

Factores Meteorológicos Asociados al Tizón de la Espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) en Trigo (*Triticum aestivum* L.)

Hugo Ernesto Flores-López, Javier Ireta-Moreno y José Ariel Ruíz-Corral, INIFAP, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, km 8 Carr. Tepatitlán-Lagos de Moreno, Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México CP 47600. Correspondencia: flores.hugo@inifap.gob.mx

(Recibido: Julio 31, 2006 Aceptado: Octubre 4, 2006)

Flores-López, H.E., Ireta-Moreno, J. y Ruíz-Corral, J.A. 2007. Factores meteorológicos asociados al tizón de la espiga (*Fusarium graminearum* Schwabe) de trigo (*Triticum aestivum* L.). Revista Mexicana de Fitopatología 25:102-108.

Resumen. El tizón de la espiga del trigo causado por *Fusarium graminearum*, es una enfermedad que se presenta durante la floración en condiciones templado-húmedo y reduce el rendimiento y calidad del grano. En 1998 y 1999 se sembraron las variedades de trigo Arandas F-90, Eneida F-94, Batán F-96 y la línea experimental Castrejón, en 4 y 5 fechas de siembra. Se registró la fenología del trigo; se colectaron 100 espigas de cada genotipo y fecha de siembra con las que se determinó un índice relativo de enfermedad (IRE). Se registró la temperatura máxima y mínima, lluvia, evaporación y mediante regresión se evaluó el efecto del IRE sobre el rendimiento. Con el software Curv Expert v. 1.38 se seleccionó la mejor función que predice el IRE con elementos meteorológicos. En 1998 el IRE tuvo un menor valor con el retraso de las fechas de siembra, y su efecto sobre el rendimiento lo muestra la relación: $REN = -3428.6 IRE - 418.09$ ($r^2 = 0.68$). En 1999, el IRE fue menos intenso, de acuerdo a la función: $REN = 3697.6 IRE - 872.37$ ($r^2 = 0.176$). La relación IRE y elementos meteorológicos mostraron una tendencia curvilínea con los siguientes valores críticos: temperatura mínima $>$ de 11°C , temperatura media $>$ a 16.5°C , oscilación térmica $<$ a 13.4°C y precipitación pluvial $>$ a 30 mm.

Palabras clave adicionales: Fenología, índice relativo de enfermedad, *Fusarium graminearum*.

Abstract. *Fusarium* head blight of wheat caused by *Fusarium graminearum*, is a disease that occurs during the flowering under cool and humid conditions and reduces grain yield and quality. During 1998 and 1999 wheat cultivars Arandas F-90, Eneida F-94, Batán F-96, and the experimental line Castrejón had four and five planting dates. The phenology was recorded and 100 spikes of each genotype and planting date were collected to determine the relative disease index (RDI). Maximum and minimum temperatures, rainfall, and evaporation were registered and the effect of the RDI on

yield was evaluated by regression analysis. The best equation that predicts the RDI on climatic variables was selected through Curv Expert v. 1.38 software. In 1998 the RDI had a lower value because of late planting dates; its effect on yield is shown by the equation $YIELD = 3428.6 RDI - 418.09$ ($r^2 = 0.68$). In 1999 was less intense as shown by $YIELD = 3697.6 RDI - 872.37$ ($r^2 = 0.176$). The relationship between RDI and the climatic variables showed a curve line tendency with the following critical values minimum temperature $>$ 11°C , average temperature $>$ 16.5°C , thermic oscillation $<$ 13.4°C , and rainfall $>$ 30 mm.

Additional keywords: Phenology, relative disease index, *Fusarium graminearum*.

El cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal fue uno de los más importantes en el estado de Jalisco, México, particularmente en el período de 1980 a 1996, con una superficie de siembra de más de 13,500 ha y un rendimiento de 2.0 ton ha⁻¹; sin embargo, en el período de 1997 al 2004 la superficie se redujo a poco más de 5,000 ha con un ligero incremento en el rendimiento a 2.54 ton ha⁻¹. En la región Altos de Jalisco, durante la década de los ochentas, el cultivo tuvo una superficie de siembra de hasta 11,000 ha (INIFAP, 1990) y en los últimos seis años la superficie promedio fue alrededor de 3,200 ha con un rendimiento de 1.767 ton ha⁻¹; pero en el año 2004, de las 4,330 ha sembradas, sólo 330 correspondieron a la parte sur de la región alteña de Jalisco con un rendimiento de 2.6 ton ha⁻¹ (SIAP-SAGARPA, 2005). Las enfermedades del trigo en la región alteña son un factor que reducen el rendimiento. El control por medio de fungicidas no es recomendable por el costo económico y ecológico que implica; para minimizar este problema una opción es el uso de variedades resistentes (Chávez e Ireta, 1993). No obstante que para la región Altos de Jalisco se han generado variedades de trigo tolerantes a patógenos como *Fusarium graminearum* Schwabe (Chávez e Ireta, 1993), éste continúa presentándose cada ciclo de cultivo con un fuerte efecto reductivo sobre el rendimiento (Flores e Ireta, 2000), por lo que es necesario identificar la naturaleza de la interacción hospedero-

patógeno-ambiente para apoyar la mejor toma de decisiones en el manejo del cultivo. Cuando están presentes enfermedades que influyen negativamente en el rendimiento del trigo, éste responde acelerando su desarrollo hacia la madurez (Hodges, 1990), acortando la duración del período de llenado grano con la consecuente reducción del rendimiento (Egli, 2004). El tizón de la espiga por *Fusarium* (TEF) es un problema importante en la producción de trigo en zonas templadas y semitropicales, como el de los Altos de Jalisco (Gilchrist-Saavedra, 2000; Ireta *et al.*, 1989), por la reducción del peso de los granos y por consecuencia el rendimiento (Brennan *et al.*, 2005; Goswami y Kisler, 2004, Nicholson *et al.*, 2007) y la contaminación en los granos, producida por la presencia de micotoxinas, entre las que se encuentra el deoxinivalenol (DON) (Miller *et al.*, 2001; Hooker *et al.*, 2002; Kock *et al.*, 2006; Lozano-Ramírez *et al.*, 2006; Sip *et al.*, 2007). En el ciclo de vida de *F. graminearum* los residuos del cultivo tienen una función importante en su sobrevivencia, pues persiste en forma de micelio o formando peritecios sobre las espigas de trigo infectadas, en los residuos de maíz (*Zea mays* L.) o sobre los tallos de maíz o trigo (Ireta y Gilchrist, 1994; Champeil *et al.*, 2004; Del Ponte *et al.*, 2004; Dill-Macky and Jones, 2000; Wang, 1997). Cuando las condiciones meteorológicas son favorables para el desarrollo del hongo, especialmente en la etapa de floración, los conidios son dispersados por el viento o por el salpique de las gotas de lluvia o insectos presentes en las plantas de trigo (Goswami y Kistler, 2004). El proceso de infección es más crítico durante la primera mitad del período de llenado de grano y disminuye después de la etapa de grano masoso, aunque las diferencias en susceptibilidad entre las etapas fenológicas del trigo probablemente sean debidas a la variedad, la temperatura del aire, humedad relativa, al desarrollo del inóculo o a las condiciones de la planta al momento de la penetración. La infección inicia con la penetración del patógeno en el tejido del hospedero entre 36 a 48 horas después de la inoculación y los primeros tejidos invadidos son las glumas, el ovario y las anteras. La penetración en la espiga se favorece por las temperaturas relativamente bajas y la alta humedad relativa (Nicholson *et al.*, 2007). Los síntomas aparecen en la espiga de acuerdo a la combinación de temperatura y humedad del aire, de manera que a temperaturas de 14, 20, 25 a 30°C con saturación de humedad, los macroconidios en la espiga se presentan en 12, 5 y 3 días, respectivamente. En condiciones de humedad continua y prolongada se observa una masa rosada de esporas y los granos infectados se deforman y arrugan (Sutton, 1982; Champeil *et al.*, 2004; Del Ponte *et al.*, 2004). Brennan *et al.* (2005) encontraron que la inoculación de *F. graminearum* en diferentes variedades, produjo los síntomas visuales más intensos a 16°C que a 20°C, aunque las mayores pérdidas de rendimiento se observaron a 20°C. Gilbert y Tekauz (2000) reportaron que la temperatura óptima para la producción de peritecios estuvo en el rango de 15 a 28.5°C y la producción de ascosporas de 25 a 28°C, pero Del Ponte *et al.* (2004)

consideran que el óptimo de temperatura para la infección de TEF está entre 20 y 30°C. De acuerdo con Gilbert y Tekauz (2000) la descarga de ascosporas se dispara con una gota a cierta temperatura del aire y con el aumento de la humedad relativa, liberando las ascosporas con periodicidad diurna y un número pico entre las 16 horas y la media noche, en un rango de 600 a 9000 ascosporas m⁻³, liberadas en el rango de temperaturas de 11 a 30°C y valores de humedad relativa de 60 a 95%. La temperatura óptima para la producción de macroconidios fue de 28 a 32°C, pero decreció abruptamente debajo de los 16°C y arriba de los 36°C. Aunque en la epidemiología de este patógeno las condiciones ambientales son importantes, se hace énfasis principalmente en la temperatura y la humedad relativa, la presión atmosférica, la luz UV, la radiación solar y la lluvia, que prevalecen en la etapa de floración del cultivo de trigo (Brennan *et al.*, 2005; Champeil *et al.*, 2004; De Wolf *et al.*, 2003; Hooker *et al.*, 2002; Gilbert y Tekauz, 2000; Ireta y Gilchrist, 1994). Bajo un enfoque de modelación para la predicción del TEF, De Wolf *et al.* (2003) identificaron variables como la duración de la lluvia 7 días antes de la antesis, el número de horas que la temperatura está en el rango de 15 a 30°C durante los 7 días anteriores a la antesis, y las horas de duración que la temperatura está entre 15 y 30°C con humedad relativa igual o mayor a 90%. Del Ponte *et al.* (2005) utilizaron un modelo que permite estimar el desarrollo del TEF con base en un índice de infección que utiliza factores de tipo meteorológico, fenológico, densidad del inóculo y frecuencia de infección; el factor meteorológico considerado para la ocurrencia de infección consiste en la combinación de registros diarios de lluvia, humedad relativa promedio y temperatura media, con las horas de duración de humedad en la espiga con ventana de dos días previos y las siguientes restricciones: 1) dos días antes con lluvia mayor de 0.3 mm y humedad relativa promedio de 80 % o más, 2) un día antes con lluvia mayor a 0.3 mm y humedad relativa promedio igual o mayor a 80 %, antecedido o precedido de un día no lluvioso con humedad relativa promedio igual o mayor a 85%. La infección también se relacionó con un modelo exponencial basado en la temperatura media diaria. Sin embargo, en México es limitada la disponibilidad de información meteorológica con la precisión requerida para predecir la incidencia del TEF con este modelo. En el mismo contexto de la modelación, es común el uso de índices que relacionen la presencia de una enfermedad y su impacto sobre el rendimiento o la calidad del producto (por la presencia de micotoxinas como deoxinivalenol). En la simulación del riesgo de infección de TEF en trigo, Del Ponte *et al.* (2005) utilizaron el índice FHB (Fusarium head blight) producto del porcentaje de la incidencia y severidad de *Fusarium* en espigas de trigo. Este mismo índice fue utilizado por Moschini *et al.* (2001) para predecir FBH en trigo en la región norte de las Pampas Argentinas, y Moschini *et al.* (2002) estimaron el progreso del FHB con base en información meteorológica utilizada en modelos empíricos. Con este mismo índice FHB, Del Ponte *et*

al. (2004) utilizaron la función de Weibull para simular el progreso del espigamiento, caracterizado por la emergencia diaria de espigas y la exposición diaria de anteras, regulada por la temperatura media diaria con una función cuadrática. Otro enfoque utilizado es la relación que tiene el riesgo del TEF en trigo con la producción de deoxynivalenol (DON) y el uso de variables meteorológicas y de manejo (Brenan *et al.*, 2005; Champeil *et al.*, 2004; Hooker *et al.*, 2002; Kock *et al.*, 2006; Ramírez *et al.*, 2004). La presencia de TEF en trigo en la región de los Altos de Jalisco ya es conocida (Flores e Ireta, 2000), pero se desconoce el grado de asociación entre los elementos meteorológicos con el TEF y su relación con el rendimiento de trigo, por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la relación que guarda el TEF en trigo y las variables del clima que favorecen esta enfermedad en la región de los Altos de Jalisco.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo Experimental Centro Altos de Jalisco (CECEAJAL), del INIFAP en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México, durante los ciclos de lluvias de 1998 y 1999. En 1998 las variedades de trigo utilizadas fueron Arandas F-90, Eneida F-94, y la línea experimental Castrejón, sembradas el 13, 21 y 31 de julio y el 12 de agosto. En 1999 se agregó la variedad Batán F-96 en 5 fechas de siembra 30 de junio, 12 y 22 de julio, 3 y 12 de agosto. Cada variedad se sembró en surcos de 0.30 m de ancho por 10 m de largo para formar parcelas de 100 m² (10 m x 10 m), con un diseño en bloques al azar, donde los tratamientos fueron las variedades y las fechas de siembra fueron los bloques. En cada parcela se tomó una muestra aleatoria de 100 espigas, las cuales se trillaron individualmente y se registró la cantidad y el peso del total de grano por espiga, tanto de los granos enfermos y sanos. El manejo del cultivo se realizó con las recomendaciones del CECEAJAL (Flores *et al.*, 2003). El efecto del TEF se evaluó con el índice relativo de la enfermedad (IRE) que se obtuvo para cada variedad y fecha de siembra. El IRE se definió como la proporción entre el número de granos sanos (GS) con respecto al total de granos de la espiga (GT), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$IRE = \frac{GS}{GT}$$

Los valores del IRE se mueven en el rango de 0 a 1, donde el

cero significa que toda la espiga estuvo enferma y el 1 significa que no hubo daño o sana. Las variables del clima evaluadas fueron: temperaturas máximas y mínimas, oscilación térmica, evaporación y lluvia, registradas diariamente en la estación agroclimática del CECEAJAL, localizada a 21°52' de latitud norte, y 101°53' de longitud oeste y 1930 msnm de altitud. Con un análisis de regresión y correlación se evaluó el efecto del TEF sobre el rendimiento y para obtener el gráfico y el modelo del mejor ajuste entre TEF y los elementos meteorológicos se utilizó el programa CURV EXPERT 1.38.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de grano. Durante el ciclo de temporal de 1998, las variedades de trigo tuvieron un comportamiento irregular. Arandas F-90 mostró el mayor rendimiento con el retraso de la fecha de siembra, en cambio Eneida F-94 y Castrejón mostraron una tendencia a reducir su rendimiento con las fechas de siembra tardías (Cuadro 1). Lo anterior fue el resultado del acortamiento del período de llenado de grano por factores como la disponibilidad de humedad y/o la presencia de plagas, malezas o enfermedades en el cultivo (Egli, 2004; Hodges, 1990). En la Figura 1 se muestra la dinámica del índice relativo de enfermedad (IRE), durante los temporales de 1998 y 1999. El IRE fue más severo en 1998 en las primeras fechas de siembra, reduciendo su impacto en las fechas de siembra tardías a una tasa de 0.0139 unidades por día. En

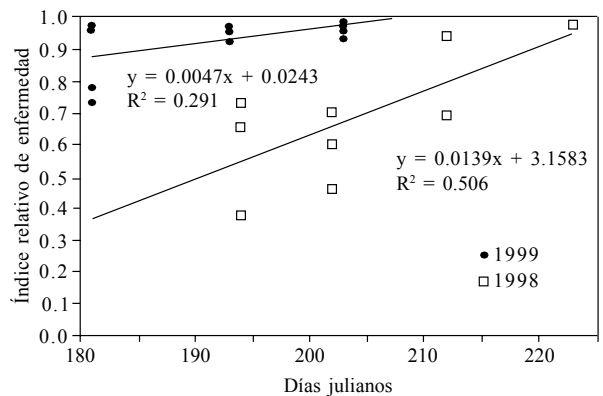


Fig. 1. Dinámica del índice relativo de enfermedad en trigo (*Triticum aestivum*) durante los temporales de 1998 y 1999 en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Cuadro 1. Rendimiento de grano de cuatro variedades de trigo (*Triticum aestivum*) sembradas en varias fechas de siembra en condiciones de temporal en Tepatitlán, Jalisco, México.

Variedades	Rendimiento de grano (kg ha ⁻¹)								
	1998				1999				
	13/jul	21/jul	31/jul	12/ago	30/jun	12/jul	22/jul	13/ago	12/ago
Arandas F-90	1901	2141	2774	3558	2544	3258	3084	584	248
Eneida F-94	1929	1539			1558	1828	2895	660	168
Castrejón	1232	1161	1110		1819	2846	2204	1095	276
Batán F-96					1679	3405	3587	866	201

cambio en 1999, el valor de IRE mostró un pequeño incremento a una tasa de 0.0047 unidades por día debido al retraso de las fechas de siembra. La influencia de IRE sobre el rendimiento de trigo en los años 1998 y 1999 se muestra en la Figura 2. Con respecto a la dependencia del rendimiento de grano con el IRE, para 1998 mostró una tasa de reducción de grano de 342.9 kg ha⁻¹ por fracción decimal de IRE; en cambio para 1999 la tasa de pérdida de rendimiento fue del orden de 369.8 kg ha⁻¹ por fracción decimal de IRE. Por otro lado, los coeficientes de correlación de IRE con el rendimiento de grano para 1998 y 1999 fueron de 0.825 y 0.4196, respectivamente; de acuerdo con estos coeficientes de correlación, el rendimiento de trigo fue más afectado durante 1998 por el TEF que en 1999, lo cual es un indicador de que existieron otros factores durante 1999 con mayor influencia en el rendimiento. La correlación del IRE con el rendimiento en 1998 es un indicador que muestra la elevada dependencia de las condiciones ambientales que prevalecieron durante el período de floración y que fueron determinantes para que el TEF mostrara la severidad evaluada con el IRE (Ireta y Gilchrist, 1994). La presencia del TEF está asociada con las condiciones ambientales de precipitaciones, alta humedad relativa y temperaturas de 20 a 30°C en la floración (Annone *et al.*, 2000; Casa *et al.*, 2004; Del Ponte *et al.*, 2004). En el Cuadro 2 se muestran los coeficientes de correlación entre el IRE y el promedio de temperaturas máximas, mínimas, medias, oscilación térmica y precipitación pluvial, ocurridas desde la emergencia de la espiga hasta la floración completa, para 1998 y 1999. También se observa que el valor promedio del IRE fue más severo en 1998 que en 1999, así mismo en 1998 los elementos del clima fueron altamente correlacionados con el IRE en comparación con el año posterior. La temperatura mínima, temperatura media, oscilación térmica y lluvia durante la floración de las espigas, fueron los elementos climáticos que tuvieron una mayor correlación con el IRE; en el caso de la temperatura máxima no se encontró correlación con IRE.

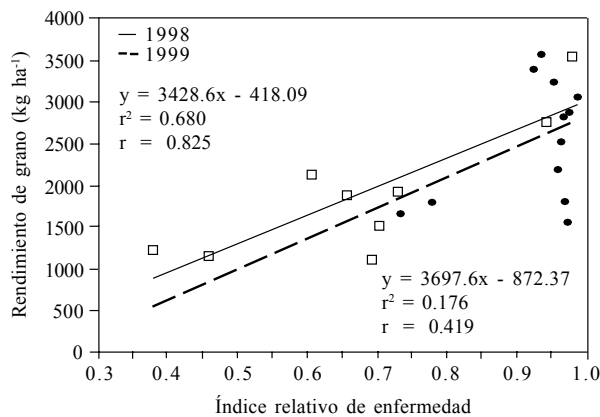


Fig. 2. Efecto del índice relativo de enfermedad sobre el rendimiento de grano en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) en los años de 1998 y 1999 en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México.

Cuadro 2. Coeficiente de correlación y condiciones promedio de temperaturas máxima, mínima, media, oscilación térmica y precipitación pluvial, con el índice relativo de enfermedad en el período de emergencia completa de la espiga hasta floración completa a la base de la espiga, en el año de 1998 y 1999.

Variable climática	1998		1999	
	Promedio	r	Promedio	r
Tmax(°C)	24.2	-0.174	24.4	-0.098
Tmin(°C)	12.2	0.758	11.1	-0.124
Tmed(°C)	18.2	0.714	17.7	-0.279
PP(mm)	64.8	0.732	39.7	0.027
Osc(°C)	12.0	-0.756	13.4	-0.239
Índice IRE	0.32		0.93	

En la Figura 3 se muestra la relación entre la temperatura mínima y el IRE, representada por la función Weibull (r = 0.854), en la expresión siguiente:

$$IRE = 0.993 - 8.728e^{-138542.43 \cdot T_{min}^{-4.1962}}$$

donde el IRE es el índice relativo de enfermedad y Tmin es la temperatura mínima en °C. La curva del IRE inició su descenso a partir de los 10°C de temperatura mínima, aunque el cambio más importante fue a partir de los 11°C, y no con la temperatura media como lo reporta Del Ponte *et al.* (2004), con efectos más intensos a bajas temperaturas y alta humedad relativa (Champeil *et al.*, 2004; Sutton, 1982). La relación de la temperatura media con el IRE (Fig. 4) estuvo mejor representada por la función Richard's con una correlación de r = 0.67 en la expresión siguiente:

$$IRE = \frac{1.091}{1 + e^{(-27.173 + 1.328 T_{med} \frac{1}{0.139})}}$$

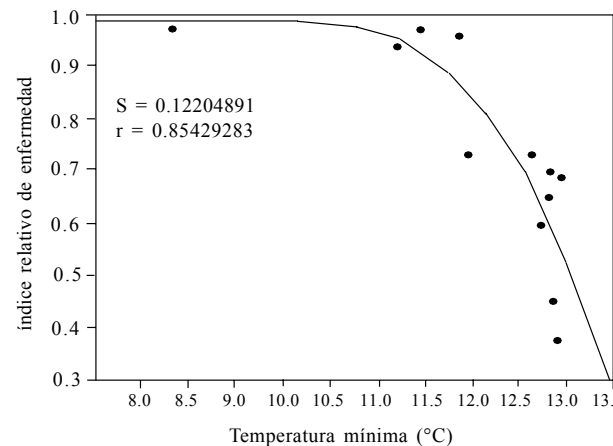


Fig. 3. Relación entre la temperatura mínima y el índice relativo de enfermedad (IRE) en trigo (*Triticum aestivum*) de temporal.

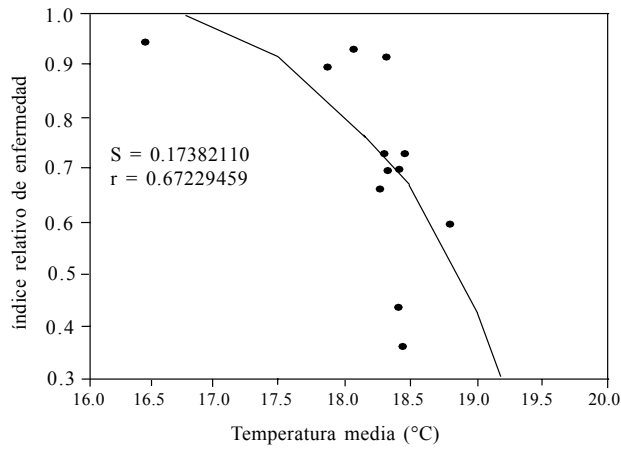


Fig. 4. Relación entre la temperatura media y el índice relativo de enfermedad (IRE) en trigo (*Triticum aestivum*) de temporal.

donde: IRE es el índice relativo de enfermedad y Tmed es la temperatura media en °C. El efecto de la temperatura media sobre el IRE se inició desde los 16.5°C hasta los 19.3°C, aunque de acuerdo con la literatura este valor debería continuar hasta los 30°C (De Wolf *et al.*, 2003; Del Ponte *et al.*, 2005; Gilbert y Tekauz, 2000). En la Figura 5 se muestra la relación de la oscilación térmica sobre el IRE, nuevamente esta relación fue descrita por la función Richard's en la expresión siguiente:

$$IRE = \frac{0.98}{1 + e^{\left(\frac{1}{914.94 - 68.226OSC^{293.134}}\right)}}$$

donde: IRE es el índice relativo de enfermedad y OSC es la oscilación térmica en °C. Aunque esta variable no se reporta en la modelación de infección de Fg, la Figura 5 muestra que con la función Richard's se tiene una correlación de $r = 0.81$

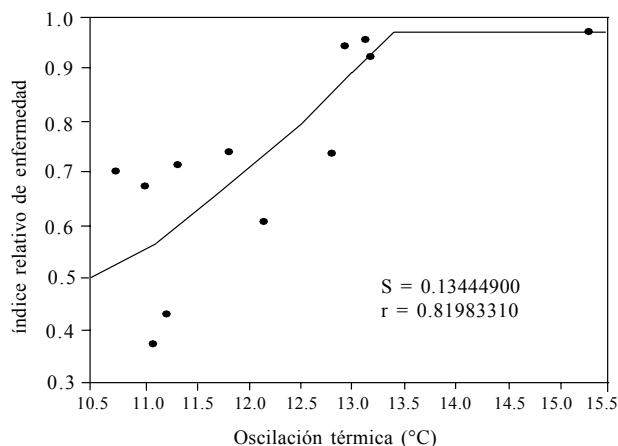


Fig. 5. Relación entre la oscilación térmica y el índice relativo de enfermedad (IRE) en trigo (*Triticum aestivum*) de temporal.

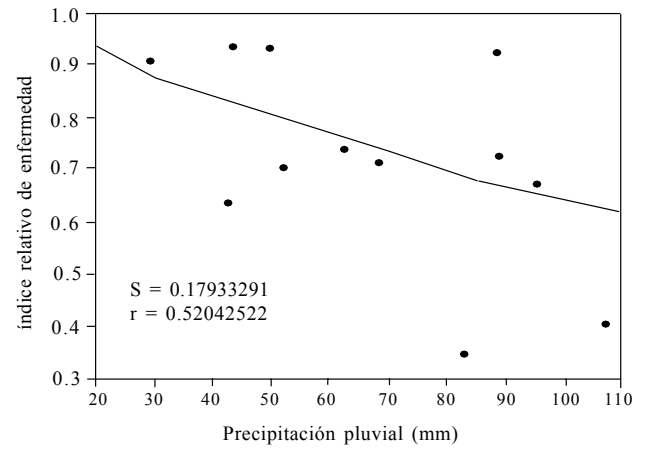


Fig. 6. Relación entre la precipitación pluvial y el índice relativo de enfermedad (IRE) en trigo (*Triticum aestivum*).

cuando la oscilación térmica es menor de 13.4 °C y el efecto de IRE es más intenso a baja oscilación térmica. En la Figura 6 se muestra la relación de la lluvia con el IRE, representada por la función exponencial con una correlación de 0.52 en la expresión siguiente:

$$IRE = 1.075e^{-0.00575PP}$$

donde el IRE es el índice relativo de enfermedad y PP es la lluvia en mm. La presencia de la lluvia ó precipitación pluvial (PP) lleva implícita la saturación en la atmósfera, es decir, cuando ocurre lluvia la humedad en la atmósfera es alta (Elias y Castellvi, 1996), condición necesaria para que Fg se presente (Ireta y Gilchrist, 1994; Sutton, 1982), situación que ocurre en la relación IRE con PP, como se muestra en la Figura 6, donde con el incremento en PP durante la floración el IRE tiende a bajar. Aunque se definieron algunos valores en la relación IRE con factores meteorológicos, es necesario ampliar el rango de monitoreo ambiental para encontrar los puntos de máximo efecto y los valores umbrales de *Fusarium graminearum* sobre el trigo expresado por el IRE.

CONCLUSIONES

El índice IRE en 1998 mostró un efecto más severo en las siembras tempranas, reduciendo su impacto con las fechas de siembra tardías a una tasa de 0.0139 unidades por día. En 1999 el valor de IRE no mostró un cambio importante con las fechas de siembra, sólo 0.0047 unidades por día. La tasa de reducción de IRE sobre el rendimiento de trigo en 1998 y 1999 fue de 342.9 y 369.8 kg ha⁻¹ por cada fracción decimal de IRE, respectivamente. Las variables temperatura mínima, temperatura media, oscilación térmica y precipitación pluvial mostraron una alta correlación con el índice IRE, en el período de emergencia de la espiga hasta la floración a la base de la espiga, o estados de desarrollo fenológico del 59 al 83 de acuerdo a la escala de Zadoks (Zadoks, 1974). Los valores

críticos de los elementos del clima para intensificar el IRE fueron: temperatura mínima mayor de 11°C, temperatura media mayor de 16.5°C, oscilación térmica menor a 13.4°C y precipitación pluvial mayor de 30 mm. Es necesario ampliar el rango de monitoreo ambiental para encontrar los puntos de máximo efecto de *Fusarium graminearum* sobre el trigo expresado por el IRE, así como los valores umbrales en que IRE puede actuar.

LITERATURA CITADA

- Annone, J.G., Botta, G., e Ivancovich, A. 2000. Guía práctica para el reconocimiento de las principales enfermedades del trigo. Tomada de <http://www.inta.gov.ar/bn/ph/info/documentos/artic79.htm#fusario> Fecha de consulta: octubre 1, 2006.
- Brennan, J.M., Egan, D., Cooke, B.M., and Doohan, F.M. 2005. Effect of temperature head blight of wheat caused by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum*. *Plant Pathology* 54:156-160.
- Champeil, A., Doré, T., and Fourbet, J.F. 2004. Fusarium head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of micotoxins by Fusarium in wheat grains. *Plant Science* 166:1389-1415.
- Casa, R.T., Reis, E. M., Blum, M.M.C., Bogo, A., Scheer, O. y Zanata, T. 2004. Danos causados pela infecção de *Gibberella zeae* em trigo. *Fitopatologia Brasileira* 29:289-293.
- Chávez-Chávez, J. e Ireta-Moreno, J. 1993. Arandas F-90: Variedad de trigo para temporal eficiente. INIFAP-CIRPAC-CEAJAL. Folleto Técnico No. 3. Tepatitlán de Morenos, Jalisco, México. 14 p.
- De Wolf, E.D., Madden L.V., and Lipps, P.E. 2003. Risk assessment models for wheat fusarium head blight epidemics based on within-season weather data. *Phytopathology* 93:428-435.
- Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C., Pierobom C.R. y Bergstrom, G.C. 2004. Giberela do trigo - Aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. *Fitopatologia Brasileira* 29:587-605.
- Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C. y Pavan, W. 2005. A risk infection simulation model for fusarium head blight of wheat. *Fitopatologia Brasileira* 30:634-642.
- Del Ponte, E.M., Fernandes, J.M.C., Pavan W., y Pierobom. C.R. 2004. Simulação da dinâmica do florescimento do trigo como base para um modelo de risco de giberela. *Revista Brasileira de Agrociência* 10:323-331.
- Dill-Macky, R., and Jones R.K. 2000. The effect of previous crop residues and tillage on Fusarium Head Blight of wheat. *Plant Disease* 84:71-76.
- Elias, C., F. y Castellvi, S.F. 1996. Agrometeorología. Grupo Mundi-Prensa. Madrid, España. 517 p.
- Egli, D.B. 2004. Seed-fill duration and yield of grain crops. *Advances in Agronomy* 83:243-279.
- Flores-López, H.E. e Ireta-Moreno, J. 2000. Reducción del rendimiento en trigo de temporal por *Fusarium graminearum* Schw. Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología A.C. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Resumen L-87.
- Flores-López, H.E., Ruíz-Corral, J.A., Martínez-Parra, R.A., González-Eguiarte, D.R. y Nava-Vargas, L. 2003. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el estado de Jalisco. Distrito de Desarrollo Rural 066 Lagos de Moreno. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-CEAJAL. Folleto Técnico No. 2. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 54 p.
- Gilbert, J., and Tekauz, A. 2000. Review: Recent developments in research on fusarium head blight of wheat in Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology* 22:1-8.
- Gilchrist-Saavedra, L.I. 2000. Problemas fitosanitarios de los cereales de grano pequeño en los Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Fitopatología* 18:132-137
- Goswami, R.S., and Kistler, H.C. 2004. Heading for disaster: *Fusarium graminearum* on cereal crops. *Molecular Plant Pathology* 5:515-525.
- Hodges, T. 1990. Temperature and water stress effects phenology. In: T. Hodges (ed.). *Predicting Crop Phenology*. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 233 p.
- Hooker, D.C., Schaafsma, A.W., and Tamburic-Ilicic, L. 2002. Using weather variables pre- and post-heading to predict deoxynivalenol content in winter wheat. *Plant Disease* 86:611-619.
- INIFAP. 1990. Sugerencias Prácticas para el Productor Agropecuario. SARH-INIFAP-CIFAP JALISCO-CEAJAL. Folleto para Productores No. 3. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 55 p.
- Ireta-Moreno, J., Sosa-Moss, C., Romero-Coba, S. y Bekele, G. 1989. Estimación de las pérdidas en trigo (*Triticum* sp. L.) causadas por la roña (*Fusarium graminearum* Schw.). *Agrociencia* 77:89-102
- Ireta-Moreno, J., and Gilchrist-Saavedra, L. 1994. Fusarium head scab of wheat (*Fusarium graminearum* Schwabe). *Wheat Special Report No. 21b*. México, D.F. CIMMYT. 25 p.
- Kock, H.J., Pringas, C., and Maerlaender, B. 2006. Evaluation of environmental and management effects on Fusarium head blight infection and deoxynivalenol concentration in the grain of winter wheat. *European Journal of Agronomy* 24:357-366.
- Lozano-Ramírez, N., Mezzalama, M., Carballo-Carballo, A. y Hernández-Livera, A. 2006. Efecto de fungicidas en la calidad fisiológica de la semilla de trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y su eficacia en el control de *Fusarium graminearum* Schwabe [*Gibberella zeae* (Schwein.) Petch.] y *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker [*Cochliobolus sativus* S. Ito y Kurib.]. *Revista Mexicana de Fitopatología* 24:115-121.
- Miller, J.D., ApSimon J.W., Blackwell B.A., Greenhalgh R., and Taylor A. 2001. Deoxynivalenol: A 25 years perspective on a trichothecene of agricultural importance. In: B.E.

- Summerell, J.F. Leslie, D. Backhouse, W.L. Bryden, and L.W. Burgess. *Fusarium*: Paul E. Nelson Memorial Symposium. APS Press. St. Paul, MN, USA. 392 p.
- Moschini, R.C., Pioli, R., Carmona, M., and Sacchi, O. 2001. Empirical predictions of wheat head blight in the northern Argentinean pampas region. *Crop Science* 41:1541-1545.
- Moschini, R.C., De Galic M.T.V., Annone, J. G. y Polidoro, O. 2002. Enfoque fundamental-empírico para estimar la evolución del índice de *Fusarium* en trigo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 31:39-53.
- Nicholson, P., Gosman, N., Draeger, R., Thomsett, M., Chandler, E., and Steed, A. 2007. The *Fusarium* head blight pathosystem: Status and knowledge of its components. pp. 23-26. In: H.T. Buck, J.E. Nisi, and N. Salomón (eds.). *Wheat Production in Stressed Environments*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 794 p.
- Ramírez, M.L., Chulze, S., and Magan, N. 2004. Impact of environmental factors and fungicides on growth and deoxynivalenol production by *Fusarium graminearum* isolates from Argentinian wheat. *Crop Protection* 23:117-125.
- SIAP-SAGARPA, 2005. Estadísticas de producción de maíz. http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/sispro/SP_AG/sp_maiz.html Fecha de consulta: noviembre 23, 2005.
- Sip, V., Chrpova, J., Leisova, L., Sykorova, S., Lucera, L., and Ovesna, J. 2007. Implications for *Fusarium* head blight control from study of factors determining pathogen and DON content in grain of wheat cultivars. pp. 281-287. In: H.T. Buck, J.E. Nisi, and N. Salomón (eds.). *Wheat Production in Stressed Environments*. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 794 p.
- Sutton, J.C. 1982. Epidemiology of wheat head blight and maize ear rot caused by *Fusarium graminearum*. *Canadian Journal of Plant Pathology* 4:195-209.
- Wang, Y.Z. 1997. Epidemiology and management of wheat scab in China. In: H.J. Dubin, L. Gilchrist, J. Reeves, and A. McNab (eds.). *Fusarium Head Scab: Global Status and Future Prospects*. CIMMYT. México, D.F. 130 p.
- Zadoks, J.C., Chang T.T., and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14:415-421.