI2) en donde se presentó con mayor intensidad.

En la Figura 2 se presenta el comportamiento de la enfermedad sin fungicida para las variedades Salamanca S75 (más susceptible) y Rebeca F2000 (más resistente) en cinco sitios, en donde se observa que la variedad susceptible presentó un desarrollo acelerado de la enfermedad cuando no se protegió con fungicida, mientras que Rebeca F2000 expresó su nivel de resistencia en los cinco sitios de prueba.

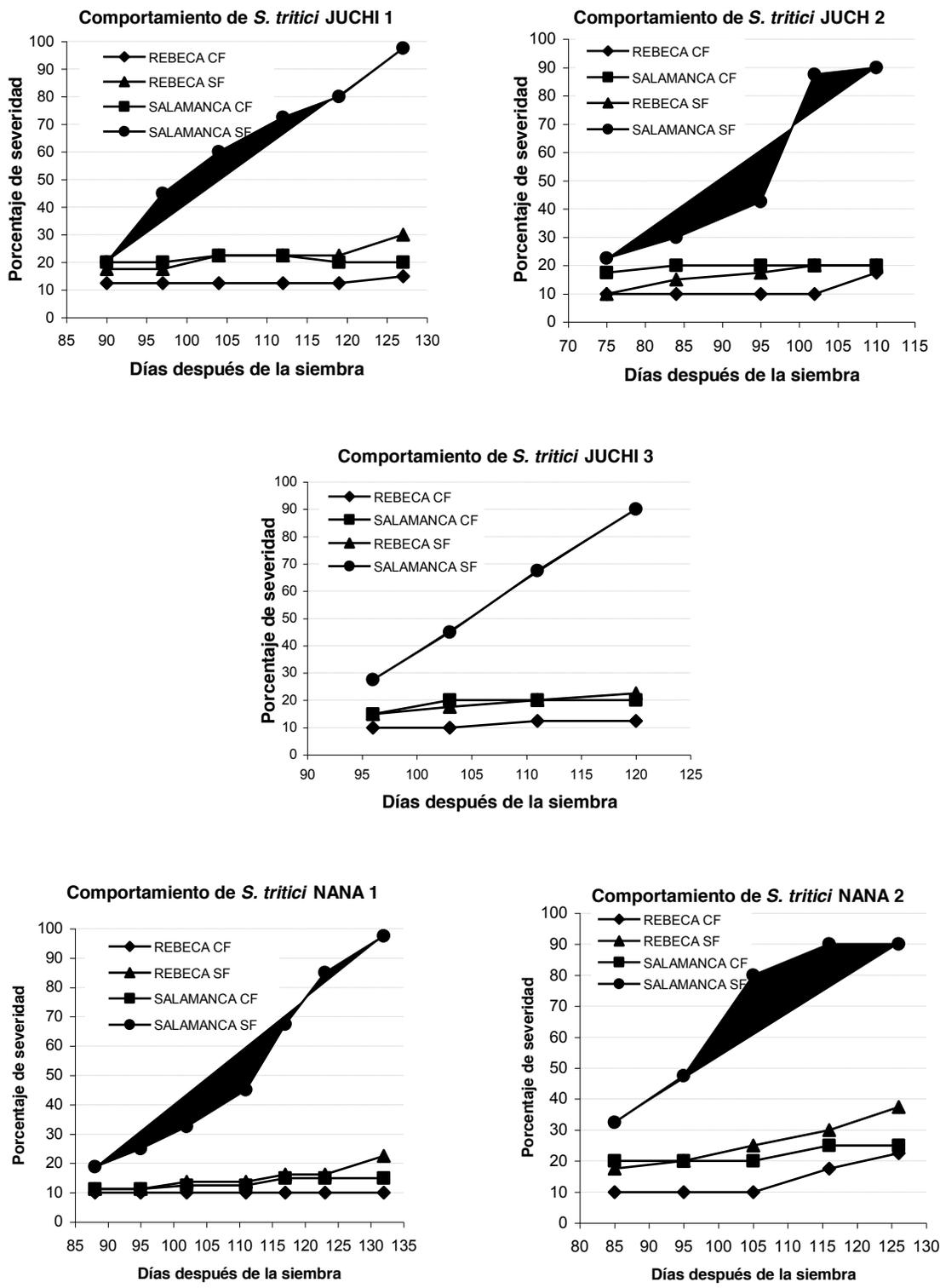


Figura 2. Comportamiento de *Septoria tritici* de las variedades Rebeca F2000 (más resistente) y Salamanca S75 (más susceptible) con y sin aplicación de fungicida en los cinco sitios de prueba.

En este patosistema se consideraron componentes agronómicos y fitopatológicos para estudiar el efecto del tizón foliar en trigo y para clasificar las variedades; dentro del componente agronómico se consideró rendimiento de grano, peso de grano y la biomasa, variables que permitieron conocer la magnitud del daño que causa la enfermedad en los diferentes sitios y entre variedades; dentro del componente fitopatológico se consideró el área foliar máxima dañada, área bajo la curva del progreso de la enfermedad y el comportamiento de la enfermedad, variables que permitieron diferenciar a las variedades, de tal manera que por lo sencillo que representa el registro en campo del área foliar dañada, es una variable efectiva para caracterizar genotipos de trigo resistentes al tizón foliar, corroborando lo mencionado por Nelson y Marshal (1990), Parker *et al.* (2004) y Gieco *et al.* (2004), aunque, el progreso de la enfermedad es una herramientas importantes complementaria para identificar resistencia y clasificar un grupo de genotipos.

Para tener una caracterización efectiva del germoplasma evaluado, es importante que el área foliar dañada se complemente con rendimiento de grano, peso de grano y el comportamiento de la enfermedad bajo los tratamientos con y sin fungicida, lo que permitirá identificar genotipos resistentes, de tal manera que de acuerdo con la información presentada, las variedades se pueden clasificar en resistentes (Rebeca F200), moderadamente resistentes (Triunfo F2004) y susceptibles (Gálvez M87, Salamanca S75 y Verano S91).

CONCLUSIONES

Los daños en el rendimiento que causa el tizón foliar (*Septoria tritici*) en trigo pueden llegar a ser hasta del 50% en variedades susceptibles y estos se pueden minimizar mediante la siembra de variedades resistentes.

De acuerdo con los resultados obtenidos con los parámetros evaluados, se determinaron tres grupos de variedades con base a la resistencia. La variedad que mostró más resistencia fue Rebeca F2000; Triunfo F2004 resultó ser moderadamente resistente, mientras que Gálvez M87, Salamanca S75 y Verano S91 formaron el grupo de las variedades susceptibles al ataque por el hongo.

La variedad Rebeca F2000, debido a su resistencia y potencial de rendimiento, se debe utilizar como progenitor para el mejoramiento genético para obtener más y mejores variedades de trigo adecuadas para ambientes lluviosos.

LITERATURA CITADA

Arraiano, L. S., P. A. Brading, and J. K. M. Brown. 2001a. A detached seedling leaf technique to study resistance to *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*) in wheat. *Plant Pathol.* 50: 339-346.

Arraiano, L. S., A. J. Worland, C. Ellerbrook, and J.K.M. Brown. 2001b. Chromosomal location of a gene for resistance to septoria tritici blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in the hexaploid wheat "Synthetic 6x". *Theor. Appl. Genet.* 103: 758-764.

- Arraiano, L. S., P. A. Brading, F. Dedryver, and J. K. M. Brown. 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.
- Ayliffe, M. A., And E. S. Lagudah. 2004. Molecular genetics of disease resistance in cereals. *Ann. Bot.* 94: 765-773.
- Bockus, W. W., Z. Su, K. A. Garrett, B. S. Gill, J. P. Stack, A. K. Fritz, K. L. Roozeboom, and T. J. Martin. 2007. Number of experiments needed to determine wheat disease phenotypes for four wheat diseases. *Plant Dis.* 91: 103-108.
- Brokenshire, T. 1976. The reaction of wheat genotypes to *Septoria tritici*. *Ann. Appl. Biol.* 82: 415-423.
- Camacho-Casas, M. A., W. E. Kronstad, and A. L. Scharen. 1995. *Septoria tritici* resistance and associations with agronomic traits in a wheat cross. *Crop Sci.* 35: 971-976.
- Cohen L., and Z. Eyal. 1993. The histology of processes associated with the infection of resistant and susceptible wheat cultivars with *Septoria tritici*. *Plant Pathol.* 42: 737-743.
- Cowger, C., M. E. Hoffer, and C. C. Mundt. 2000. Specific adaptation by *Mycosphaerella graminicola* to a resistant wheat cultivar. *Plant Pathol.* 49: 445-451.
- Chungu, C., J. Gilbert, and F. Townley-Smith. 2001. *Septoria tritici* blotch development as affected by temperature duration on leaf wetness, inoculum concentration, and host. *Plant Dis.* 85: 430-435.

- Eyal, Z. 1981. Integrated control of *Septoria* diseases of wheat. *Plant Disease* 65 (9): 763-768.
- Eyal, Z., and E. Levy. 1987. Variations in pathogenicity patterns of *Mycosphaerella graminicola* within *Triticum* spp. in Israel. *Euphytica* 36: 237-250.
- Eyal, Z., A. L. Scharen, J. M. Prescott, and M. van Ginkel. 1987. Enfermedades del trigo causadas por *Septoria*: Conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. CIMMYT. México, D. F. 52 pp.
- Eyal, Z., A. L. Scharen, M. D. Huffman, and J. M. Prescott. 1985. Global insights into virulence frequencies of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 75: 1456-1462.
- Eyal Z. and O. Ziv. 1974. The relationship between epidemics of septoria leaf blotch and yield losses in spring wheat. *Phytopathology* 64:1385-1389.
- Gieco, J. O., J. Dubcovsky, and L. E. Aranha-Camargo. 2004. Interaction between resistance to *Septoria tritici* and phenological stages in wheat. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 61 (4): 422-426.
- Halama, P. 1996. The occurrence of *Mycosphaerella graminicola*, teleomorph of *Septoria tritici* in France. *Plant Pathol.* 45:135-138.
- Hardwick, N. V., D. R. Jones, and J. E. Slough. 2001. Factors affecting diseases of winter wheat in England and Wales, 1989-98. *Plant Pathol.* 50: 453-462.
- Jorgensen, L. N., B. M. Secherand, and H. Hossy. 1999. Decision support systems featuring *Septoria* management. *In*: Lucas J. A., P. Bowyer, and H.

- M. Anderson (eds). *Septoria* on cereals. A study of pathosystems. IACR – Long Ashton Research Station Bristol, UK. CABI. Publishing, Wallingford. pp: 251-262.
- King, J. E., R. J. Cook, and S. C. Melville. 1983. A review of *Septoria* diseases of wheat and barley. *Ann. Appl. Biol.* 103: 345-373.
- Leyva-Mir, S. G., L. Gilchrist-Saavedra, E. Zavaleta-Mejía, 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.
- Martínez, G. A. 2005. Experimentación agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 364 p.
- Mc Kendry, A. L., G. E. Henke, and P. L. Finney. 1995. Effects of septoria leaf blotch on soft red winter wheat milling and baking quality. *Cereal Chem.* 72 (2): 142-146.
- Nelson, L. R., and D. Marshall, 1990. Breeding wheat for resistance to *Septoria nodorum* and *Septoria tritici*. *Advances in Agronomy.* 44: 257-277.
- Parker, S. R., S. Welham, N. D. Paveley, J. Foulkes, and R. K. Scott. 2004. Tolerance of septoria leaf blotch in winter wheat. *Plant Pathol.* 53: 1-10.
- 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.
- Rajaram, S. 1994. Wheat germplasm improvement: Historical perspectives, philosophy, objectives and missions. *In: Rajaram S. and G.P. Hettel (eds.). "Wheat breeding at CIMMYT. Commemorating 50 years of research in*

- Mexico for global wheat improvement.” México, D.F., México, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. pp. 1-10.
- Roelfs, A. P., R. P. Singh, and E. E. Saari. 1992. Rust diseases of wheat: Concepts and methods of disease management. CIMMYT, México, D. F. pp: 81.
- 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.
- Skovmand, B., R. Villarreal, M. van Ginkel, S. Rajaram, and G. Ortiz-Ferrera. 1997. Semidwarf bread wheats: Names, Parentages, Pedigrees, and Origins. Mexico, D. F.
- Tyryshkin, L. G., and N. A. Tyryshkina. 2003. Resistance to diseases in wheat collection samples and somaclonal variants. *Czech J. Genet. Plant Breed.* 39 (1): 21-23.
- 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. 186p.
- Villaseñor, M. H. E. y E. Espitia-Rangel. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: Problemática y condiciones de producción. *In: Villaseñor M., H. E. y E. Espitia-Rangel (eds.) El trigo de*

- temporal en México. SAGAR, INIFAP, CIR-CENTRO y CEVAMEX. México. pp: 85-98.
- Villaseñor, M. H. E. y E. Espitia-Rangel. 2000b. Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en México. *In*: Villaseñor M., H. E. y E. Espitia-Rangel (eds.) El trigo de temporal en México. SAGAR, INIFAP, CIR-CENTRO y CEVAMEX. México. pp: 151-172.
- Villaseñor, M., H. E., E. Espitia R., J. huerta Espino, R. González I., E. Solis M. y J. Peña B. 2004. Rebeca F2000, nueva variedad de trigo para siembras en temporales favorables e intermedios en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 27 (3): 285-287.
- Villaseñor, M., H. E., R. Moreno-Gálvez. 1998. Verano S-91: Nueva variedad de trigo para siembras de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 21 (1): 93-94.
- 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.
- Zadoks, J. C., T. T. Chang, and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*. 14: 415-421.
- Ziv, O., and Z. Eyal. 1978. Assessment of yield component losses caused in plants of spring wheat cultivars by selected isolates of *Septoria tritici*. *Phytopathology* 68: 791-796.
- Zuckerman, E., A. Eshel, and Z. Eyal. 1997. Physiological aspects related to tolerance of spring wheat cultivars to septoria tritici blotch. *Phytopathology*. 87: 60-65.

5. CAPÍTULO III

RELACIÓN ALTURA DE PLANTA E INCIDENCIA DE *Septoria tritici* Y EFECTO DE LA SEPARACIÓN ENTRE PLANTAS (COMPETENCIA) EN SU DISPERSIÓN EN TRIGO DE TEMPORAL.

RESUMEN

Mycosphaerella graminicola (anamorfo *Septoria tritici*) es el agente causal del tizón foliar en trigo, enfermedad que se presenta en áreas altas y lluviosas. En México se ha reportado en áreas de temporal del Altiplano Mexicano (Estados de México, Jalisco y Michoacán). Para determinar la importancia, en campo, de la altura de planta sobre la incidencia y severidad de la enfermedad, y el efecto que tiene la separación entre plantas (parcelas) para favorecer el desarrollo de la misma se evaluaron seis líneas altas y seis bajas en parcelas con competencia y sin competencia durante los ciclos Primavera-Verano 2005 y 2006, en Juchitepec, Edo. de México y Nanacamilpa, Tlaxcala. El diseño experimental fue bloques completos al azar con tres repeticiones en arreglo de tratamientos de parcelas divididas. El tizón foliar afectó más a las líneas bajas que a las altas. Parcelas con competencia mostraron mayor daño, principalmente en las líneas bajas, por lo que la susceptibilidad está influenciada por la altura de la planta.

Palabras clave: *Septoria tritici*, Tizón foliar, líneas bajas, líneas altas

RELATION PLANT HEIGHT AND INCIDENCE OF *Septoria tritici* AND EFFECT OF SEPARATION BETWEEN PLANTS (COMPETENCE) IN ITS DISPERSION IN RAINFED WHEAT.

ABSTRACT

Mycosphaerella graminicola (anamorph *Septoria tritici*) is the causal agent of wheat leaf blotch, disease present in the high and rainy areas. In México it has been reported in rainfed areas of the Mexican highlands (States of Mexico, Jalisco and Michoacan). To determine the importance, in the field, of plant height on the disease severity and incidence, and the effect of separation between plants (plots) to foster its development, six tall and six short lines were assessed in plots with and without competence during the spring-summer cycles of 2005 and 2006 in Juchitepec, State of México and Nanacamilpa, Tlaxcala. A completed randomized blocks experimental design with three replications was used, with an arrangement of split plot treatments. The leaf blotch affected more the short lines than tall ones. Plots with competence showed greater damage, mainly in short lines, thus the susceptibility is influenced by plant height.

Key words: Leaf blotch, *Septoria tritici*, tall lines, short lines

INTRODUCCIÓN

Mycosphaerella graminicola (anamorfo *Septoria tritici*) es el agente causal del tizón foliar en trigo, se presenta particularmente en áreas altas y lluviosas con temperaturas de 12 a 25°C (Eyal, 1981; Cowger *et al.*, 2000 y Palmer y Sinner, 2002) y es capaz de reducir el rendimiento de un 30 a 60%, (Eyal, 1981 y King *et al.*, 1983). Leyva *et al.* (2006) lo reportaron en áreas lluviosas de temporal del Altiplano Mexicano (estados de México, Jalisco y Michoacán), en zonas que presentan condiciones de clima y suelo propicias para la producción trigo en donde su monocultivo ha sido la causa por lo que año con año se ha incrementado la presencia de la enfermedad. Eyal (1981) indica que la dispersión de enfermedad se debe en gran parte a la siembra de variedades de alto rendimiento, de porte bajo, de madurez temprana y susceptibles al tizón foliar, además de los cambios en las prácticas culturales.

Arraiano *et al.* (2006) concluyeron que en cultivares más altos y tardíos es menor el daño de *S. tritici*, de igual forma, Eyal (1981) reporta asociación genética positiva entre precocidad y susceptibilidad, mientras que Baltazar *et al.* (1990) sugirieron mayor susceptibilidad entre menor altura tuvieron los genotipos. Así, Camacho-Casas *et al.* (1995) aclaran 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 más susceptibles al tizón que los altos y que no

existe asociación genética entre altura de planta y la enfermedad, por lo que el porte de la planta no tiene efecto en la severidad de la enfermedad (Wainshilbaum y Lipps, 1991; Arama *et al.*, 1999; Simón *et al.*, 2004). Por su lado Simón *et al.* (2005) mencionan que aun no está claro si estas asociaciones son debidas a factores genéticos o epidemiológicos.

Shaw *et al.* (1993) mencionan que las siembras tempranas están en mayor riesgo porque maduran más lentamente, permitiendo mayor multiplicación de la enfermedad y mejor transferencia entre las capas de hojas. Eyal (1981) y Simón *et al.* (2004) aclaran que el porte bajo está asociado con el incremento del daño, debido a las distancias cortas que hay entre las hojas, lo que provoca que el inóculo se disemine fácilmente; de manera que el movimiento del inóculo hacia arriba puede ocurrir en ausencia de lluvia, dependiendo de la posición de las hojas en desarrollo con relación a las hojas infectadas (Lovell *et al.*, 1997; Lovell *et al.*, 2004). A su vez, Arama *et al.* (1999) concluyeron que la interferencia entre parcelas no es un factor importante en pruebas para resistencia a *Septoria tritici*.

Debido a lo anterior, los objetivos del presente trabajo son 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 (parcelas) para favorecer el desarrollo de la misma.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización del presente trabajo se establecieron cuatro experimentos durante los ciclos Primavera-Verano 2005 y 2006, dos en Juchitepec (JUCHI1 “P-V/2005” y JUCHI2 “P-V/2006” a 2590 msnm, 19° 05' N y 98° 52' O con precipitación anual de 853 mm), y dos en Nanacamilpa (NANA1 “P-V/2005” y NANA2 “P-V/2006” a 2720 msnm, 19° 29' N y 98° 32' O con precipitación anual de 841 mm).

Se sembraron seis líneas F₈ altas (A5, A6, A7, A8, A9 y A10 “130-140 cm”) y seis bajas (B15, B16, B17, B18, B19 y B20 “60 a 70 cm”), obtenidas de la cruce entre las variedades Rebeca F2000 (resistente a *S. tritici* 97 cm de altura) y Salamanca S75 (susceptible 87 cm de altura). La siembra se realizó en parcelas con competencia (surcos continuos separados a 0.30m y de 1m de largo “CONC = con competencia”) y sin competencia (surcos continuos separados a 0.70 m y de 1m de largo “SINC = sin competencia”), esto 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 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 parcela chica a los genotipos. En cada parcela, artificialmente se indujo una epifitía 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 aproximada 10⁷ picnidiosporas ml⁻¹ de

agua, a la que se agregó Tween 20 como surfactante (Wainshilbaum y Lipps, 1991). Se aplicó el fertilizante antes del amacollamiento (80-40-00) y el control de maleza se realizó de forma manual para no confundir los efectos que pudiera tener la aplicación de herbicidas con los de la enfermedad.

Los parámetros evaluados en cada uno de los experimentos fueron días madurez (DM), altura de planta en cm (AP), nivel máximo de infección que se refiere al área dañada con necrosis por la presencia de picnidios (Brown *et al.*, 2001), en % bajo una escala de 0 a 100 (IMAX); 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 en gramos (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, es decir 40 días después de que las plantas fueron inoculadas y cuando se observaron síntomas de la enfermedad en las parcelas. Se realizaron evaluaciones a intervalos semanales de daño de área foliar (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 nivel máximo de infección en el área foliar (King *et al.*, 1983; Eyal y Ziv, 1974).

Se realizó el análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM del SAS (SAS, 1999). Se combinó la información de los cuatro experimentos para identificar los efectos entre sitios, tratamientos (Con competencia y Sin competencia) y las interacciones entre estos factores. Las diferencias entre altura y tratamientos (Con y Sin competencia) se determinaron utilizando la Diferencia Mínima Significativa (LSD por sus siglas en inglés). El Área Bajo la Curva del Progreso de *Septoria tritici* se calculó usando el modulo de análisis de datos office Excel 2003 de Microsoft siguiendo la fórmula propuesta por Roelfs *et al.* (1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestra los cuadrados medios del análisis de varianza combinado de los cuatro sitios para las variables evaluadas, en donde se observan diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre sitios en todas las variables, excepto en RE25T donde la diferencia es significativa ($p > 0.05$). Entre tratamientos se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en DM, IMAX y ABCPST y significativas ($p > 0.05$) en RE25T. Entre líneas y altura las diferencias fueron altamente significativas ($p \leq 0.01$) para todas las variables, así como en la categoría de líneas altas, mientras que entre líneas bajas sólo en AP la diferencia fue altamente significativas ($p \leq 0.01$) 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.

En la interacción tratamiento por línea sólo 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, información que indica que independientemente del nivel de separación entre parcelas y/o plantas que se ejerza dentro de las líneas altas o bajas, estas tendrán el mismo comportamiento; sin embargo, al compararse como grupos (TRAT*ALTURA) si existe 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 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.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de seis variables registradas en seis líneas de trigo bajas y seis altas evaluadas con y sin competencia en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 2005 y 2006.

F V	GL	DM	AP	PMG	RE25T	IMAX	ABCPST
SITIO	3	709**	4233.80**	1223.63**	416.63*	9305.16**	10612996.52**
REP(SITIO)	8	16.9	86.45	17.69	28.72	229.63	115714.76
TRAT	1	524.97**	148.98NS	11.43NS	552.12*	25925.17**	8764666.27**
SITIO*TRAT	3	8.23NS	150.39NS	181.97*	427.5*	643.17*	598838*
REP*TRAT(SITIO)	8	2.9	38.27	17.09	51.56	107	96118
LÍNEAS	11	105.41**	23174.63**	876.56**	1775.76**	5649.45**	1566424.79**
ALTAS	5	54.31**	460.92**	171.39**	396.81**	1519.44**	604046.29**
BAJAS	5	5.74NS	367.33**	49.09NS	50.83NS	393.24*	132621NS
ALTURA	1	856.37**	250130.79**	8541.67**	17362.80**	52548**	13549395.53**
TRAT*LÍNEA	11	5.55NS	22.30NS	29.88NS	38.52NS	353.93*	193925.82*
TRAT*ALTAS	5	5.27NS	12.92NS	39.14*	45.05NS	108.33NS	17641.09NS
TRAT*BAJAS	5	3.54NS	24.12NS	14.42NS	26.79NS	65.44NS	125660.89*
TRAT*ALTURA	1	16.7NS	50.17NS	63.50NS	63.54NS	3041.9**	1425958.79**
Error	256	6.8	64.11	23.18	65.51	163.8	67498
Total	287						
Media		135	95.38	30.78	26.55	58.36	1279.25
CV (%)		1.94	8.39	15.64	30.48	21.9	20.30

TRAT = tratamientos con y sin competencia; NS = No significativo; * Significativo ($p \leq 0.05$); ** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); FV = Fuente de variación; SITIO = Ciclo y lugar; REP = Repetición; TRAT = Tratamiento; GL = Grados de libertad; DM = Días a madurez; AP = Altura de planta; PMG = Peso de mil granos (g); RE25T = Rendimiento económico de 25 tallos; IMAX = Máximo nivel de infección (%); ABCPST = Área Bajo la Curva del Progreso de *Septoria tritici*.

En el Cuadro 2 se muestra la comparación de medias entre líneas, en donde se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre grupos en las seis variables evaluadas. De manera general, el grupo de líneas altas fue de ciclo más tardío

(DM), con altura de planta en casi lo doble (124 cm vs 65 cm), con mayor rendimiento y peso de grano y con mayor resistencia al tizón foliar. Esto demuestra que el efecto de *S. tritici* fue diferente entre las líneas de ambos portes, lo que coincide con Simón *et al.* (2004), quienes mencionan que la altura de planta reducida (baja) está asociada con el incremento del daño por el hongo porque hay distancias más cortas entre las capas de las hojas lo que hace que el inóculo avance fácilmente.

Cuadro 2. Comparación de medias de cinco variables evaluadas en seis líneas altas y seis bajas promedio de dos tratamientos (con y sin competencia) y cuatro sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.

ALTURA	DM	AP	RE25T	PMG	IMAX	ABCPST
ALTA	137a	124.9a	34.3a	36.2a	44.86b	1061.75b
BAJA	133 b	65.7b	18.8b	25.32b	71.95a	1498.27a
LSD	0.94	2.51	2.06	1.42	4.52	109.65

LSD = Diferencia mínima significativa por sus siglas en inglés ($p \leq 0.05$); DM = Días a Madurez; AP = Altura de planta; PMG = Peso de mil granos; IMAX = Máximo nivel de infección (%) ABCPST = Área Bajo la Curva del Progreso de *Septoria tritici*.

En el Cuadro 3 se presenta los grupos de líneas altas y bajas con los tratamientos con (CONC) y sin competencia (SINC) entre plantas, en donde se observa que no hubo diferencia estadística en PMG tanto en el grupo de las líneas altas como en el de las bajas. Al respecto Leyva *et al.* (2006) mencionan que el peso mas bajo de grano (tamaño mas pequeño) puede ser compensado por una mayor producción de grano (mas 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.

Al estar las líneas de ambos grupos en competencia (menor separación entre plantas), se redujo el ciclo de cultivo (DM), el rendimiento de grano y se incrementó la infección de la enfermedad y su área bajo la curva. En la presente investigación la interferencia entre parcelas vista como mayor nivel de competencia y contacto entre plantas, afectó las variables agronómicas e incrementó la incidencia del tizón foliar, ya que el ataque por el hongo fue más fuerte en las líneas que estuvieron bajo el tratamiento con competencia, de manera que las infecciones tienden a ser más severas porque las hojas como fuente de inóculo se encuentran más cerca entre si (Shaw *et al.*, 1993).

Cuadro 3. Comparación de medias de cinco variables evaluadas en seis líneas altas y seis bajos con y sin competencia promedio de cuatro sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.

LÍNEA	DM		AP		RE25T		PMG		IMAX		ABCPST	
	CONC	SINC	CONC	SINC	CONC	SINC	CONC	SINC	CONC	SINC	CONC	SINC
ALTAS	136b	138a	126.0a	123.8a	33.4a	35.2a	36.5a	35.9a	51a	39b	1166a	957b
LSD	1.39		4.09		2.99		1.86		5.63		131.77	
BAJAS	132b	135a	66.0a	65.4a	16.9b	20.6a	24.7a	26.0a	85a	59b	1748a	1251b
LSD	1.12		2.97		2.81		2.19		5.37		154.16	

LSD = Diferencia mínima significativa por sus siglas en ingles ($p \leq 0.05$); AP = Altura de planta; PMG = Peso de mil granos; IMAX = Máximo nivel de infección (%) ABCPST = Área Bajo la Curva del Progreso de *Septoria tritici*; CONC = Tratamiento con competencia y SINC = Tratamiento sin competencia.

En los Cuadros 4 y 5 se presenta la diferencia de medias de las variables PMG, IMAX y ABCPST de los grupos de líneas altas y bajas así como los tratamientos con y sin competencia (CONC y SINC).

En lo que se refiere a PMG, al observar las medias del promedio de las líneas no existió diferencia entre los tratamientos, tanto dentro del grupo de las líneas altas como de las líneas bajas. Sin embargo, al observar los resultados de cada uno de los grupos de manera independiente, dentro del grupo de líneas altas se observó que estadísticamente hubo diferencias ($P=0.05$) entre líneas, resultando las líneas A6 y A10 diferentes con el A5 y A8 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Comparación de medias de las variables peso de mil granos (PMG), índice máximo de infección (IMAX) y área bajo la curva del progreso de *S. tritici* (ABCPST) en seis líneas altas con y sin competencia promedio de cuatro sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.

LÍNEA	PMG		IMAX		ABCPST	
	CONC	SINC	CONC	SINC	CONC	SINC
A5	34.0c	32.91b	42.5c	32.5c	963.1c	785.6b
A6	39.16a	38a	39.16c	33.33bc	1012.3bc	849ab
A7	37ab	40.41a	52.5abc	38.33abc	1201.3abc	1026.7ab
A8	32.25c	33.75b	58.33ab	44.16ab	1279.6ab	1054.4ab
A9	36.33abc	33.83b	65.83a	47.50a	1450a	1140.4a
A10	40.83a	36.66ab	48.33bc	35.83bc	1090bc	888.8ab
LSD	4.43	3.96	14.48	11.31	312.87	319.41
PROM	36.47A	35.93A	51.11A	38.61B	1166.04A	957.47B
LSD	1.86		5.63		131.77	

LSD = Diferencia mínima significativa por sus siglas en ingles ($p \leq 0.05$); PMG = Peso de mil granos; IMAX = Máximo nivel de infección (%) ABCPST = Área Bajo la Curva del Progreso de *Septoria tritici*; CONC = Tratamiento con competencia y SINC = Tratamiento sin competencia.

En el Cuadro 5 se presenta la comparación de medias de las líneas bajas, misma que resultó no significativa ya que las seis líneas fueron estadísticamente iguales. El PMG en las líneas altas (36.4 CONC) fue superior al de las líneas bajas (24.6 CONC), lo que indica que las primeras son de mayor potencial de rendimiento.

En el nivel máximo de infección (IMAX) tanto para el grupo de las líneas altas como para las bajas, los valores promedio entre medias de tratamientos CONC y SINC fueron estadísticamente diferentes (Cuadros 4 y 5), resultando que en ambas alturas cuando la planta estuvo bajo competencia se incrementó presencia de la enfermedad.

La comparación de medias del grupo de líneas altas indicaron diferencias estadísticas ($P=0.05$) en el tratamiento CONC; la línea A9 fue la que presentó mayor infección mientras que en A6 la infección fue menor, resultados que coinciden con los obtenidos en el tratamiento SINC y que indican que existen líneas con mayor nivel de resistencia (Cuadro 4). En cambio en el grupo de las líneas bajas todas resultaron iguales estadísticamente en los tratamientos CONC y SINC (Cuadro 5), y con niveles de infección muy superiores (84.8 CONC) con relación a las líneas altas (51.1 CONC), lo que evidencia que la menor altura favorece al incidencia del tizón foliar y que dentro de este grupo no se identificaron líneas con resistencia a *S. tritici*.

Cuadro 5. Comparación de medias de las variables peso de mil granos (PMG), índice máximo de infección (IMAX) y área bajo la curva del progreso de *Septoria tritici* (ABCPST) en seis líneas bajas con y sin competencia promedio de cuatro sitios de prueba. P-V/2005 y P-V/2006.

LÍNEA	PMG		IMAX		ABCPST	
	CONC	SINC	CONC	SINC	CONC	SINC
B15	26.16a	27.66a	90a	65a	1908.5a	1281.5a
B16	26.33a	25.58a	77.50a	55.83a	1629a	1282.1a
B17	26.25a	26.50a	85.83a	62.50a	1675a	1303.5a
B18	21.83a	24.16a	83.33a	59.16a	1706.9a	1291.3a
B19	23.45a	26.75a	89.16a	58.33a	1903.1a	1200.6a
B20	24a	25.08a	83.63a	54.16a	1663.9a	1147.7a
LSD	5.79	5.26	14.46	12.34	408.69	370.28
PROM	24.69A	25.95A	84.93A	59.16B	1748.91A	1251.11B
LSD	2.19		5.37		154.16	

LSD = Diferencia mínima significativa por sus siglas en ingles ($p \leq 0.05$); PMG = Peso de mil granos; IMAX = Máximo nivel de infección (%) ABCPST = Área Bajo la Curva del Progreso de *Septoria tritici*; CONC = Tratamiento con competencia y SINC = Tratamiento sin competencia.

En lo que respecta a ABCPST, las medias de los valores promedio CONC y SINC 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.

Al analizar las medias de las líneas altas en el tratamiento CONC 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, lo que indica que el grupo de líneas bajas fueron susceptibles al ataque del tizón foliar (Cuadros 4 y 5).

Debido al efecto que presentó *S. tritici* sobre las variables IMAX y ABCPST, en la Figura 1 se muestra la interacción entre tratamientos (CONC y SINC) y altura de planta (altas y bajas) así como los valores promedio obtenidos en los tratamientos aplicados. Cuando se colocaron las líneas altas en el tratamiento con competencia el IMAX fue de un 51% mientras que en el tratamiento sin competencia el valor fue de 39%, es decir que hubo una disminución de la enfermedad de 12% cuando las plantas no estuvieron en competencia. Las líneas bajas al estar con competencia presentaron un IMAX de 85%, mientras que al estar sin competencia el daño fue de 59% mostrando una disminución del 26%. La mayor reducción en el IMAX de las líneas bajas al pasar de la condición con competencia (CONC) a sin competencia (SINC), es una evidencia de que en esta altura de planta se incrementa la incidencia de la enfermedad cuando se está en mayor competencia, es decir mayor contacto y/o fricción de las hojas como fuente diseminadora del inóculo, con estos resultados se comprueba el daño diferencial entre líneas altas y bajas, indicando que las líneas de bajas estuvieron más susceptibles al ataque por el hongo y que además al estar las líneas más cerca unas de otras el daño se incrementó.

Resultados similares se obtuvieron cuando se determinó el Área Bajo la Curva del Progreso de *S. tritici*; el valor más alto fue cuando se tuvieron las líneas bajas con valores promedio de 1748 y 1251 con y sin competencia respectivamente con 497 unidades de diferencia, mientras que el más bajo resultado de las líneas

altas con los valores de 1166 con competencia y 957 y sin competencia con diferencia de 209 unidades.

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

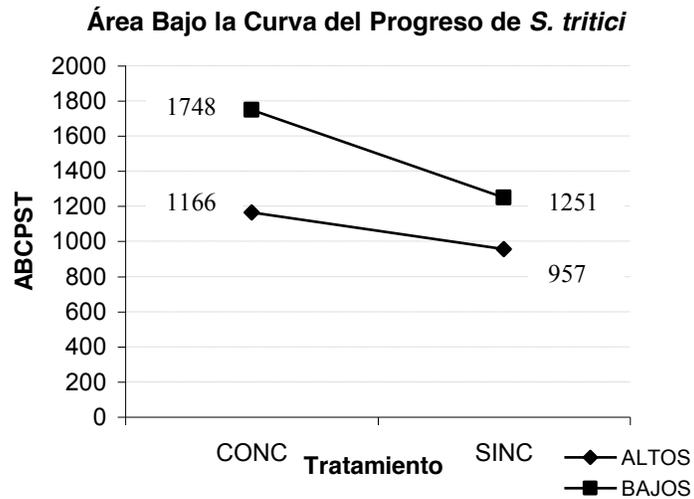
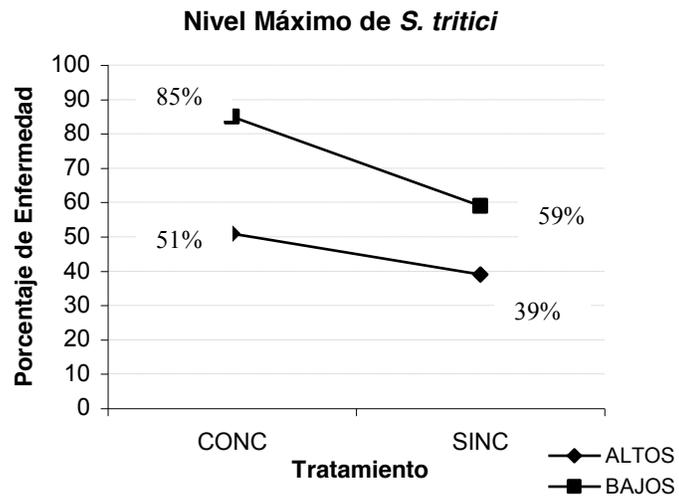


Figura 1. Nivel máximo de infección (en %) y Área Bajo la Curva de *S. tritici* (ABCPST) para los grupos de líneas altas y bajas con los tratamientos con (CONC) y sin competencia (SINC) en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos P-V 2005 y 2006.

CONCLUSIONES

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

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

Del grupo de 12 líneas hermanas evaluadas, las bajas fueron más susceptibles que las altas, lo que determina que en el presente estudio la susceptibilidad al ataque del tizón foliar está influenciado por la altura de la planta.

LITERATURA CITADA

Arama, F. P., J. E. Parlevliet, and C. H. van Silfhout. 1999. Heading date and resistance to *Septoria tritici* blotch in wheat not genetically associated. *Euphytica* 106: 63-68.

Arraiano, L. S. P. A. Brading, F. Dedryver, and J. K. M. Brown. 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., I. Gelernter, M. B. Brown, and Z. Eyal. 1980. Factors affecting the vertical progression of *Septoria* leaf blotch in short-statures wheats. *Phytopathology* 70: 179-184.
- Baltazar, B., A. L. Scharen and W. E. Kronstad. 1990 Associations between dwarfing genes Rht_1 and Rht_2 and resistance to *Septoria tritici* blotch in winter wheat (*Triticum aestivum* L. Em Thell). *Theor. Appl. Genet.* 79: 422-426.
- Brown, J. K. M., G. H. J. Kema, H. R. Forrer, E. C. P. Verstappen, L. S. Arraino, 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.
- Camacho-Casas, M. A., W. E. Kronstad and A. L. Scharen. 1995. *Septoria tritici* resistance and associations with agronomic traits in a wheat cross. *Crop Sci.* 35:971-976.
- Cowger C., M. E. Hoffer, and C. C. Mundt. 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 (9): 763-768.
- Eyal, Z., and O. Ziv. 1974. The relationship between epidemics of *septoria* leaf blotch and yield losses in spring wheat. *Phytopathology* 64: 1385-1389.
- King, J. E., R. J. Cook, and S. C. Melville. 1983. A review of *Septoria* diseases of wheat and barley. *Ann. Appl. Biol.* 103: 345-373.

- Leyva-Mir, S. G., L. Gilchrist-Saavedra, E. Zavaleta-Mejía 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.
- Lovell, D. J., S. R. Parker, T. Hunter, D. J Royle, and R. R. Coker. 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., S. R. Parker, T. Hunter, S. J. Welham, and A. R. Nichols. 2004. Position of inoculum in the canopy affects the risk of septoria tritici blotch epidemics in winter wheat. *Plant Pathol.* 53:11-21.
- Palmer, L. C., and W. Skinner. 2002. *Mycosphaerella graminicola*: latent infection, crop devastation and genomics. *Molecular Plant Pathology* 3 (2): 63-70.
- Roelfs, A. P., R. P. Singh, and E. E. Saari. 1992. Rust diseases of wheat: Concepts and methods of disease management. CIMMYT, México, D. F. pp: 81.
- SAS Institute. 1999. The Statistical Analysis System for Windows. Ver. 8.
- Shaw, M. W., D. J. Royle, and D. Shtieberg. 1993. Factors determining the severity of epidemics of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) on winter wheat in the UK. *Plant Pathol.* 42: 882-889.
- Simón, M. R., A. E. Perelló, C. A. Cordo, and P. C. Struik. 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., A. J. Worland, and P.C. Struik. 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 (6): 2078-2085.
- Simón, M. R., A. E. Perelló, C. A. Cordo, S. Larrán, P. E. L. van der Putten, and P. C. Struik. 2005. Association between *septoria tritici* blotch, plant height, and heading date in wheat. *Agronomy J. Plant Dis.* 97: 1072-1081.
- 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, Programa de Genética. Montecillo, Texcoco Edo. de México. 186p.
- Van Beuningen, L. T., and M. M. Kohli. 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.
- 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.
- Zadoks, J. C., T. T. Chang and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.

6. CAPÍTULO IV

HERENCIA DE LA RESISTENCIA DE LA VARIEDAD REBECA F2000

RESUMEN

El tizón foliar del trigo causada por *Mycosphaerella graminicola* (anamorfo *Septoria tritici*) ha sido reportado en los Valles Altos de México ocasionando pérdidas en el rendimiento de hasta un 44%. El uso de variedades resistentes es la forma más eficiente económicamente y ambientalmente más apropiada para controlar la enfermedad. En México existe material liberado por el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) con niveles aceptables de resistencia dentro de los cuales destaca la variedad Rebeca F2000 que se ha caracterizado por su resistencia a *Septoria tritici*. Para determinar la herencia de la resistencia a *S. tritici* de la variedad Rebeca F2000, se establecieron dos experimentos durante el verano 2005 en las localidades de Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala. Se utilizó la variedad Rebeca F2000 como resistente y las variedades Salamanca S75, Gálvez M87 y Verano S91 con diferente grado de susceptibilidad a *S. tritici*. La clasificación de las familias, derivadas de las cruces, en resistentes, intermedias y susceptibles sugiere que la herencia de la resistencia de la variedad Rebeca F2000 es de forma cuantitativa.

Palabras clave: Tizón foliar, *Septoria tritici*, Valles Altos, Rebeca F2000, Resistencia cuantitativa.

INHERITANCE OF THE RESISTANCE OF REBECA F2000 VARIETY

ABSTRACT

Wheat leaf blotch caused by *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*), has been reported in the highlands of México causing yield losses up to 44%. The use of resistant varieties is the most economically efficient and environmentally suitable way to control this disease. In México, INIFAP (National Institute for Forestry Agricultural and Livestock Research) has released material with acceptable levels of resistance among which the Rebeca F2000 variety stand out for its resistance to *Septoria tritici*. In order to determine the inheritance of the resistance to *S. tritici* of Rebeca F2000, two experiments were conducted in the localities of Juchitepec, State of México and Nanacamilpa, Tlaxcala. The resistant variety Rebeca F2000 was utilized besides the Salamanca S75, Gálvez M87 and Verano S91 varieties with different grade of susceptibility. The classification of the families, derived from the crosses, in resistant, intermediate and susceptible suggest that the inheritance in the Rebeca F2000 variety is quantitative.

Key words: Leaf blotch, *Septoria tritici*, Highlands, Rebeca F2000, Quantitative resistance.

INTRODUCCIÓN

El tizón o mancha foliar del trigo causada por *Mycosphaerella graminicola* (Anamorfo *Septoria tritici*) es considerada una de las enfermedades más importantes del trigo en varias partes del mundo, ocasionando pérdidas severas en el rendimiento que llegan alcanzar hasta un 60% (Eyal y Levy, 1987; Halama, 1996; Hardwick *et al.*, 2001; Jorgensen *et al.*, 1999; Arraiano *et al.*, 2001a).

En México se ha reportado alta incidencia y severidad de *Septoria tritici* (Eyal *et al.*, 1985), llegando a causar pérdidas en el rendimiento de hasta un 44 % en las localidades de Juchitepec, Méx. y Nanacamilpa, Tlax. (Rodríguez *et al.* 2008). Leyva *et al.* (2006) lo reportaron en áreas de temporal del Altiplano mexicano (estados de México, Jalisco y Michoacán), mientras que Villaseñor y Espitia (2000) lo detectaron en las zonas de temporal de los Valles Altos de México tales como Juchitepec y Amecameca, Méx., Nanacamilpa y Tlaxco, Tlax. y Singuilucan, Hgo. En esta zona prevalecen condiciones de clima y suelo para la producción trigo de temporal razón por la cual se incrementa año con año la presencia del tizón foliar (Leyva *et al.*, 2006).

El uso de variedades resistentes es la forma más eficiente, económica y ambientalmente apropiada para controlar la enfermedad (Bockus *et al.*, 2001). En estudios de herencia, se ha reportado la resistencia vegetal a patógenos en diversos patosistemas (Sandoval-Islas *et al.*, 1998; Herrera-Foesel *et al.*, 2008)², misma que puede ser de forma cuantitativa o de genes menores (Narváez y Caldwell, 1957; Rosielle y Brown, 1979; Eyal *et al.*, 1973; Camacho *et al.*, 1995;

² Herrera-Foesel, S., R. P. Sing, J. Huerta-Espino, J. Crossa, A. Djurle, and J. Yuen. 2008. En prensa: Crop Sci.

Van Ginkel y Scharen, 1988; Jonson, 1992; Matus, 1993; Lee y Gough, 1984; Jlibene *et al.*, 1994; Simon y Cordo, 1998; Brown *et al.*, 2001) o cualitativa o de genes mayores (Adhikari *et al.*, 2002; Adhikari *et al.*, 2003; Adhikari *et al.*, 2004abc; Brading *et al.*, 2002; Kema *et al.*, 1996ab; Kema y Van Silfhout, 1997; Chartrain *et al.*, 2005b).

Brading *et al.* (2002) probaron y demostraron genéticamente la existencia de una interacción gene a gene entre trigo y *M. graminicola*. A la fecha varios genes mayores para resistencia a *Mycosphaerella graminicola* han sido identificados y mapeados a lo largo del genoma en varios cultivares de trigo (Adhikari *et al.*, 2004abc; Arraiano *et al.*, 2001b; Brading *et al.*, 2002; McCartney *et al.*, 2003; Chartrain *et al.*, 2005a; Adhikari *et al.*, 2003; Chartrain *et al.*, 2005ab). Recientemente, el gene de resistencia *Stb15* a *M. graminicola* en el cultivar Arina fue localizado en el cromosoma 6AS y confiere resistencia al aislamiento IPO88004 (Arraiano *et al.*, 2007).

Como en otras enfermedades, el conocimiento de la genética de la resistencia a *S. tritici* es deseable para mejorar la efectividad en el mejoramiento para resistencia. En México existe material liberado por el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias) con niveles aceptables de resistencia, dentro de los cuales destaca la variedad Rebeca F2000 que se ha caracterizado por su mayor resistencia a *Septoria tritici* (Villaseñor *et al.*, 2004), sin embargo, se desconoce la naturaleza de esa resistencia. Porque actualmente

se dispone de pocas variedades con niveles adecuados de resistencia y existe la necesidad de contar con nuevas fuentes de resistencia (Simón *et al.*, 2004), se plantea este trabajo con el objetivo de determinar la herencia de la resistencia a *S. tritici* de la variedad Rebeca F2000 utilizando el análisis de segregación Mendeliana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el presente trabajo se utilizó la variedad resistente Rebeca F2000, que posee un fondo genético que está donando resistencia *S. tritici*, así como las variedades Salamanca S75, Gálvez M87 y Verano S91, que en siembras de temporal se han comportado como genotipos con diferente grado de susceptibilidad a la enfermedad. Se derivaron 290 Familias F_6 de las cruces Rebeca x Gálvez (REB/GAL = 96), Rebeca x Salamanca (REB/SAL = 98) y Rebeca x Verano (REB/VER = 96). Se establecieron dos experimentos durante el verano 2005 en las localidades de Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala. La parcela consistió de dos surcos continuos separados a 0.30 m y de 1.5 m de largo, con dos repeticiones. Se realizaron las prácticas de cultivo similares a las de los agricultores de la zona, se aplicó una dosis de fertilizante antes del amacollamiento (80-40-00) y el control de maleza se realizó de forma manual para no confundir los efectos que pudiera tener la aplicación de herbicidas con los de la enfermedad.

Los experimentos se establecieron en terrenos donde se ha sembrado trigo durante varios años para garantizar la presencia de inóculo en los residuos de cosecha (Leyva *et al.*, 2006). Además, artificialmente se indujo una epifitía durante el estadio 45 cuando se presenta el embuche (Zadoks, *et al.* 1974). Las plantas se inocularon mediante una aspersión de ultrabajo volumen con una suspensión aproximada 10^7 picnidiosporas ml^{-1} de agua (Wainshilbaum y Lipps, 1991). Se agregó Tween 20 a la suspensión como surfactante.

Se realizó la evaluación para determinar la genética de la resistencia en la etapa de grano masoso que es cuando la enfermedad alcanza su máximo nivel. Se utilizó la escala de doble dígito que considera el avance vertical de la enfermedad y una estimación de la gravedad del daño. El primer dígito indica la altura relativa que alcanza la enfermedad y el segundo dígito señala la gravedad de daño como porcentaje pero en términos de 0 a 9 (Saari y Prescott, 1975). Las evaluaciones se realizaron de manera visual considerando el porcentaje medio de gravedad solo en las hojas infectadas entre las cuatro hojas superiores. El porcentaje de daño se estimó observando de 10 a 20 plantas y se les asignó un valor global (Eyal *et al.* 1987). Con las evaluaciones realizadas mediante la escala de doble dígito se obtuvo un coeficiente de infección derivado de la multiplicación de ambos dígitos (Van Beuningen y Kohli, 1990). Las familias de cada una de las cruces se clasificaron como resistentes con valores menores de $5/3 = 15$, intermedias donde se consideraron valores entre 15 mínimo y 28 máximo, y susceptibles con valores mayores a $7/40 = 28$. Para determinar la

herencia de la resistencia en cada una de las cruzas, REB/GAL, REB/SAL y REB/VER se utilizó el análisis de segregación Mendeliana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con las evaluaciones realizadas el progenitor resistente (Rebeca F2000) presentó un valor promedio de $5/3 = 15$ tanto en Juchitepec, como en Nanacamilpa. Los progenitores susceptibles (Gálvez, Salamanca y Verano) presentaron un valor de $7/9 = 63$. Las familias F_6 derivadas de las tres cruzas resistentes x susceptibles evaluadas se clasificaron en tres grupos: resistentes, intermedias y susceptibles.

En el Cuadro 1 se muestra la clasificación de las tres cruzas evaluadas en la localidad de Juchitepec, Edo de México. De acuerdo con la frecuencia observada en las familias clasificadas como susceptibles con respecto al total, el análisis de segregación Mendeliana sugiere una herencia de forma cuantitativa para las poblaciones derivadas de las cruzas REB/GAL, REB/SAL y REB/VER.

Cuadro 1. Clasificación de familias F_6 derivadas de las tres cruzas evaluadas en Juchitepec, Estado de México, durante el ciclo P-V 2005.

CRUZA	T	R	R/T	I	I/T	S	S/T
REB/GAL	96	22	0.2291	18	0.1875	56	0.5833
REB/SAL	98	31	0.3163	31	0.3163	36	0.3673
REB/VER	96	67	0.6979	14	0.1458	15	0.1562

REB/GAL = Rebeca x Gálvez; REB/SAL = Rebeca x Salamanca; REB/VER = Rebeca x Verano; T = Total; R = Resistentes; I = Intermedios y S = Susceptibles

La clasificación en resistentes, intermedios y susceptibles de familias F_6 derivadas de las tres cruzas evaluadas en la localidad de Nanacamilpa, Tlaxcala se presenta en el Cuadro 2. Las frecuencias obtenidas de las familias susceptibles con respecto al total indican resultados similares a los observados en Juchitepec para las cruzas REB/GAL, REB/VER y REB/VER donde se determina una herencia cuantitativa.

Cuadro 2. Clasificación de familias F_6 de las tres cruzas evaluadas en Nanacamilpa, Tlaxcala, durante el ciclo P-V 2005.

CRUZA	T	R	R/T	I	I/T	S	S/T
REB/GAL	96	25	0.2604	32	0.3333	39	0.4062
REB/SAL	98	25	0.2551	43	0.4387	30	0.3061
REB/VER	96	74	0.7708	9	0.0937	13	0.1354

REB/GAL = Rebeca x Gálvez; REB/SAL = Rebeca x Salamanca; REB/VER = Rebeca x Verano; T = Total; R = Resistentes; I = Intermedios y S = Susceptibles

Al realizar un reagrupamiento de la segregación considerando una desviación de la frecuencia de las familias intermedias hacia las susceptibles como se muestra en el Cuadro 3 y tomando solamente dos grupos: resistentes y susceptibles, los resultados de las frecuencias obtenidas de las familias son consistentes a los determinados anteriormente en ambas localidades.

Cuadro 3. Clasificación de familias F₆ de las tres cruzas evaluadas en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante el ciclo P-V 2005.

JUCHITEPEC	T	R	R/T	S= I+S	S/T
CRUZA					
REB/GAL	96	22	0.2291	74	0.7708
REB/SAL	98	31	0.3163	67	0.6836
REB/VER	96	67	0.6979	29	0.3020
NANACAMILPA					
REB/GAL	96	25	0.2604	71	0.7395
REB/SAL	98	25	0.2551	73	0.7448
REB/VER	96	74	0.7708	22	0.2291

REB/GAL = Rebeca x Gálvez; REB/SAL = Rebeca x Salamanca; REB/VER = Rebeca x Verano; T = Total; R = Resistentes I = Intermedios y S = Susceptibles.

Con los resultados obtenidos mediante el análisis de segregación Mendeliana, se asume una herencia de forma cuantitativa en la variedad Rebeca F2000. En diversos estudios se ha sugerido que la resistencia a *Septoria tritici* en trigos duros y harineros es controlada de forma cualitativa (Mc Cartney *et al.*, 2002 y 2003), ellos indican que la resistencia a *Mycosphaerella graminicola* fue controlada por genes incompletamente dominantes, mientras que Lee y Gough (1984) reportaron un gene simple dominante en F₂ y F₃ condicionando la resistencia a *S. tritici*. Otros autores mencionan que la resistencia es controlada por varios genes con efectos aditivos y genes con efectos dominantes (Jlibene *et al.*, 1994; Simón y Cordo, 1998; Van Ginkel y Echaren, 1987; Chartrain *et al.*, 2004a). La resistencia cualitativa (monogénica) es fácil de incorporar en nuevos cultivares, sin embargo, la resistencia cuantitativa (poligénica) es en general mas durable (Simón *et al.* 2001). De manera que Simón y Cordo (1988) mencionan

que no hay trigos totalmente resistentes al *S. tritici*, lo que sugiere la presencia de resistencia parcial. Por su lado, Chartrain *et al.* 2004b reportan que cultivares como Arina, Milan y Senat, presentaron altos niveles de resistencia parcial para la mayoría de los aislamientos probados así como a aislamientos de resistencia específica. Más tarde, Chartrain *et al.* (2005a) demostraron que en adición a los altos niveles de resistencia parcial a *S. tritici*, la línea TE9111 presenta un gene para resistencia al aislamiento IPO90012 llamado *Stb11*.

CONCLUSIONES

La herencia de la resistencia de la variedad Rebeca F2000 está condicionada por varios genes.

Existe la necesidad de continuar con investigaciones que permitan identificar el número de genes y el tipo de acción génica de la variedad Rebeca F2000.

La variedad Rebeca F2000 deberá considerarse como fuente de resistencia dentro de los programas de mejoramiento.

LITERATURA CITADA

Adhikari, T. B., J. M. Anderson, and S. B. Goodwin. 2003. Identification and molecular mapping of a gene in wheat conferring resistance to *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 93: 1158-1164.

- Adhikari, T., J. M. Anderson, and S. B. Goodwin. 2002. Molecular mapping of *Septoria tritici* leaf blotch resistance in wheat. *Phytopathology* 92: S2 (Abstract).
- Adhikari, T. B., J. R. Cavaletto, J. Dubcovsky, J. O. Gieco, A. R Schlatter, and S. B. Goodwin. 2004a. Molecular mapping of the *Stb4* gene for resistance to septoria tritici blotch in wheat. *Phytopathology* 94: 1198-1206.
- Adhikari, T. B., H. Wallwork, and S. B. Goodwin. 2004b. Microsatellite markers linked to the *Stb2* and *Stb3* genes for resistance to septoria tritici blotch in wheat. *Crop Sci.* 44: 1403-1411.
- Adhikari, T. B., X. Yang, J. R. Cavaletto, X. Hu, G. Buechley, H. W. Ohm, G. Shaner, and S. B. Goodwin. 2004c. Molecular mapping of *Stb1*, a potentially durable gene for resistance to septoria tritici blotch in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 109: 944-953.
- Arraiano, L. S., P. A. Brading, and J. K. M. Brown. 2001a. A detached seedling leaf technique to study resistance to *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*) in wheat. *Plant Pathol.* 50: 339-346.
- Arraiano, L. S., A. J. Worland, C. Ellerbrook, and J.K.M. Brown. 2001b. Chromosomal location of a gene for resistance to septoria tritici blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in the hexaploid wheat "Synthetic 6x". *Theor. Appl. Genet.* 103: 758-764.
- Arraiano, L. S., L. Chartrain, E. Bossolini, H. N. Slatter, B. Keller and J. K. M. Brown. 2007. A gene in European wheat cultivars for resistance to an African isolate of *Mycosphaerella graminicola*. *Plant Pathol.* 56:73-78.

- Brading, P. P., E. C. Verstappen, G. H. J. Kema y J. K. M. Brown. 2002. A gene-for-gene relationship between wheat and *Mycosphaerella graminicola*, the Septoria tritici blotch pathogen. *Phytopathology* 92: 439-445.
- Brown, J. K. M., G. H. J. Kema, H. R. Forrer, E. C. P. Verstappen, L. S. Arraino, 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.
- Bockus, W. W., J. A. Appel, R. L. Bowden, A. K. Fritz, B.S Gill, T. J. Martin, R. G. Sears, D. L. Seifers, G. L. Brown-Guedira, and M. G. Eversmeyer. 2001. Success stories: Breeding for wheat disease resistance in Kansas. *Plant Dis.* 85 (5): 453-461.
- Camacho-Casas, M. A., W. E. Kronstad and A. L. Scharen. 1995. *Septoria tritici* resistance and associations with agronomic traits in a wheat cross. *Crop Sci.* 35:971-976.
- Chartrain, L., P. A. Brading, J. P. Widdowson, and J. K. L. Brown. 2004a. Partial resistance to septoria tritici blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in the wheat cultivars Arina and Riband. *Phytopathology* 94: 497-504.
- Chartrain, L., P. A. Brading, J. C. Makepeace, and J. K. M. Brown. 2004b. Sources of resistance to septoria tritici blotch and implications for wheat breeding. *Plant Pathol.* 53: 454-460.
- Chartrain, L., P. Joaquim, S. T. Berry, L. S. Arraiano, F. Azanza and J. K. M. Brown. 2005a. Genetics of resistance to septoria tritici blotch in the Portuguese wheat breeding line TE 9111. *Theor Appl Genet* 110: 1138-1144.

- Chartrain, L., S. T. Berry y J. L. M. brown. 2005b Resistance of the wheat line Kavkaz-K4500 L. 6. A. 4 to septoria tritici blotch controlled by isolate-specific resistance genes. *Phytopathology* 95:664-71.
- Eyal, Z., A. L. Scharen, M. D. Huffman and J. M. Prescott. 1985. Global insights into virulence frequencies of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 75: 1456-1462.
- Eyal, Z., Z. Amiri, and I Wahl. 1973. Physiologic specialization of *Septoria tritici*. *Phytopathology* 63:1087-1091.
- Eyal, Z., and E. Levy. 1987. Variations in pathogenicity patterns of *Mycosphaerella graminicola* within *Triticum* spp. in Israel. *Euphytica* 36: 237-250.
- Halama, P. 1996. The occurrence of *Mycosphaerella graminicola*, teleomorph of *Septoria tritici* in France. *Plant Pathol.* 45: 135-138.
- Hardwick, N. V., D. R. Jones, J. E. Slough. 2001. Factors affecting diseases of winter wheat in England and Wales, 1989-98. *Plant Pathol.* 50: 453-462.
- Jlibene, M., J. P. Gustafson and S. Rajaram. 1994. Inheritance of resistance to *Mycosphaerella graminicola* in hexaploid wheat. *Plant Breed.* 112: 301-310.
- Johnson, R. 1992. Past, present and future opportunities in breeding for disease resistance, with examples from wheat. *Euphytica* 63: 3-22.
- Jorgensen, L. N., B. M. Secherand, and H. Hossy. 1999. Decision support systems featuring *Septoria* management. *In*: Lucas J. A., P. Bowyer, and H. M. Anderson (eds). *Septoria* on cereals. A study of pathosystems. IACR –

Long Ashton Research Station Bristol, UK. CABI. Publishing, Wallingford. pp: 251-262.

Kema, G. H. J., J. G. Annone R. Sayoud, C. H. Van Silfhout, M. Van Ginkel, and J. De Bree. 1996a. Genetic variation for virulence and resistance in the wheat-*Mycosphaerella graminicola* pathosystem: I. Interactions between pathogen isolates and host cultivars. *Phytopathology* 86: 200-212.

Kema, G. H. J., R. Sayoud, J. G. Annone, and C. H. Van Silfhout. 1996b. Genetic variation for virulence and resistance in the wheat-*Mycosphaerella graminicola* pathosystem: II. Analysis of interaction between pathogen isolates and host cultivars. *Phytopathology* 86: 213-220.

Kema, G. H. J., and C. H. Van Silfhout. 1997. Genetic variation for virulence and resistance in the wheat-*Mycosphaerella graminicola* pathosystem. III. Comparative seedling and adult plant experiments. *Phytopathology* 87: 266-272.

Lee, T. S., and F. J. Gough. 1984. Inheritance of Septoria leaf blotch (*S. tritici*) and Pyrenophora tan spot (*P. tritici repentis*) resistance in *Triticum aestivum* cv. Carifin 12. *Plant Dis.* 68: 848-851.

Leyva-Mir, S. G., L. Gilchrist-Saavedra, E. Zavaleta-Mejía 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.

Matus, T. I. 1993. Genética de la resistencia a *Septoria tritici* en trigos harineros. Tesis de maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 84 p.

- McCartney, C. A., A. L. Brule-Babel and L. Lamari. 2002. Inheritance of race-specific resistance to *Mycosphaerella graminicola* in wheat. *Phytopathology* 92: 138-144.
- McCartney, C. A., A. L. Brule-Babel, L. Lamari y D. J. Somers. 2003. Chromosomal location of a race-specific resistance gene to *Mycosphaerella graminicola* in the spring wheat *ST6*. *Theor. Appl. Genet.* 107 (7):1181-1186.
- Narvaez, J., and, R. M. Caldwell. 1957. Inheritance of resistance to leaf blotch of wheat caused by *Septoria tritici*. *Phytopathology* 47: 529-530. (Abstract).
- Rodríguez, C. M. E., E. E. Villaseñor-Mir, G. Leyva-Mir, J. Huerta-Espino, J. S. Sandoval-Islas, y H. M. de los Santos-Posadas. 2008. Efecto de *Septoria tritici* en el rendimiento de trigo de temporal en ambientes lluviosos de los Valles Altos Centrales de México. *Agrociencia* 42: 435-442.
- Rosielle, A. A., and A. G. P. Brown. 1979. Inheritance, heritability and breeding behavior of three sources of resistance to *Septoria tritici* in wheat. *Euphytica*. 28: 385-392.
- Saari, E. E., and J. M. Prescott. 1975. A scale for appraising the foliar intensity of wheat diseases. *Plant Dis. Rep.* 59: 377-380.
- Sandoval-Islas, J. S., L. H. M. Broers, H. Vivar and K. S. Osada. 1998. Evaluation of quantitative resistance to yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *hordei*) in the ICARDA/CIMMYT barley breeding programme. *Plant Breed.* 117: 127-130.

- Simón, M. R., and C. A. Cordo. 1998. Diallel analysis of four resistance components to *Septoria tritici* in six crosses of wheat (*Triticum aestivum*). Plant breed. 117: 123-126.
- Simón, M. R., A. J. Worland, C. A. Cordo, and P. C. Struik. 2001. Chromosomal location of resistance to *Septoria tritici* in seedlings of a synthetic hexaploid wheat, *Triticum spelta* and two cultivars of *Triticum aestivum* Euphytica 119: 149-153.
- Simón, M. R., F. M. Ayala, C. A. Cordo, M. S. Roder, and A. Borner. 2004. Molecular mapping of quantitative trait loci determining resistance to septoria tritici blotch caused by *Mycosphaerella graminicola* in wheat. Euphytica 138: 41-48.
- Van Beuningen, L. T., and M. M. Kohli. 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.
- Van Ginkel, M., and A. L. Scharen. 1987. Generation mean analysis and heritabilities of resistance to *Septoria tritici* in durum wheat. Phytopathology 77: 1629-1633.
- Van Ginkel, M., and A. L. Scharen. 1988. Host-pathogen relationships of wheat and *Septoria tritici*. Phytopathology 78: 762-766.
- Villaseñor, M. H. E. y E. Espitia-Rangel. 2000. Características de las áreas productoras de trigo de temporal: Problemática y condiciones de producción. In: Villaseñor M., H. E. y E. Espitia-Rangel (eds.) El trigo de temporal en México. SAGAR, INIFAP, CIR-CENTRO y CEVAMEX. México. pp: 85-98.

Villaseñor, M H. E., E. Espitia-Rangel, J. Huerta-Espino, R. González-Iñiguez, E. Solís-Moya y J. Peña-Bautista. 2004. Rebeca F2000, Nueva variedad de trigo para siembras en temporales favorables e intermedios en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27 (3): 285-287.

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.

Zadoks, J.C., T. T. Chang, and C. F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.

7. DISCUSION GENERAL

El término enfermedades por *Septoria* en trigo, se refiere a enfermedades causadas por la forma anamórfica de los hongos patógenos del género *Septoria*. Anteriormente el tizón de la gluma y el tizón foliar estaban clasificados dentro del género *Septoria*; actualmente, de acuerdo con la patogenicidad del hospedante y la morfología de la espora asexual, son clasificados como *Septoria tritici* y *Stagonospora nodorum* (Richardson y Noble, 1970; Cunfer y Ueng, 1999). Tanto *Septoria* como *Stagonospora* spp., están clasificados dentro de los Deuteromycetes orden Sphaeropsidales. Ambos géneros forman picnidios con ostiolo bien desarrollado con conidios alargados. Los conidios son hialinos a amarillo claro y presentan de 0-7 septas.

Las dos enfermedades causadas por *Stagonospora nodorum* Berk. y *Septoria tritici* Rob. y Desm., provocan serias pérdidas en el rendimiento de trigo mediante la reducción de la capacidad fotosintética en hojas y espigas (Ruzgas *et al.*, 2002). La especie económicamente más importante de este grupo es *Septoria tritici*, que ataca tanto a trigos duros como trigos harineros y que causa el tizón foliar o de la hoja (Eyal, 1981). La enfermedad denominada tizón foliar es causada por el patógeno *Septoria tritici* Roberge in Desmaz (anamorfo) (telemorfo *Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schrot. In Cohn). *M. graminicola* es un ascomyceto que pertenece al orden de los Dothideales, forma un pseudotecio subepidermal globoso, café oscuro dentro del cual se forman

ascosporas de dos células diferentes en tamaño, hialinas y elípticas (Wiese, 1977). Bajo condiciones de alta humedad, tanto ascosporas como picnidiosporas germinan y producen hifas que penetran en las hojas a través de los estomas (Cohen, L. y Eyal. 1993). La colonización es caracterizada por una naturaleza hemibiotrófica con crecimiento intercelular lo que provoca el colapso del tejido (Kema *et al.*, 2000). Simón y Cordo (1998) afirman que el estado de amacollamiento es el momento más temprano para la aparición de la enfermedad en áreas templadas con condiciones ambientales favorables.

Las pérdidas que ocasiona *S. tritici* en trigo cuando las variedades son susceptibles pueden ser hasta de un 60% y en México hasta de un 50%. Esta enfermedad puede afectar la productividad, el peso de grano y ciclo del cultivo. La incidencia de *S. tritici* depende de la susceptibilidad de la variedad, de la disponibilidad de inóculo, manejo del cultivo y las condiciones ambientales (temperaturas frescas, alta humedad y frecuencia de lluvia).

Estudios sobre el patosistema trigo-*Mycosphaerella graminicola* se han basado en epidemiología (Royle *et al.* 1986; Thomas *et al.*, 1989; Hess y Shaner, 1987; Shaw *et al.*, 1993; Royle, 1994; Hunter *et al.*, 1999; Chungu *et al.*, 2001), histología (Cohen y Eyal, 1993; Cárdenas-Soriano *et al.*, 2003), asociación entre *S. tritici*, altura de planta, características agronómicas y estados fenológicos (Baltazar *et al.*, 1990; Arama *et al.*, 1999; Camacho-Casas *et al.*, 1995; Gieco *et al.*, 2004; Simón *et al.*, 2005) y tipos de resistencia. Al igual que otras

enfermedades de trigo como mildew y royas, la resistencia al tizón foliar puede ser específica o parcial (Chartrain *et al.*, 2005). La resistencia específica es casi completa, de un solo gene puesto que sigue una relación gene a gene (Somasco *et al.*, 1996; Arraiano *et al.*, 2001; Brading *et al.*, 2002; McCartney *et al.* 2002; Adhikari *et al.*, 2004; Chartrain *et al.*, 2005; Arraiano *et al.*, 2007). La resistencia parcial es incompleta, poligénica y de aislamientos no específicos (Jlibene *et al.*, 1994; Simón y Cordo 1998; Zhang *et al.*, 2001).

El mejoramiento por resistencia a enfermedades es considerado el mejor método para el control de enfermedades, además de ser el método más apropiado en términos de estabilidad económica e impacto ambiental. Como en otras enfermedades, también en *S. tritici* el control mediante el uso de variedades resistentes es la mejor estrategia para minimizar las pérdidas. La resistencia genética a *S. tritici* puede ser expresada como una reducción en el tamaño de la lesión o como una reducción del área foliar cubierta por picnidios o ambos casos (Eyal *et al.*, 1987; Kema *et al.*, 1996a; Somasco *et al.*, 1996). Shaner y Finney (1982) reportaron una fuerte asociación entre densidad de picnidios y porcentaje necrótico de área foliar.

El conocimiento de la herencia de la resistencia a esta enfermedad es necesario para mejorar la efectividad en el mejoramiento genético. Se ha demostrado que genotipos de porte bajo y precoces son más susceptibles al ataque por *S. tritici* que los genotipos altos y tardíos, por lo que para evaluaciones sobre resistencia

se debería considerar también estos parámetros, pues en este caso en particular la resistencia no siempre es debido a factores genéticos sino que está influenciado por la altura de la planta, ya que los genotipos bajos de acuerdo a su porte se encuentran más al alcance de las fuente de inóculo.

En el presente trabajo se determinó que las líneas bajas fueron más susceptibles que las líneas altas, lo que determina que la incidencia del tizón foliar se manifiesta más cuando las hojas de las plantas están más próximas. Este efecto diferencial entre líneas altas y bajas se podría explicar por la barrera física hacia el patógeno en el caso de los genotipos altos, debido a que las hojas se encuentran más separadas lo que dificulta la dispersión de conidios por el salpique. Mientras la proximidad de las hojas en los genotipos bajos permite que las hojas en emergencia estén más expuestas al salpique de picnidiosporas o al contacto directo con las hojas inferiores infectadas. Por otro lado, cuando las plantas se establecieron bajo condiciones de competencia, la enfermedad causó mayor daño, incrementándose con mas intensidad en las líneas bajas, esto indica que la susceptibilidad al ataque del tizón foliar está influenciado por la altura de la planta y separación de las mismas.

La población de *Mycosphaerella graminicola* es genéticamente diversa (McDonald *et al.*, 1999) y el hongo puede reproducirse varias veces durante el estado de crecimiento del trigo (Kema *et al.*, 1996b). Esto incrementa el riesgo de cambios del patógeno que permiten romper la resistencia de los genes

presentes en la población hospedante (Chartrain *et al.*, 2004b). Un caso del rompimiento de resistencia ante la evolución del patógeno es el cultivar Gene en Oregon cinco años después de haber sido liberado, lo que indica que su resistencia fue específica (Cowger *et al.*, 2000). Sin embargo, existen líneas y cultivares como Kaukaz-K4500 (KK), Vernapolis y Bulgaria 88 que han mantenido su resistencia por varios años (Dubin y Rajaran, 1996; Eyal, 1999). La línea TE 9111 conocida como la más resistente en Europa al tizón foliar (Chartrain *et al.*, 2005), mostró ser la segunda en resistencia después del cultivar brasileño Vernapolis el cual se ha considerado como una fuente importante de resistencia (Brown *et al.*, 2001). Por otro lado, en adición a los altos niveles de resistencia parcial al tizón foliar, la línea TE 9111 tiene un nuevo gene de resistencia específica hacia un aislamiento de *M. graminicola* (Chartrain *et al.*, 2005). De manera que en este patosistema se cuenta con variedades que presentan ambos tipos de resistencia genética.

El tizón foliar es una enfermedad que se presenta en los ambientes lluviosos de los Valles Altos de México. La severidad de la enfermedad varía entre sitios y años de acuerdo con las condiciones ambientales. Su efecto directo repercute negativamente sobre el peso y rendimiento de grano y es de mayor magnitud a medida que las variedades son más susceptibles, de manera que para minimizar los efectos de esta enfermedad es necesario que se generen variedades con mayor nivel de resistencia.

El área foliar afectada por la presencia de picnidios es una variable efectiva para caracterizar genotipos de trigo resistentes al tizón foliar. Para tener una caracterización efectiva del germoplasma evaluado, es importante que el área foliar dañada se complemente con rendimiento de grano, peso de grano y el comportamiento de la enfermedad.

En el estudio de resistencia realizado los resultados sugieren de acuerdo con el análisis de segregación mendeliana que el tipo de herencia de la variedad Rebeca F2000 fue de carácter cuantitativo. Sin embargo, para corroborar esto es necesario definir el tipo de análisis cuantitativo a realizar, de manera que podamos disponer de resultados más contundentes.

LITERATURA CITADA

- Adhikari, T. B., X. Yang, J. R. Cavaletto, X. Hu, G. Buechley, H. W. Ohm, G. Shaner, and S. B. Goodwin. 2004. Molecular mapping of *Stb1*, a potentially durable gene for resistance to septoria tritici blotch in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 109: 944-953.
- Arama, F. P., J. E. Parlevliet, and C. H. van Silfhout. 1999. Heading date and resistance to *Septoria tritici* blotch in wheat not genetically associated. *Euphytica* 106: 63-68.
- Arraiano, L. S., A. J. Worland, C. Ellerbrook, and J.K.M. Brown. 2001. Chromosomal location of a gene for resistance to septoria tritici blotch

- (*Mycosphaerella graminicola*) in the hexaploid wheat "Synthetic 6x". Theor. Appl. Genet. 103: 758-764.
- Arraiano, L. S., L. Chartrain, E. Bossolini, H. N. Slatter, B. Keller, and J. K. M. Brown. 2007. A gene in European wheat cultivars for resistance to an African isolate of *Mycosphaerella graminicola*. Plant Pathol. 56: 73-78.
- Baltazar, B., A. L. Scharen and W. E. Kronstad. 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.
- Brading, P. P., E. C. Verstappen, G. H. J. Kema, and J. K. M. Brown. 2002. A gene-for-gene relationship between wheat and *Mycosphaerella graminicola*, the Septoria tritici blotch pathogen. Phytopathology 92: 439-445.
- Brown, J. K. M., G. H. J. Kema, H. R. Forrer, E. C. P. 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.
- Camacho-Casas, M. A., W. E. Kronstad and A. L. Scharen. 1995. *Septoria tritici* resistance and associations with agronomic traits in a wheat cross. Crop Sci. 35: 971-976.
- Cárdenas-Soriano, E., L. I. Gilchrist-Saavedra y S. G. Leyva-Mir. 2003. Histopatología del tizón del tizón foliar inducido por *Septoria tritici* Roberge in Desmaz. En 13 líneas de trigo (*Triticum aestivum* L.). Revista Mexicana de Fitopatología 21:137-142.

- Cohen, L. and Z. Eyal. 1993. The histology of processes associated with the infection of resistant and susceptible wheat cultivars with *Septoria tritici*. Plant Pathol. 42:737-743
- Cowger, C., M. E. Hoffer, and C. C. Mundt. 2000. Specific adaptation by *Mycosphaerella graminicola* to a resistant wheat cultivar. Plant Pathol. 49: 445-451.
- Cunfer, B. M. and P. P. Ueng. 1999. Taxonomy and identification of *Septoria* and *Stagonospora* species on small grain cereals. Annu. Rev. Phytopathol. 37:267-284.
- Chartrain, L., P. A. Brading, J. P. Widdowson, and J. K. L. Brown. 2004a. Partial resistance to septoria tritici blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in the wheat cultivars Arina and Riband. Phytopathology 94: 497-504.
- Chartrain, L., P. A. Brading, J. C. Makepeace, and J. K. M. Brown. 2004b. Sources of resistance to septoria tritici blotch and implications for wheat breeding. Plant Pathol. 53: 454-460.
- Chartrain, L., P. Joaquim, S. T. Berry, L. S. Arraiano, F. Azanza, and J. K. M. Brown. 2005. Genetics of resistance to septoria tritici blotch in the Portuguese wheat breeding line TE 9111. Theor. Appl. Genet. 110: 1138-1144.
- Chungu, C., J. Gilbert, and F. Townley-Smith. 2001. *Septoria tritici* blotch development as affected by temperature, duration of leaf wetness, inoculum concentration, and host. Plant Dis. 85 (4): 430-435.
- Dubin, H. J., and S. Rajaram. 1996. Breeding disease-resistant wheats for tropical highlands and lowlands. Ann. Rev. Phytopathol. 34: 503-526.

- Eyal, Z. 1981. Integrated control of *Septoria* diseases of wheat. *Plant Dis.* 65 (9): 763-768.
- Eyal, Z., A. L. Scharen, J. M. Prescott, and M. van Ginkel. 1987. Enfermedades del trigo causadas por *Septoria*: Conceptos y métodos relacionados con el manejo de estas enfermedades. CIMMYT. México, D. F. 52 p.
- Eyal, Z. 1999. The *Septoria tritici* and *Stagonospora nodorum* blotch diseases of wheat. *European J. Plant Pathol.* 105: 629-641.
- Gieco, J. O., J. Dubcovsky, and L. E. Aranha-Camargo. 2004. Interaction between resistance to *Septoria tritici* and phenological stages in wheat. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* 61 (4): 422-426.
- Hess, D. E., and G. Shaner. 1987. Effect of moisture and temperature on development of *Septoria tritici* blotch in wheat. *Phytopathology* 77: 215-219.
- Hunter, T., R. R. Coker, and D. J. Royle. 1999. The teleomorph stage, *Mycosphaerella graminicola*, in epidemics of septoria tritici blotch on winter wheat in the UK. *Plant Pathol.* 48: 51-57.
- Jlibene, M., J. P. Gustafson and S. Rajaram. 1994. Inheritance of resistance to *Mycosphaerella graminicola* in hexaploid wheat. *Plant Breed.* 112: 301-310.
- Kema, G. H. J., E. C. P. Verstappen and C. Waalwijk. 2000. Avirulence in the wheat septoria tritici leaf blotch fungus *Mycosphaerella graminicola* is controlled by a single locus. Research note. The American Phytopathological Society. 13 (12): 1375-1379.
- Kema, G. H. J., J. G. Annone, R. Sayoud, C. H. Van Silfhout, M. Van Ginkel, and J. De Bree. 1996a. Genetic variation for virulence and resistance in the

- wheat-*Mycosphaerella graminicola* pathosystem: I. Interactions between pathogen isolates and host cultivars. *Phytopathology* 86: 200-212.
- Kema, G. H. J., E. C. P. Verstappen, M. Todorova, C. Waalwijk. 1996b. Successful crosses and molecular tetrad and progeny analyses demonstrate heterothallism in *Mycosphaerella graminicola*. *Current Genetics* 30: 251-258.
- McCartney, C.A., A. L. Brule-Babel and L. Lamari. 2002. Inheritance of race-specific resistance to *Mycosphaerella graminicola* in wheat. *Phytopathology*. 92: 138-144.
- McDonald, B. A., J. Zhan, O. Yarden, K. Hogan, J. Garton, and R. E. Pettway. 1999. The population genetics of *Mycosphaerella graminicola* and *Stagonospora nodorum*. In: Lucas J. A., P. Bowyer, and H. M. Anderson (eds). *Septoria on cereals. A study of pathosystems*. IACR – Long Ashton Research Station Bristol, UK. CABI. Publishing, Wallingford. pp: 44-68
- Richardson, M. J. and M. Noble. 1970. *Septoria* species on cereals –a note to aid their identification. *Plant Pathol.* 19: 159-163.
- 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.
- Royle, D. J. 1994. Understanding and predicting epidemics: A commentary based on selected pathosystems. *Plant Pathol.* 43: 777-789.
- Ruzgas, V., P. Petrauskas, and Z. Liatukas. 2002. Resistance of winter wheat varieties to fungal disease *Erysiphe graminis* D. C. sp. *tritici* E. Marshal,

- Septoria tritici* Rob. et Desm. and *Stagonospora nodorum* Berk. Biologija Nr 1: 43-45.
- Shaner, G. and R. E. Finney. 1982. Resistance in soft red winter wheat to *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology* 72:154-158.
- Shaw, M. W., D. J. Royle, and D. Shtienberg. 1993. Factors determining the severity of epidemics of *Mycosphaerella graminicola* (*Septoria tritici*) on winter wheat in the UK. *Plant Pathol.* 42: 882-889.
- Simón, M. R., and C. A. Cordo. 1998. Diallel analysis of four resistance components to *Septoria tritici* in six crosses of wheat (*Triticum aestivum*). *Plant Breed.* 117: 123-126.
- Simón, M. R., A. E. Perelló, C. A. Cordo, S. Larrán, P. E. L. van der Putten, and P. C. Struik. 2005. Association between septoria tritici blotch, plant height, and heading date in wheat. *Agronomy J. Plant Dis.* 97: 1072-1081.
- Somasco, O. A., C. O. Qualset, and D. G. Gilchrist. 1996. Single gene resistance to *Septoria tritici* blotch in the spring wheat cultivar Tadinia. *Plant Breed.* 115: 261-267.
- Thomas, M. R. Cook, R. J., and King, J. E. 1989. Factors affecting the development of *Septoria tritici* in winter wheat and its effect on yield. *Plant Pathol.* 38:246-257.
- Wiese, V. M. 1977. Compendium of wheat diseases. American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA 106p.
- Zhang, X., S. D. Haley and Y. Jin. 2001. Inheritance of *Septoria tritici* Bloch resistance in winter wheat *Crop Sci.* 41: 323-326.

8. CONCLUSIONES GENERALES

El tizón foliar puede causar pérdidas en el rendimiento del trigo en los Valles Altos de México del 44 al 50%, cuando las variedades son susceptibles.

Se determinaron tres niveles de resistencia: Resistentes (Rebeca F2000), moderadamente resistente (Triunfo F2004) y susceptibles (Gálvez M87, Salamanca S75 y Verano S91)

Las líneas de porte bajo fueron más susceptibles que las líneas de porte alto.

El tizón foliar bajo condiciones de competencia (separación entre hileras de plantas) causó mas daño, incrementándose con mayor intensidad en las líneas de porte bajo.

La herencia de la resistencia de la variedad Rebeca F2000 está condicionada por varios genes.

Existe la necesidad de continuar con investigaciones que permitan identificar el número y genes y el tipo de acción génica de la variedad Rebeca F2000.