

Pérdidas ocasionadas por *Zymoseptoria tritici* en genotipos de trigo en ambientes de temporal

Héctor Eduardo Villaseñor Mir¹
María Elsa Rodríguez Contreras¹
Julio Huerta Espino¹
Santos Gerardo Leyva Mir²
Eliel Martínez Cruz¹
María Florencia Rodríguez García^{1§}

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. (villasenor.hector@inifap.gob.mx; rguezc@yahoo.com.mx; j.huerta@cgiar.org; martinez.eliel@inifap.gob.mx). ²Departamento de Parasitología Agrícola-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56 230. (lsantos@correo.chapingo.mx).

§Autor para correspondencia: rodriguez.maria@inifap.gob.mx.

Resumen

El tizón foliar causado por *Mycosphaerella graminicola* (anamorfo *Zymoseptoria tritici* o *Septoria tritici*), es una enfermedad presente en áreas lluviosas de siembras de temporal de trigo en los Valles Altos del Centro de México. El efecto sobre el rendimiento de grano que causa la enfermedad es variable, dependiendo de la localidad y el nivel de resistencia de las variedades. Los objetivos de la investigación fueron determinar el porcentaje de pérdidas que causa el tizón foliar y la respuesta de variedades comerciales sembradas en ambientes de temporal. Se evaluaron cinco variedades de trigo harinero en dos tratamientos, con control y sin control de la enfermedad, en las localidades de Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala, durante los ciclos verano 2007 y 2008. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones con arreglo de tratamientos de parcelas divididas. La disminución en el rendimiento que causó el tizón foliar fue del 41 y 40% en Salamanca S75 y Gálvez M87 respectivamente, 33% para Verano S91, Triunfo F2004 24% y 9% de pérdidas en Rebeca F2000. Con base al nivel de resistencia, se determinaron tres grupos de variedades: Rebeca F2000 resistente, Triunfo F2004 moderadamente resistente, Gálvez M87, Salamanca S75 y Verano S91 susceptibles. El mejor sitio de prueba fue Juchitepec, Estado de México. Los resultados indican que se debe de incorporar mayor resistencia a *Zymoseptoria* en futuras variedades incluyendo a Rebeca F2000 como fuente de resistencia, lo que permitirá disminuir pérdidas en rendimiento en ambientes donde la enfermedad es importante.

Palabras clave: *Triticum aestivum*, *Zymoseptoria tritici*, rendimiento, tizón foliar, variedades susceptibles.

Recibido: febrero de 2020

Aceptado: abril de 2020

Introducción

El tizón foliar es una enfermedad de trigos harineros (*Triticum aestivum* L.) y trigos duros (*T. turgidum* var. *durum*) causado por el patógeno *Mycosphaerella graminicola* (anamorfo *Zymoseptoria tritici* o *Septoria tritici*) considerada como prevalente en los campos de producción de este cereal (Berraies *et al.*, 2014; Fones y Gurr, 2015).

El patógeno tiene una amplia capacidad de sobrevivencia y ha coexistido con el cultivo por años, las fuentes de inóculo son de vital importancia para el inicio de una epidemia, debido a que sus estructuras reproductivas, ascosporas, picnidiosporas y micelio se encuentran principalmente en los residuos de cosecha de trigo, semilla infectada, y otras especies hospedantes (Suffert *et al.*, 2011; Steinberg, 2015). Kema *et al.* (1996) menciona que *Z. tritici* no produce estructuras de resistencia en el suelo por lo que para la epidemiología de la enfermedad.

El hongo necesita que los restos de la cosecha de trigo anterior permanezcan en el campo como reservorio de los peritecios los cuales son las estructuras fungosas, que serán el inóculo primario para el siguiente ciclo de producción. El tizón foliar ha provocado pérdidas en rendimiento de hasta 60% (Arraiano *et al.*, 2001a) en el cultivo y es propia de partes altas y lluviosas (Cowger *et al.*, 2000) o de áreas templado-húmedas en todo el mundo (Fones y Gurr, 2015).

En donde año con año, debido a la presencia de los residuos de cosecha, la incidencia de la enfermedad se incrementa (Castro *et al.*, 2015). En México se ha reportado alta incidencia y severidad de *Zymoseptoria tritici* (Eyal *et al.*, 1985). Leyva *et al.* (2006) la reportaron en áreas de temporal del Altiplano Mexicano (Estado de México, Jalisco y Michoacán); mientras que Rodríguez *et al.*, (2008), la reportaron en zonas de Juchitepec, México y Nanacamilpa, Tlaxcala, con un efecto de perdidas promedio en el rendimiento de grano que van de 6 a 36%.

En variedades con diferentes grados de resistencia como Temporalera M87, Batán F96 y Romoga F96 y en donde prevalecen condiciones favorables de clima y suelo para lograr altos rendimientos en trigo de temporal, razón por la que el monocultivo de este cereal se 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 la agricultura moderna (Ayliffe y Lagudah, 2004) ya que es el método más apropiado en términos de estabilidad económica e impacto ambiental, de manera que el mejoramiento para resistencia a enfermedades foliares ha sido la estrategia más utilizada (Tyryshkin y Tyryshkina, 2003; Brown *et al.*, 2015) para el control de las enfermedades en trigo, dentro de las cuales *Z. tritici* no ha sido la excepción (Nelson y Marshall, 1990).

Se considera que el tizón foliar es una de las mayores amenazas en la mayoría de las áreas lluviosas donde se cultiva trigo alrededor del mundo (Halama, 1996; Jorgensen *et al.*, 1999; Hardwick *et al.*, 2001) y en México (Leyva *et al.*, 2006). El control químico de esta enfermedad en este caso no es la mejor alternativa para minimizar los daños.

Por lo que es necesario tener conocimiento de la respuesta de diferentes genotipos hacia esta enfermedad para decidir qué variedades sembrar (Arraiano *et al.*, 2001b) y cuáles utilizar como fuente de resistencia en el mejoramiento genético (Rajaram, 1994) de manera que el objetivo del presente trabajo fue cuantificar el daño de *Z. 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 el presente estudio se utilizaron las variedades de trigo Salamanca S75, Gálvez M87, Verano S91, Rebeca F2000 y Triunfo F2004 (Cuadro 1) recomendadas para siembras de temporal y que han mostrado diferente grado de resistencia a *Z. tritici* (Villaseñor *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Genealogía y pedigrí de las variedades de trigo evaluadas en Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala.

Variedades	Genealogía	Referencia
Salamanca S75	CNO/PJ62//CNO/7C II26265-22Y-300M-301Y-2M-501Y-500M-0Y-0MEX	Skovmand <i>et al.</i> (1997)
Gálvez M87	BB/GLL//CARP/3/PVN CM33483-C-7M-1Y-0M-5B-0Y	Villaseñor y Espitia (2000)
Verano S91	BB/CNO//JYCO/3/IN/TGLR/4/VCM/SON//CNO79 TC-820007-07C-05-08C-7R-0C	Villaseñor y Moreno (1998)
Rebeca F2000	Pfau/Seri//Bobwhite CM85295-0101TOPY-2M-0Y-0M-1Y-0M-(1-50)C-032R-0C	Villaseñor <i>et al.</i> (2004)
Triunfo F2004	Romoga/Norm TC950319-S-22C-0R-0C-0R-1C-0R	Villaseñor y Espitia (2000)

La siembra se realizó durante los ciclos de verano 2007 y 2008 en las localidades de Juchitepec, Estado de México y Nanacamilpa, Tlaxcala. Se establecieron cinco experimentos, tres en Juchitepec (parte alta JUCHI1 V-2007 y JUCHI2 V-2008 y parte baja JUCHI3 V-2008) ubicado a 2 590 msnm, 19° 05' latitud norte y 98° 52' longitud oeste con una precipitación anual de 853 mm, y dos en Nanacamilpa (NANA1 V-2007 y NANA2 V-2008) a 2 720 msnm, 19° 29' latitud norte y 98° 32' longitud oeste, con precipitación anual de 841 mm.

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 *Z. tritici* fueron las parcelas grandes y las variedades las sub-parcelas. El tamaño de la sub-parcela fue 3.6 m², que correspondió a cuatro surcos con separación de 0.3 m x 3 m de longitud.

En el primer tratamiento se realizaron dos aplicaciones del fungicida Sportak[®] (Procloraz, 1 L ha⁻¹), la primera durante la etapa de floración y la segunda 20 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 aspersión de una suspensión aproximada de 10^7 picnidiosporas mL^{-1} de agua, a la que se agregó Tween 20[®] como surfactante (Wainshilbaum y Lipps, 1991) con una bomba de ultra bajo volumen. Se aplicó la fórmula de fertilización 80-40-20 al momento de la siembra 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.

Se evaluaron variables directas e indirectas. Las primeras fueron de las parcelas experimentales: rendimiento de grano (KGHA) obtenido de cada parcela en g m^{-2} y transformado a kg ha^{-1} e infección máxima (IMAX) (área con necrosis por la presencia de picnidios en porcentaje bajo una escala de 0 a 100) (King *et al.*, 1983).

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: peso de mil granos en g (PMG). Por otra parte, con el rendimiento de grano y materia seca de los 25 tallos y el peso de mil granos permitió calcular biomasa en kg ha^{-1} ($\text{BIOM} = [(\text{RGP} + \text{RE25T}) / \text{PU}] / \text{IC}$) e índice de cosecha ($\text{IC} = \text{RE25T} / \text{RB25T}$). 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 (Rodríguez *et al.*, 2008). La toma de datos para evaluar el área bajo la curva del progreso y comportamiento de *Z. tritici* se inició 80 días después de la siembra aproximadamente, cuando se observaron síntomas de la enfermedad en las parcelas y se realizaron cuatro evaluaciones a intervalos semanales de daño de área foliar.

La última lectura se realizó en la etapa de grano masoso (King *et al.*, 1983), cuando se observó el máximo nivel de enfermedad en las variedades más susceptibles, misma que se consideró como infección máxima de área foliar. Se realizó un análisis de varianza utilizando los procedimientos GLM del SAS[®] 9.3, 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 *Z. tritici* (ABCPE) se calculó usando el módulo de análisis de datos Office Excel 2016 de Microsoft[®] utilizando la siguiente ecuación según Bjarko y Line (1988).

$$\text{ABCPE} = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{x_i + x_{i+1}}{2} \right) t_i$$

Donde: x_i = porcentaje de área foliar afectado en cada lectura; i, t_i = intervalo de tiempo (días) entre la fecha i y la fecha $i + 1$; y n = número de lecturas.

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 existieron diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre sitios en todas las variables evaluadas, excepto en IMAX donde la diferencia fue significativa ($p \leq 0.05$). Se encontraron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) entre tratamientos y variedades en todas las variables.

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.

FV	GL	KGHA	PMG	BIOMASA	IMAX	ABCPST
Sitio	4	44 646 853**	317.8**	1 036 976 395**	318*	3 597 696.4**
Rep (sitio)	15	499 243	11	13 744 975	139 128.125	70 820.5
Trat	1	119634 152**	2151.7**	536 976 308.3**	139 128.1**	49747818.8**
Sitio*Trat	4	4 321 000**	141.6**	41 323 304.1**	173.7*	933 564.5*
Rep*Trat (sitio)	15	383 600	7.7	3 397 597	28.6	92 367.9
Var	4	14 254 138**	230.5**	113 524 300**	9 902.3**	5 294 418.1**
Sitio*Var	16	750 962**	38**	3 893 995*	181.9**	100 863.3**
Trat*Var	4	4 138 825**	148.8**	14 065 364*	7 255.6**	2394576.36**
Sitio*Trat*Var	16	582 645**	16.6*	8 151 988*	133.3**	593 64.91*
Error	120	166 716	8.5	3 681 825	33.7	1 9018.8
Total	199					
Media		4 366.7	38.9	11 786.4	45.4	1113
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 *Zymoseptoria tritici*.

En las interacciones sitio por tratamiento se observaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) 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 significativas ($p \leq 0.01$) y en el resto de las variables las diferencias fueron significativas ($p > 0.05$). En el Cuadro 3 se presentan las medias promedio de las variables kilogramo por hectárea (KGHA), peso de mil granos (PMG), BIOMASA, infección máxima (IMAX) y área bajo la curva del progreso de *Zymoseptoria tritici* (ABCPST).

La enfermedad en la variedad Rebeca F2000 disminuyó su rendimiento promedio en 9%, mientras que en Triunfo F2004 el efecto de la enfermedad fue de 24%. En la variedad Verano S91 la disminución promedio en el rendimiento fue de 33%, mientras que Gálvez M87 y Salamanca S75 resultaron ser las más afectadas por la enfermedad con pérdidas promedio de 40 y 41%, respectivamente.

Cuadro 3. Pérdidas promedio en el rendimiento causados por *Zymoseptoria tritici* para las variables KGHA, PMG, BIOMASA y valores de incidencia y desarrollo de la enfermedad IMAX y ABCPST en cinco variedades, promedio de cinco sitios.

Variedad	Pérdidas (%)						
	CF	SF	KGHA	PMG	BIOMASA	IMAX	ABCPST
Rebeca F2000	5 595	5 089	9 a	1.36 a	11 a	27 c	704 c
Triunfo F2004	5 162	3 776	24 b	12.86 b	17 b	58 b	1284 b
Gálvez M87	5 019	2 960	40 c	21.88c d	29 c	91 a	2071 a
Salamanca S75	4 845	2 801	41 cd	17.18 c	32 cd	93 a	2131 a
Verano S91	5 077	3 337	33 d	21.62 cd	29 c	91 a	1865 a

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%); KGHA= kilogramo por hectárea; %= efecto de *Z. tritici* en el rendimiento ((KGHA CF- KGHA SF)*100/KGHA CF)); PMG= peso de mil granos; %= efecto de *Z. tritici* en peso de mil granos ((PMG CF- PMG SF)*100/PMG CF)); %= efecto de *Z. tritici* en biomasa ((biomasa CF- biomasa SF)*100/biomasa CF)); IMAX = nivel máximo de infección promedio de cada variedad y cinco sitios sin aplicación de fungicida; ABCPST= área bajo la curva promedio de cada variedad y cinco sitios sin aplicación de fungicida.

Sin embargo, las pérdidas pueden llegar a ser hasta del 50% cuando las condiciones son favorables para *Z. tritici* como ocurrió en JUCHI2 y se siembra una variedad susceptible como Salamanca S75 (Cuadro 4). Lo anterior demuestra que *Z. 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 como lo reportaron Mc Kendry *et al.* (1995).

Cuadro 4. Pérdidas en rendimiento de grano (KGHA) en % causados por *Zymoseptoria tritici* para la cinco variedades y cinco sitios durante el verano 2007 y 2008.

Variedad	Juchi1	Juchi2	Juchi3	Nana1	Nana2
	Pérdidas KGHA (%)				
Rebeca F2000	8	8	10	8	11
Triunfo F2004	16	48	16	17	24
Gálvez M87	38	43	34	43	43
Salamanca S75	45	50	35	46	32
Verano S91	35	48	28	36	20

KGHA= kilogramo por hectárea; %= efecto de *Z. tritici* en el rendimiento ((KGHA CF- KGHA SF)*100/KGHA CF)).

Se observó también que en PMG Rebeca F2000 fue la que presentó en promedio menor porcentaje de pérdidas (1.36%), seguida de Triunfo F2004 (12%), Salamanca S75 (17.18%) y finalmente Gálvez M87 y Verano S91 (21.88 y 21.62%, respectivamente). Eyal y Ziv (1974) mencionan que las pérdidas en rendimiento causadas por el tizón foliar están asociadas con la disminución en el peso de grano, de manera que las pérdidas mínimas registradas en Rebeca F2000. Son indicador de su resistencia a esta enfermedad y que coincide con lo mencionado por Leyva *et al.* (2006).

Al reportar genotipos resistentes con pérdidas en rendimiento menores al 13% en la variedad con respecto a los susceptibles; por otra parte, Rodríguez *et al.* (2008), indicaron que las pérdidas en rendimiento en variedades tolerantes como Batan F96 fueron de 16% mientras que en variedades antiguas y susceptibles como Siete Cerros fue de 36%.

También en trigo duro el comportamiento de la resistencia a *Z. tritici* es similar como lo reporta Berraies *et al.* (2014) quienes indicaron que en trigo duro las variedades susceptibles llegan a tener pérdidas en el rendimiento de un 50% mientras que en variedades resistentes solo de 8.6%. En Rebeca F2000 se observó el menor porcentaje promedio de pérdidas para la variable BIOMASA (11%), seguida por Triunfo F2004 (17%) y en tercer término Gálvez M87, Salamanca S75 y Verano S91 con una disminución de 29 a 32%.

La producción de biomasa se puede considerar 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). Sin embargo, la determinación visual del progreso de la enfermedad permite seleccionar un gran número de líneas sin necesidad de cosechar.

Con la variable IMAX (Cuadro 3) se identificaron tres grupos de medias: Salamanca S75, Gálvez M87 y Verano S91 en todos los sitios y en promedio general, se ubicaron en el primer grupo con los niveles de infección máxima de área foliar (alrededor del 90%) en el segundo grupo se ubicó a Triunfo F2004 con lecturas promedio de 58% de área infectada y por último se identificó a Rebeca F2000 con nivel de infección promedio de 27%.

Es importante considerar que la infección máxima (IMAX) está asociada con la reducción del área foliar cubierta con picnidios y ésta a su vez expresa el nivel de resistencia a *Z. tritici* (Gieco *et al.*, 2004). En ausencia de inmunidad al tizón foliar la categorización de la resistencia está basada en un número limitado de lesiones (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.

Cuando existen más de uno (Nelson y Marshall, 1990; Leyva *et al.*, 2006), de manera que considerando el IMAX, la variedad Rebeca F2000 puede clasificarse como resistente. En ABCPST también se observan diferencias entre variedades y de la misma manera que en IMAX se identificaron los mismos tres grupos. La infección máxima y severidad de la enfermedad esta correlacionada con el porcentaje de pérdidas de la enfermedad, por lo que es una variable que permite seleccionar más fácilmente genotipos con resistencia que tendrán menores pérdidas en el rendimiento.

En el Cuadro 4 se presentan las pérdidas en el rendimiento en porcentaje para las cinco variedades y los cinco ambientes de prueba, donde se puede observar que la variedad Rebeca F2000 clasificada como resistente el comportamiento fue muy similar en todos los ambientes de prueba con pérdidas de 8 a 11%, mientras que la variedad más susceptible (Salamanca S75) fueron de 32 a 50%, lo que indica que la expresión del nivel de la resistencia de las variedades al tizón foliar depende del ambiente.

El efecto promedio de *Z. tritici* por sitio para las variables KGHA, PMG, BIOMASA, IMAX y ABCPST, se observó en el Cuadro 5. Las pérdidas ocasionadas por el hongo 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 tal y como lo mencionan Royle *et al.* (1986).

Cuadro 5. Efecto de *Zymoseptoria tritici* para las variables KGHA, PMG, BIOMASA, IMAX y ABCPST promedios de variedades en cinco sitios de prueba durante el verano 2007 y 2008.

Sitio	KGHA (%)	PMG (%)	Biomasa (%)	IMAX (%)	ABCPST
Juchi 1	28	6	25	72.5	1718
Juchi 2	39	27	26	66.5	1343
Juchi 3	24	16	18	72	1081
Nana 1	30	7.7	29	72.5	1645.6
Nana2	26	19	19	75.5	2270.5

KGHA= kilogramo por hectárea; %= efecto de *Z. tritici* en el rendimiento $((\text{KGHA CF} - \text{KGHA SF}) * 100 / \text{KGHA CF})$; PMG= peso de mil granos; %= efecto de *Z. tritici* en peso de mil granos $((\text{PMG CF} - \text{PMG SF}) * 100 / \text{PMG CF})$; %= efecto de *Z. tritici* en biomasa $((\text{biomasa CF} - \text{biomasa SF}) * 100 / \text{biomasa CF})$; IMAX= nivel máximo de infección promedio de cada variedad y cinco sitios sin aplicación de fungicida; ABCPST= área bajo la curva promedio de cada variedad y cinco sitios sin aplicación de fungicida.

Se observó que al igual que el rendimiento de grano, el peso de mil granos resultó afectado en todos aquellos sitios en donde se presenta esta enfermedad, esta variable varió entre los sitios de prueba de 6% (JUCHI1) a 27% (JUCHI2), esto indica que el peso del grano es una variable directamente afectada por la incidencia del tizón foliar, coincidiendo con lo reportado por Zuckerman *et al.* (1997); Berraries *et al.* (2014).

También 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 de producir materia seca. Se observó que *Z. tritici* es una enfermedad que afectó la producción de biomasa, las pérdidas causadas en los sitios variaron de 18% (JUCHI3) a 29% (NANA1), resultando que esta variable presentó respuesta semejante a las variables rendimiento y peso de mil granos.

Rodríguez *et al.* (2008) reportan pérdidas similares en rendimiento de grano en los ambientes de JUCHI (30%) y NANA (27%) durante 1997 y 1998, lo que indica que dichos ambientes son propicios para el desarrollo y evaluación de *Z. tritici*, porque las condiciones ambientales han sido estables; a través, del tiempo.

Con respecto a infección máxima (IMAX), el valor promedio más bajo entre sitios 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. Se presentan, además, los resultados del área bajo la curva del progreso de *Z. tritici* (ABCPST), en donde se observaron variaciones de 2270 (NANA2) a 1081 (JUCHI3), que demuestran el daño ocasionado por el tizón foliar en los diferentes sitios de prueba.

En la Figura 1 se presenta el comportamiento de la enfermedad en el sitio JUCHI2 en donde causó mayores daños *Z. 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.

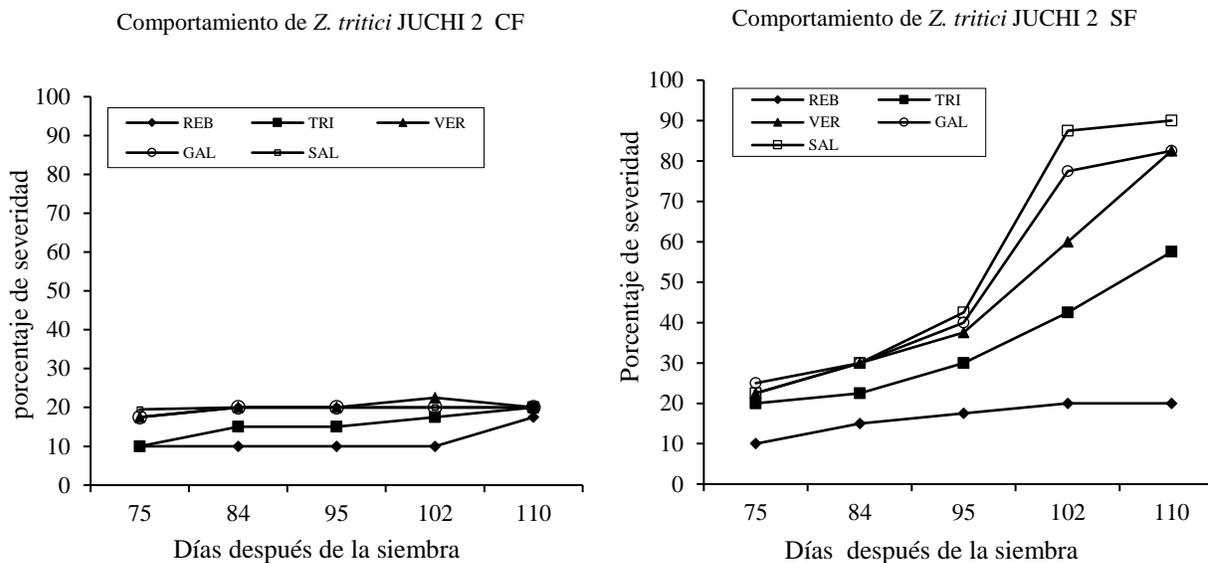


Figura 1. Comportamiento de las variedades en respuesta a la infección de *Zymoseptoria tritici* con y sin tratamiento de fungicida en el sitio (JUCHI2).

Presentaron desde los inicios de la infección mayor área foliar dañada y a partir del día 95 el porcentaje de infección aumentó de manera acelerada hasta llegar a más de 85%, a diferencia de Triunfo F2004 en donde el aumento fue menor y alcanzó un nivel máximo de 60%, en Rebeca F2000 puede notarse como el crecimiento de la enfermedad fue muy lento a través del tiempo, lo que refleja su resistencia a *Z. tritici*.

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 los cinco sitios evaluados, se observa que la variedad susceptible presentó un desarrollo acelerado de la enfermedad sin fungicida, mientras que Rebeca F2000 expresó su nivel de resistencia en los cinco sitios de prueba.

En este pato sistema se consideraron componentes agronómicos y fitopatológicos para estudiar el efecto del tizón foliar en trigo y para clasificar las variedades; dentro de los componentes agronómicos se consideran rendimiento de grano, peso de mil granos y biomasa, variables que permitieron conocer la magnitud del daño que causa la enfermedad en diferentes sitios y entre variedades.

Dentro de los componentes fitopatológicos se consideró la infección máxima, área bajo la curva del progreso de la enfermedad y el comportamiento de la enfermedad a través del tiempo, variables que permitieron diferenciar a las variedades. La infección máxima 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); Gieco *et al.* (2004); Brown *et al.* (2015).

Sin embargo, el progreso de la enfermedad también resultó ser una herramienta importante complementaria para identificar resistencia y clasificar un grupo de genotipos. Para tener una caracterización efectiva del germoplasma evaluado, fue de utilidad complementar el área foliar dañada con rendimiento de grano, peso de grano, así como el comportamiento de la enfermedad bajo los tratamientos con y sin fungicida.

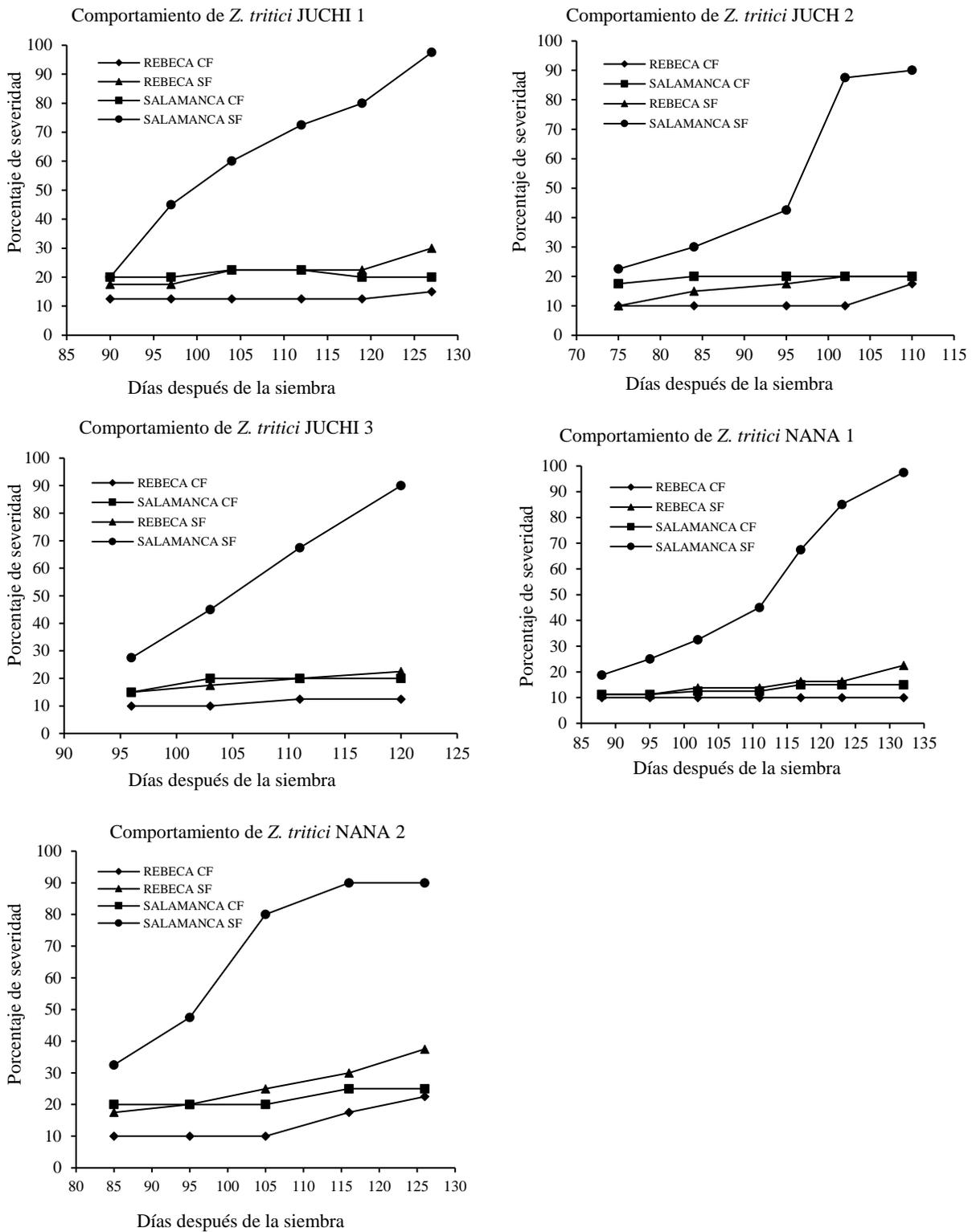


Figura 2. Comportamiento de las variedades Rebeca F2000 y Salamanca S75 en respuesta a la enfermedad y sin fungicida en cinco sitios de prueba.

Lo que permitió identificar genotipos resistentes, de 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). Por otra parte, JUCHI2 (V-2008) fue la localidad donde la variedad más susceptible (Salamanca S75) tuvo las mayores pérdidas en grano (50%) lo que indica que JUVHI2 fue el mejor sitio de prueba para la evaluación de *Zymoseptoria tritici* en ambientes de temporal en los Valles Altos de México.

Conclusiones

La disminución promedio del rendimiento que causó el tizón foliar causado por *Zymoseptoria tritici* en trigo fue de 30% y puede llegar hasta 50% en variedades susceptibles. Se determinaron tres grupos de variedades con base en la resistencia: la variedad Rebeca F2000 como resistente, Triunfo F2004 moderadamente resistente y Gálvez M87, Salamanca S75 y Verano S91 como susceptibles.

JUCHI2 fue la mejor localidad de prueba para el tizón foliar. Las pérdidas causadas por el tizón foliar se puede minimizar mediante la siembra de variedades resistentes. Rebeca F2000 puede utilizarse como progenitor dentro de los programas de mejoramiento para obtener más y mejores variedades de trigo adecuadas para ambientes lluviosos.

Literatura citada

- Arraiano, L. S.; Brading, P. A. and Brown, J. K. M. 2001a. A detached seedling leaf technique to study resistance to *Mycosphaerella graminicola* (anamorph *Septoria tritici*) in wheat. *Plant Pathol.* 50(3):339-346. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2001.00570.x>.
- Arraiano, L. S.; Worland, A. J.; Ellerbrook, C. and Brown, J. K. M. 2001b. Chromosomal location of a gene for resistance to septoria tritici blotch (*Mycosphaerella graminicola*) in the hexaploid wheat "Synthetic 6x". *Theoretical and Applied Genetics.* 103(5):758-764.
- Ayliffe, M. A. and Lagudah, E. S. 2004. Molecular genetics of disease resistance in cereals. *Annals Bot.* 94(6):765-773. <https://doi.org/10.1093/aob/mch207>.
- Berraies, S.; Gharbi, M. S.; Rezugui, S. and Yahyaoui, A. 2014. Estimating grain yield losses caused by septoria leaf blotch on durum wheat in Tunisia. *CHILEANJAR.* 74(4):432-437. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392014000400009>.
- Bjarko, M. E. and Line, R. F. 1988. Heritability and number of genes controlling leaf rust resistance in four cultivars of wheat. *Phytopathology.* 78(4):457-461.
- Brown, J. K. M.; Chartrain, L.; Lasserre-Zuber, P. and Saintenac, C. 2015. Genetics of resistance to zymoseptoria tritici and applications to wheat breeding. *Fungal Gen. Biol.* 79(6):33-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.017>.
- Castro, A. C.; Golic, S. I. y Simón, M. R. 2015. Efecto de la mancha de la hoja sobre la duración del área foliar verde, dinámica del N, rendimiento y calidad del trigo. *Revista FABE-Ciencias Agrarias.* 14 (2):2-16.
- Cohen, L. and Eyal, Z. 1993. The histology of processes associated with the infection of resistant and susceptible wheat cultivars with *Septoria tritici*. *Plant Pathol.* 42(5):737-743.
- Cowger, C.; Hoffer, M. E. and Mundt, C. C. 2000. Specific adaptation by *Mycosphaerella graminicola* to a resistant wheat cultivar. *Plant Pathol.* 49(4):445-451.

- Eyal, Z.; Scharen, A. L.; Huffman, M. D. and J. Prescott, M. 1985. Global insights into virulence frequencies of *Mycosphaerella graminicola*. *Phytopathology*. 75(12):1456-1462.
- Eyal, Z. and Ziv, O. 1974. The relationship between epidemics of septoria leaf blotch and yield losses in spring wheat. *Phytopathology*. 64(11):1385-1389.
- Fones, H. and Gurr, S. 2015. The impact of *Septoria tritici* blotch disease on wheat: an EU perspective. *Fungal Gen. Biol.* 79(1):3-7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.004>.
- Gieco, J. O.; Dubcovsky, J. and Aranha-Camargo, L. E. 2004. Interaction between resistance to *Septoria tritici* and phenological stages in wheat. *Scientia Agricola (Piracicaba, Braz.)*. 61(4):422-426.
- Halama, P. 1996. The occurrence of *Mycosphaerella graminicola*, teleomorph of *Septoria tritici* in France. *Plant Pathol.* 45(1):135-138.
- Hardwick, N. V.; Jones, D. R. and Slough, J. E. 2001. Factors affecting diseases of winter wheat in England and Wales, 1989-98. *Plant Pathol.* 50(4):453-462.
- Jorgensen, L. N.; Secherand, B. M. and Hossy, H. 1999. Decision support systems featuring *Septoria* management. *In: Lucas, J. A.; Bowyer, P. and Anderson, H. M. (Eds.). Septoria on cereals. A study of pathosystems. IACR-Long Ashton Research Station Bristol, UK. CABI. Publishing, Wallingford. 251-262 pp.*
- Kema, G. H. J.; Annone, J. G.; Sayoud, R. C.; Silfhout, H. V.; Ginkel, M. V. and Bree, J. De. 1996. Genetic variation for virulence and resistance in the wheat-*Mycosphaerella graminicola* pathosystem I. interactions between pathogens isolates and host cultivars. *Phytopathology*. 86(2):201-212.
- King, J. E.; Cook, R. J. and Melville, S. C. 1983. A review of *Septoria* diseases of wheat and barley. *Annals Appl. Biol.* 103(2):345-373.
- Leyva-Mir, S. G.; Gilchrist-Saavedra, L.; Zavaleta-Mejía, E. and Khairallah, M. 2006. Yield losses in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotype inoculated with single and mixed isolates of *Septoria tritici* Rob Ex. Desm. *Agrociencia*. 40(3):315-323.
- Martínez, G. A. 2005. Experimentación agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo (UACH). Estado de México. 364 p.
- Mc Kendry, A. L.; Henke, G. E. and Finney, P. L. 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 Marshall, D. 1990. Breeding wheat for resistance to *Septoria nodorum* and *Septoria tritici*. *Advances in Agronomy*. 44(1):257-277.
- Parker, S. R.; Welham, S.; Paveley, N. D.; Foulkes, J. and Scott, R. K. 2004. Tolerance of septoria leaf blotch in winter wheat. *Plant Pathology* 53(1):1-10.
- Polley, R. W. and Thomas, M. R. 1991. Surveys of diseases of winter wheat in England and Wales, 1976-1988. *Annals of Applied Biology*. 119(1):1-20.
- Rajaram, S. 1994. Wheat germplasm improvement: historical perspectives, philosophy, objectives and missions. *In: Rajaram, S. G. and Hettel, P. (Eds.). 'Wheat breeding at CIMMYT. Commemorating 50 years of research in Mexico for global wheat improvement'. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). El Batán, Estado de México, DF. 1-10 pp.*
- Rodríguez, C. M. E.; Villaseñor-Mir, H. E.; Leyva-Mir, G.; Huerta-Espino, J.; Sandoval-Islas, J. S. and De los Santos-Posadas, H. M. 2008. Efecto de *Septoria tritici* en el rendimiento de trigo de temporal en ambientes lluviosos de los Valles Altos Centrales de México. *Agrociencia*. 42(4):435-442.

- Royle, D. J.; Shaw, M. W. and Cook, R. J. 1986. Patterns of development of *Septoria nodorum* and *S. tritici* in some winter wheat crops in Western Europe, 1981-83. *Plant Pathol.* 35(4):466-476.
- Skovmand, B.; Villarreal, R.; Ginkel, M.; Rajaram, S. and Ortiz-Ferrera, G. 1997. Semidwarf bread wheats: Names, Parentages, Pedigrees, and Origins. Mexico, DF. 37 p.
- Steingberg, G. 2015. Cell biology *Zymoseptoria tritici*: pathogen cell organization and wheat infection. *Fungal Genetic biology.* 79(1):17-23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fgb.2015.04.002>.
- Suffert, F.; Sanche, I. and Lannou, C. 2011. Early stages of septoria tritici bltch epidemics of winter wheat: build-up, overseasoning, and release of primary inoculum. *Plant Pathol.* 60(2):166-177. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02369.x>.
- Tyryshkin, L. G. and Tyryshkina, N. A. 2003. Resistance to diseases in wheat collection samples and somaclonal variants. *Czech J. Gen. Plant Breed.* 39(1):21-23.
- Villaseñor, M. H. E. y Espitia-Rangel, E. 2000. Variedades de trigo recomendadas para siembras de temporal en México. *In: Villaseñor, M. H. E. y Espitia, R. E. (Eds.) El trigo de temporal en México.* SAGAR, INIFAP, CIR-CENTRO y CEVAMEX. México. 151-172 pp.
- Villaseñor, M. H. E. y Moreno-Gálvez, R. 1998. Verano S-91: nueva variedad de trigo para siembras de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 21(1):93-94.
- Villaseñor, M. H. E.; Espitia, R. E.; Huerta-Espino, J.; González, R. I.; Solís, M. E. y Peña, B. J. 2004. Rebeca F2000, nueva variedad de trigo para siembras en temporales favorables e intermedios en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(3):285-287.
- Villaseñor, M. H. E.; Huerta, E. J.; Ramírez, A. M.; Espitia, R. E.; Limón, O. A. y Rodríguez, G. M. F. 2007. Variedades de trigo para siembras de temporal en el Estado de Tlaxcala. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Centro de Investigación Regional Centro. Campo Experimental Tlaxcala. Folleto técnico núm. 30. 33 p.
- Wainshilbaum, S. J. and Lipps, P. E. 1991. Effect of temperature and growth stage of wheat on development of leaf and glume blotch caused by *Septoria tritici* and *S. nodorum*. *Plant Dis.* 75(10):993-998.
- Zadoks, J. C.; Chang, T. T. and Konzak, C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14(6):415-421.
- Zuckerman, E.; Eshel, A. and Eyal, Z. 1997. Physiological aspects related to tolerance of spring wheat cultivars to *Septoria tritici* blotch. *Phytopathology.* 87(1):60-65.