

VALIDACIÓN DE SISTEMAS DE PRONÓSTICO DEL IMPACTO DE LA FUSARIOSIS DE LA ESPIGA EN CULTIVARES DE TRIGO

Ricardo C. Moschini¹, Mario Acuña², Enrique Alberione³, Julio Castellarín⁴, Facundo Ferraguti⁴,
Homero F. Lozza², Malvina I. Martínez¹

¹ Instituto de Clima y Agua. CIRN INTA Castelar, Buenos Aires, Argentina

² CONAE, CABA. Argentina

³ EEA INTA M. Juárez, Córdoba, Argentina

⁴ EEA INTA Oliveros, Santa Fe, Argentina

(Manuscrito recibido el 23 de julio de 2015, en su versión final el 01 de enero de 2016)

RESUMEN

En Argentina, el principal agente causal de la enfermedad conocida como fusariosis de la espiga de trigo (FET) es el hongo *Fusarium graminearum* (Schwabe) (teleomorfo *Gibberella zeae* (Schwein)). La FET es una enfermedad floral pues el proceso de infección comienza en las anteras. Las epidemias severas están asociadas a la ocurrencia de largos períodos de mojado desde antesis a grano lechoso-pastoso. La FET se caracteriza por su fuerte dependencia de factores meteorológicos y por manifestarse esporádicamente. Esta situación impulsó el desarrollo de sistemas de pronóstico empíricos y fundamental-empíricos con base ambiental para predecir la incidencia de la FET y el índice de *Fusarium* (IndF %). Ambos sistemas de pronóstico identifican eventos infectivos por mojado de la espiga, combinando la ocurrencia de precipitación (Pr) y altos registros de humedad relativa. Este estudio contrastó los valores estimados de índice de *Fusarium* predicho por sistema fundamental-empírico, en su versión original y su versión ajustada (IndFP_{Ori}: original e IndFP_{Aju}: ajustado), con los observados en numerosos cultivares de trigo en M. Juárez (Córdoba, 2011/12 y 2012/13), Gdor. Mansilla (Entre Ríos) en 2012/13 y en Oliveros (Santa Fe, 2012/13 y 2013/14). Los mayores valores observados y predichos de IndF se registraron en 2012/13, sobre todo en trigos que espigaron antes del 10/10. El sistema original predijo valores de IndF muy sobreestimados en Gdor. Mansilla y Oliveros, en 2012/13. Los valores de IndFP_{Aju} corrigieron significativamente esta sobreestimación, definiendo un día de precipitación a aquel con $Pr > 0,5\text{mm}$ y amplitud térmica diaria menor a 11°C. Entre los valores predichos de IndFP_{Ori} y de IndFP_{Aju} no se observaron diferencias marcadas en M. Juárez (2011/12 y 2012/13) ni en Oliveros (2013/14). Por otro lado se analizaron las predicciones del índice de *Fusarium* sin utilizar la fecha de antesis como dato de entrada. Se observó que cuanto más precisa fue la simulación de la fecha de antesis obtenida con el modelo DSSAT-CERES trigo, más exacto resultó el cálculo del índice predicho de *Fusarium*, por lo que será clave actualizar los coeficientes genéticos de los cultivares comerciales actuales de trigo que determinan la evolución de los estados fenológicos del cultivo.

Palabras clave: *Fusarium graminearum*; modelos predictivos; variables meteorológicas; región pampeana.

VALIDATION OF FORECASTING SYSTEMS OF FUSARIUM HEAD BLIGHT IMPACT IN WHEAT CULTIVARS

ABSTRACT

In Argentina, wheat Fusarium head blight (FHB) is a disease predominantly caused by the fungus *Fusarium graminearum* (Schwabe) (teleomorfo *Gibberella zeae* (Schwein)). FHB is considered a floral disease because the infection process begins at the anthers. Severe FHB epidemics are associated to the occurrence of long wet periods from anthesis to milk-dough ripe wheat stages. The sporadic weather-induced nature of FHB in the Pampa region led to the development and validation of empirical and fundamental-empirical weather-based incidence and Fusarium index (IndF %) forecasting systems. Both systems recognize infective events by head wetting combining the simultaneous occurrence of precipitation (Pr) and high relative humidity. The current study contrasted the Fusarium index values predicted by the weather-based fundamental-empirical system, in its original version and adjusted version (IndFP_{Ori}: original and IndFP_{Aju}: adjusted), with those observed in many wheat cultivars in M. Juárez (Córdoba, 2011/12 and 2012/13), Gdor. Mansilla (Entre Ríos) in 2012/13 and in Oliveros (Santa Fe, 2012/13 y 2013/14). The greatest observed and predicted IndF values were registered in 2012/13, especially in wheat cultivars that headed before 10 October. Overestimated IndF values were obtained using the original forecasting system in Gdor. Mansilla and Oliveros, in 2012/13. The overestimation was sharply reduced calculating adjusted IndF values, defining a day with precipitation that with occurrence of Pr > 0,5mm and thermal amplitude < 11°C. Differences between predicted IndFP_{Ori} and IndFP_{Aju} values were not clearly observed in M. Juárez (2011/12 and 2012/13) and Oliveros (2013/14). Besides, IndF predictions without using anthesis date as input data were calculated. Greater accuracy of simulated anthesis date with the model DSSAT-CERES wheat led to a more precise calculation of predicted IndF values. Genetic coefficients of current wheat cultivars have to be updated for improving the simulation of wheat growing stages.

Keywords: Fusarium graminearum; predictive models; meteorological variables; Argentine Pampa region

1. INTRODUCCIÓN

La Fusariosis de la espiga de trigo (FET) es una importante enfermedad que afecta la producción mundial de trigo. El hongo *Fusarium graminearum* (Schwabe) (teleomorfo *Gibberella zeae* (Schwein)) es considerado el principal causante de la enfermedad. La incidencia de la FET reduce el rendimiento en grano y también produce toxinas ligadas al hongo (tricotecenos como el deoxynivalenol: DON) que contaminan a los granos usados para el consumo humano y animal (Fernández Pinto y otros, 2013). La

FET es considerada una enfermedad floral, pues el proceso de infección comienza en las anteras, y monocíclica. Pese a ser monocíclica, la severidad acumulada final resulta de infecciones múltiples ocurridas a partir de varios episodios de inoculación durante el período susceptible para la infección, el cual se produce en el período con las anteras expuestas, y puede durar de 25 a 30 días en un lote de cultivo. *Gibberella zeae* sobrevive como saprófito en residuos de numerosos cultivos hospedantes (trigo, avena, cebada, maíz, alfalfa y arroz) y de muchas gramíneas nativas y malezas, formando fructificaciones sexuales (peritecios con ascosporas). Las ascosporas liberadas por

los peritecios son diseminadas por el viento a grandes distancias, se depositan sobre las anteras expuestas de espigas de trigo, germinan y colonizan las flores, o sea se producen eventos infectivos siempre que ocurran condiciones meteorológicas favorables. Como consecuencia, no hay formación de granos o crecen en forma deficiente (chuzos), y las espiguillas afectadas presentan una despigmentación característica. La FET es una enfermedad de climas cálidos y húmedos. Eventos de infección se producen con la ocurrencia de largos períodos de mojado en espigas (48-72 h), asociados al registro de precipitaciones (Reis y Carmona, 2002; Del Ponte y otros, 2004). Se debe remarcar que la duración de mojado constituye un parámetro muy difícil de medir y predecir (Norman, 1982). Para el trabajo de desarrollo de la primera ecuación predictiva de la incidencia de la FET en Argentina (Moschini y Fortugno, 1996) no se dispusieron de registros directos de la duración del mojado generado por precipitación, situación que forzó a su estimación de una manera indirecta. Para ello se combinó la ocurrencia diaria de lluvia con altos registros de humedad relativa del aire en períodos de dos días, observando un coeficiente de determinación de 0,81 contra solo 0,17 de la variable frecuencia de precipitación.

Algunas estrategias de manejo de la FET tienen limitaciones para actuar sobre este complejo fúngico/micotoxina en forma efectiva. A nivel mundial pocos cultivares de trigo tienen un aceptable nivel de resistencia, habiendo comportamientos diferenciales en los materiales argentinos, con predominio de cultivares susceptibles a moderadamente susceptibles. La rotación de cultivos no controla eficazmente a la FET debido a la amplia gama de hospedantes del patógeno y la alta diseminación anemófila de sus esporas, que pueden ser transportadas desde fuentes distantes (Reis y Carmona, 2002). Los fungicidas aplicados en antesis pueden ayudar a prevenir pérdidas económicas pero su eficacia depende del momento de aplicación y tecnología para lograr una buena cobertura de la espiga (Del Ponte y otros, 2004). Los fungicidas que se disponen deben aplicarse en forma preventiva

(antes de que ocurran eventos infectivos) o semi-preventiva (máximo 2 a 3 días después del evento infectivo) (Annone, 2003). Una estrategia de control racional puede basarse en el uso combinado de sistemas de pronóstico de la FET y de pronósticos meteorológicos específicos para establecer en tiempo real y/o anticipar la ocurrencia de eventos infectivos severos en base a factores ambientales, y de esta forma dar soporte a una estrategia de control químico sustentable por razones ecológico-económicas.

Epidemias severas de la FET se observan esporádicamente en la región pampeana (especialmente en el cuadrante NE), relacionadas a la ocurrencia de condiciones ambientales favorables durante el período susceptible para la infección en el trigo. Después de la epifitias de 1993, se desarrollaron para dicha región, en base a factores meteorológicos, sistemas de pronóstico empíricos (Moschini y Fortugno, 1996) y fundamental-empíricos (Moschini y otros, 2002) para estimar la incidencia de la FET y el índice de Fusarium, definido como el producto entre su incidencia y severidad, respectivamente (validados y ajustados por Moschini y otros, 2001; Moschini y otros, 2004; Moschini y otros, 2008; Moschini y otros, 2012). Recientemente el modelo predictivo empírico fue validado exitosamente bajo las condiciones de cultivo de Québec (Canadá) (Giroux y otros, 2014), concluyendo que se podría integrar a un sistema de toma de decisión para determinar si es necesaria la aplicación de fungicida. Ambos sistemas de pronóstico identifican eventos infectivos por mojado de la espiga, combinando la ocurrencia de precipitación y altos registros de humedad relativa. De esta forma se han logrado simular los efectos de la duración de mojado en la FET a partir de registros diarios de elementos meteorológicos simples. El sistema de pronóstico fundamental-empírico, a diferencia del empírico, puede cuantificar la evolución del proceso múltiple de infección (evento por evento). Un sistema de alerta del grado de riesgo de la FET se está operando desde la campaña 2005/06 en el Instituto de Clima y Agua del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), complejo Castelar. Tres veces por semana (lunes, miércoles y viernes) se reciben los registros meteorológicos diarios de estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del INTA de la región pampeana, a la cual se dividió operativamente en tres subregiones: Norte, Centro y Sur. Los sistemas de pronóstico citados (enfoque empírico y fundamental-empírico) se ejecutan fijando fechas de espigazón/antesis (5.5 y 6.5 de acuerdo a la escala decimal fenológica de Zadoks y otros, 1974), gradualmente más tardías en dirección sur. Además se elabora un pronóstico meteorológico específico para la enfermedad. Estos elementos permiten establecer en cada estación meteorológica el grado de riesgo de la FET, categorizarlo en alto ($\text{IndF} > 10\%$), moderado ($\text{IndF} \leq 10$ y $> 4\%$) o bajo ($\text{IndF} \leq 4\%$) y elaborar mapas. Los mapas y comentarios son volcados en la página <http://climayagua.inta.gob.ar>.

En Argentina está proyectado poner en órbita dos satélites SAOCOM (Comisión Nacional de Actividades Espaciales: CONAE) con cobertura espectral en la banda L, la cual permitiría describir satisfactoriamente la dinámica superficial del contenido hídrico del suelo. Una de sus aplicaciones actualmente en desarrollo, consiste en utilizar sus datos de salida para calcular la variable hídrica (mojado de espiga) de ambos sistemas de pronóstico de la FET desarrollados en Argentina (Moschini y otros, 2010 a; Moschini y otros, 2010 b). El modelo para trigo DSSAT-CERES (Jones y otros, 2003) permite simular el rendimiento y la fenología del cultivo, de la cual en este caso nos interesa la fecha de antesis. Para ello se requiere la fecha de siembra e información del cultivar utilizado, para el que se definen coeficientes genéticos que ajustan a las características de cada genotipo. Se abre la posibilidad de predecir el índice de Fusarium utilizando sólo información de fecha de siembra y cultivar, junto a los registros de las estaciones meteorológicas de superficie asociados a imágenes de humedad superficial (SAOCOM), estas últimas de carácter automático. Además, mediante el uso del modelo

DSST-CERES se puede integrar, con gran cobertura espacial, el rendimiento estimado del cultivo de trigo a lo largo de la campaña con el nivel de enfermedad, dado que la rentabilidad del control químico de la FET se asocia a cultivos de mayor potencial (Moschini, 2003).

Los objetivos de este estudio fueron validar y/o ajustar los valores de índice de Fusarium predichos por el sistema de pronóstico fundamental-empírico, con fecha de espigazón/antesis observada y simulada por el modelo DSSAT-CERES trigo, contra los respectivos valores observados en cultivares de trigo, en sitios del norte de la región pampeana.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Índice de Fusarium observado (IndFO %)

La incidencia (% de espigas afectadas) y severidad (% de espiguillas afectadas en las espigas enfermas) de la FET fue registrada en numerosos cultivares comerciales de trigo en Marcos Juárez (Provincia de Córdoba, campañas 2011/12 y 2012/13), Gobernador Mansilla (Provincia de Entre Ríos) en 2012/13 y en Oliveros (Provincia de Santa Fe, campañas 2012/13 y 2013/14). Los datos de Gob. Mansilla correspondieron a la Red de Evaluación de cultivares de trigo del CREA-Región Litoral Sur (Velazquez y otros, 2013). El IndFO % por cultivar resultó de multiplicar la incidencia por la severidad, dividido 100. Los cultivares se agruparon por similar fecha de espigazón (FEsp +/- 1 día) y se calculó la mediana de los IndFO % (Tabla I).

2.2. Índice de Fusarium Predicho por sistema de pronóstico original (IndFPOr %)

La metodología original desarrollada por Moschini et al. (2002), con sus ajustes posteriores, se ejecutó para cada una de las fechas de espigazón analizadas (n=19) con el objeto de calcular el IndFP %. Para ello

se utilizaron datos diarios de temperaturas máxima (Tx) y mínima (Tn), precipitación (Pr) y el valor promedio de humedad relativa (HR) obtenido de las observaciones realizadas a las 9, 15 y 21 hs (12,18 y 00 UTC) de las estaciones meteorológicas de INTA situadas en las EEA INTA M. Juárez (Córdoba; Lat. 32° 42' S; Long. 62° 7' O) y Oliveros (Santa Fe; Lat. 32° 32' S; Long. 60° 51' O) y en General Galarza (Provincia de Entre Ríos; Lat. 32° 43' S; Long. 59° 23' O), distante 30 Km al sur de Gob. Mansilla (Entre Ríos; Lat. 32° 32' S; Long. 59° 21' O). La temperatura media diaria (Td) surge de la semisuma de Tx y Tn

Cálculo del progreso diario del % de espigas con anteras expuestas (%EspAnt): se generalizaron las conclusiones hechas en un lote del INTA Castelar sembrado con el cultivar de trigo Klein Volcán en el año 2000, donde se evaluó la evolución de la antesis (%EspAnt) en términos de porcentaje de espigas con anteras. Se ajustó una función polinómica entre el logit de la proporción de espigas con anteras (EspAnt) y una versión modificada del tiempo térmico dado en grados día (GD):

$$GD = \begin{cases} 0 & Td < 12 \text{ } ^\circ\text{C} \\ Td & Td \geq 12 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases} \quad (1)$$

De acuerdo a la Ec. (1) se van sumando los valores de Td para los días con $Td \geq 12^\circ\text{C}$ a lo largo del período susceptible de infección (PSI). El progreso diario del %EspAnt comienza a estimarse mediante la Ec. (2) en el PSI que se inicia 4 días antes de la fecha de plena espigazón y finaliza cuando se acumulan 530 GD.

$$\begin{aligned} \text{Logit}(\text{EspAnt}) &= \ln\left(\frac{\text{EspAnt}}{1 - \text{EspAnt}}\right) = \\ &- 6,7650529122 \\ &+ 0,136395967GD \\ &+ 0,000694621GD^2 \\ &+ 0,000001384GD^3 \\ &- 0,000000001GD^4 \end{aligned} \quad (2)$$

El porcentaje de espigas con anteras expuestas se obtiene al despejar EspAnt y multiplicar por 100.

Cálculo de la severidad predicha (SevP %): Andersen (1948), en ambiente controlado, estableció los % de infección (Sev %) en espigas de trigo inoculadas artificialmente con conidios de *F. graminearum* ante distintas duraciones de mojado (DM=18 horas a 72 horas) y temperaturas (T=15, 20, 25 y 30°C). A estos valores tabulados se ajustó una función polinómica entre el logit de la severidad (Sev, valores de 0 a 1) con la DM en horas y la T en °C, como efectos individuales e interactivos

$$\begin{aligned} \text{Logit}(\text{Sev}) &= \ln\left(\frac{\text{Sev}}{1 - \text{Sev}}\right) = \\ &38,77166158 \\ &+ 0,53815698DM \\ &- 6,02985565T \\ &+ 0,26849793T^2 \\ &- 0,00396097T^3 \\ &+ 0,04990941T \cdot DM \\ &- 0,00092343T^2 \cdot DM \end{aligned} \quad (3)$$

El Índice de Fusarium predicho final (IndFP %) surge de sumar los productos entre la proporción de espigas con anteras y la severidad predicha para todos los períodos de mojado infectivos hallados en el PSI (análisis realizado sobre cada sitio-campaña y cada una de las fechas de espigazón analizadas en Tabla I):

$$\text{IndFP \%} = 100 \sum_{i=1}^N \text{EspAnt}_i \cdot \text{Sev}_i \quad (4)$$

Siendo N el número total de períodos de mojado infectivos registrados a lo largo del PSI, en donde a cada evento se lo identifica con el subíndice i.

Simulación del mojado de espiga combinando ocurrencia de precipitación con HR: para utilizar la Ec. (3) se establecieron reglas de equivalencias para definir las DM y T medias en los lapsos de mojado, a partir de los registros diarios de Pr, Tx, Tn y HR de las estaciones meteorológicas utilizadas en este estudio. A lo largo del PSI se definió que un día con precipitación mayor o igual a 0,2mm ($Pr \geq 0,2\text{mm}$) y con una humedad relativa mayor o igual al 81 % ($HR \geq 81\%$)

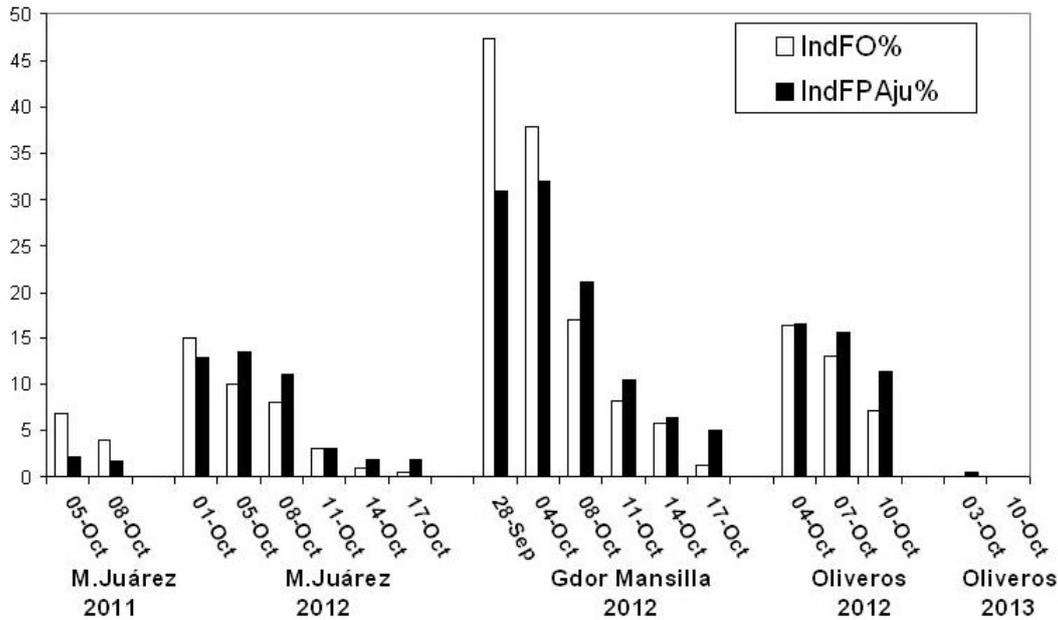


Figura 1: Valores de índice de fusarium observado (IndFO %) en cada fecha de espigazón contrastados con los predichos por el sistema de pronóstico fundamental-empírico ajustado (IndFPAju %), para M. Juárez (2011 y 2012), Gdor. Mansilla (2012) y Oliveros (2012 y 2013).

equivale a una duración de mojado (DM) de 24 horas, que se acumulan en días sucesivos dentro de un mismo período de mojado hasta un máximo de 72 horas. Si a una duración de mojado de 24 o 48 horas le precede o sucede un día con precipitación ($Pr \geq 0,2mm$) y $HR \leq 77\%$, o suceden $HR > 77\%$ con precipitación menor a 0,2mm o nula, se agregan 3 horas al período de mojado. Si en vez le precede o sucede un día con precipitación ($Pr \geq 0,2mm$) y $81\% > HR > 77\%$, se agregan 6 horas al período de mojado. La temperatura en los períodos de mojado resulta del promediar las Td diarias, ponderadas por las horas de mojado de cada día involucrado. Con $DM < 48h$ y $T < 15^\circ C$ se considera el 90 % del valor del índice de Fusarium calculado para $DM = 48h$. Este estudio también fijó un valor umbral de Td en días con precipitación ($Pr \geq 0,2mm$) que inician un evento infectivo (duración de mojado de espiga) de 24 horas o más: si $Td > 20^\circ C$ entonces $Td = 20^\circ C$.

2.3. Índice de Fusarium predicho ajustado (IndFPAj %)

En el presente trabajo se utilizó la metodología

de cálculo del IndFP descrita precedentemente, incluyendo en este caso dos cambios cuando se simula la duración de mojado (DM) de la espiga. Ahora se considera día con precipitación cuando $Pr > 0,5mm$ (en lugar de $Pr \geq 0,2mm$). Además, si un día con precipitación ($Pr > 0,5mm$) observa una amplitud térmica ($AT = T_x - T_n$) mayor o igual a $11^\circ C$, se anula ese día como generador de mojado en espiga, cualquiera sea el valor de HR diaria que acompañe. Los resultados de cálculo del IndFPAj con otros umbrales de AT analizados no son presentados en este trabajo.

2.4. Validación del IndFP con fecha de antesis simulada

Se compararon valores de fecha de antesis simuladas a través del modelo DSSAT-CERES trigo y del índice de Fusarium predicho (sistema fundamental empírico original) respecto a valores observados. Para lograr la comparación, se agruparon las observaciones de la campaña 2012 de Oliveros y M. Juárez por fecha de siembra, sin distinguir los sitios ni los cultivares. Dado que dentro de cada grupo de valores observados encontramos distintos resultados - ya sea por

Sitio	Año	FEsp	N	IndFO%	IndFPori%	IndFPAju%	Desvío	Desvío
				<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a-b</i>	<i>a-c</i>
M.Juárez	2011	05-Oct	8	6,9	2,3	2,2	4,6	4,7
	2011	08-Oct	4	4	1,9	1,7	2,1	2,3
	Desvío Medio						3,4	3,5
M.Juárez	2012	01-Oct	7	15	14,1	12,9	0,9	2,1
	2012	05-Oct	11	10	15	13,4	5	3,4
	2012	08-Oct	16	8	12,8	11,1	-4,8	-3,1
	2012	11-Oct	16	3	4,9	3,1	-1,9	-0,1
	2012	14-Oct	9	1	3,5	1,9	-2,5	-0,9
	2012	17-Oct	5	0,5	2,6	1,9	-2,1	-1,4
Desvío Medio						-5,4	0	
G.Mansilla	2012	28-Sep	6	47,4	60,6	30,9	-13,2	16,5
	2012	04-Oct	4	37,9	60,5	32	-22,6	5,9
	2012	08-Oct	6	17	43	21,1	-26	-4,1
	2012	11-Oct	5	8,2	30,8	10,4	-22,6	-2,2
	2012	14-Oct	7	5,8	28,7	6,3	-22,9	-0,5
	2012	17-Oct	11	1,2	27,7	5	-26,5	-3,8
Desvío Medio						-17,9	2,0	
Oliveros	2012	04-Oct	8	16,3	32,7	16,4	-16,4	-0,1
	2012	07-Oct	4	13	38,1	15,5	-25,1	-2,5
	2012	10-Oct	6	7,2	42,2	11,4	-35	-4,2
Desvío Medio						-25,5	-2,3	
Oliveros	2013	03-Oct	8	0	2,9	0,5	-2,9	-0,5
	2013	10-Oct	5	0	2,2	0	-2,2	0
	Desvío Medio						-2,6	-0,3
Desvío Medio Total							-9,6	0,6
				IndF medio	10,6	22,4	10,4	

Tabla I: Valores observados y predichos del Índice de Fusarium para las campañas y sitios descriptos. Se detallan las fechas de espigazón (FEsp +/- 1 día) en torno a la cual se agruparon los cultivares comerciales de trigo (N: número total de cultivares alcanzados en cada agrupamiento).

diferencias de ubicación, clima y variedades de trigo- se extrajo el valor promedio y su desvío estándar, que nos da una idea de su dispersión alrededor de su media. De esta manera se obtuvo una medida de la fecha de anthesis y del índice de Fusarium para cada fecha de siembra analizada. Para ambos sitios analizados se utilizaron los datos meteorológicos de las estaciones de INTA y de suelo provenientes del Atlas de Suelos de la República Argentina (INTA, 1990). Para el cálculo de las simulaciones, el cultivar de trigo referente utilizado fue Klein Escorpión, por no disponer de los coeficientes genéticos de los cultivares actuales. Se señala que en la campaña 2012 se observó un nivel severo de la FET y que

en ambas EEA INTA M. Juárez y Oliveros se conducen anualmente ensayos de variedades de trigo siguiendo un protocolo similar, justificando la selección del año y sitios analizados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mayores valores observados y predichos de índice de Fusarium se registraron en la campaña 2012/13, sobre todo en trigos que espigaron antes del 10 de octubre. En general las predicciones del índice de Fusarium realizadas con el sistema fundamental-empírico ajustado reflejaron correctamente la tendencia de la dinámica de los valores observados (Tabla I

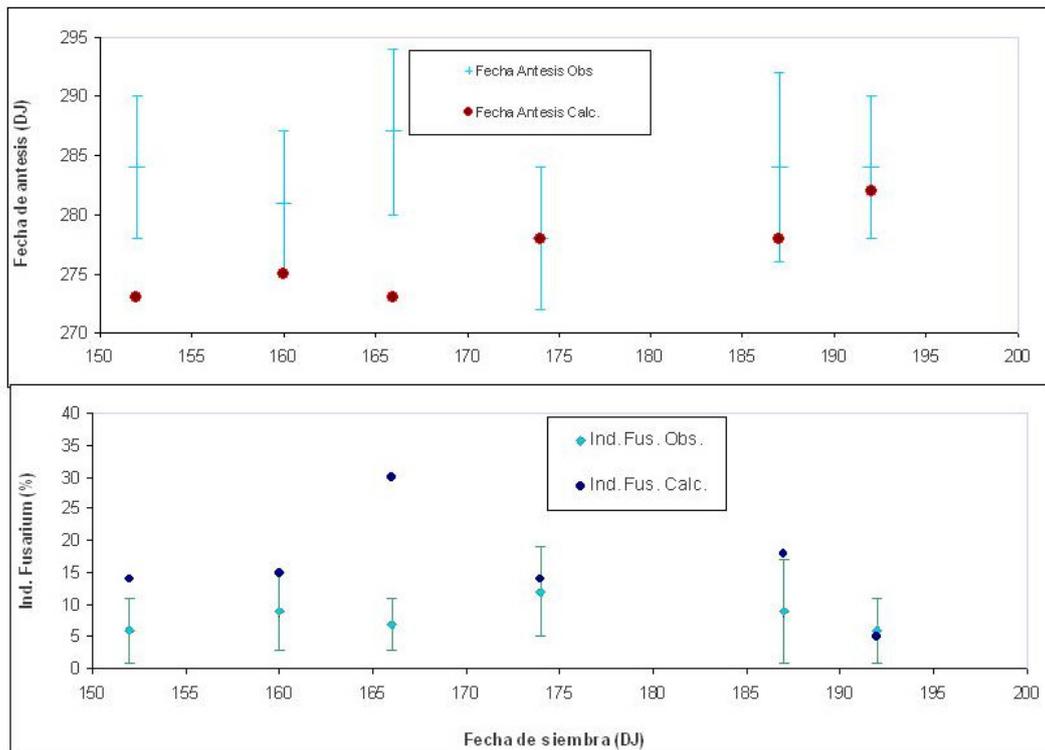


Figura 2: Arriba) Fecha de antesis observada (suma y desvío estándar) y simulada (DSSAT-CERES) (punto rojo) vs. Fecha de siembra. Abajo) Índice de Fusarium observado (rombo y desvío estándar) y predicha por sistema de pronóstico fundamental empírico (fecha de antesis simulada por DSSAT-CERES) (punto azul) vs fecha de siembra.

y Figura 1). El sistema de pronóstico original predijo valores de IndF muy sobreestimados en Gdor. Mansilla y en Oliveros, para la campaña 2012/13. En Gdor. Mansilla el índice de Fusarium predicho alcanzó valores muy altos debido a las características del 5 de octubre y 21 de octubre, que fueron días con lluvia y alta humedad relativa pero con amplitudes térmicas de 15,9 y 13,8°C (con Tx asociadas de 28,5 y 27,6°C), induciendo a pensar que en dichos días no se generaron mojados de 24 horas de duración. La misma situación se observó en Oliveros el 21/10 con una AT de 13,8°C. Entre los valores predichos de IndFPOri y de IndFPAju no se observaron diferencias marcadas en M. Juárez (campañas 2011/1 y 2012/13) ni en Oliveros (campaña 2013/14). En estos casos no existieron situaciones conflictivas con la amplitud térmica. Sobre todo en estaciones automáticas, como la ubicada en Gral. Galarza, se ha constatado el registro frecuente de valores diarios de $Pr \leq 0,5$

mm, cuyo origen es la condensación (rocío). Noches y madrugadas despejadas y lapsos diurnos con alta amplitud térmica acompañan a la condensación. Este proceso genera mojados de pocas horas, no coincidente con el mojado de larga duración (48-72 h) requerido por el hongo Fusarium para la infección. El desvío medio (diferencia entre el IndF observado y el predicho) fue de solo 0.6 % para IndFPAju contra -9,6 % (sobrestimación) para el IndFOri. Fue notable la paridad del IndFO % medio (10,6 %) y el IndFPAju % medio (10,4 %), contra un valor medio de 22,4 % predicho por el sistema de pronóstico original (media de 19 casos validados).

En la Figura 2 se muestran con puntos los valores simulados de fecha de antesis y del índice de Fusarium. Los correspondientes datos observados poseen una barra de error asociada a la dispersión de las observaciones agrupadas por fecha. Los valores simulados se observan como

puntos, ya que se consideró la salida única del modelo DSSAT-CERES para el cultivar de trigo Klein Escorpión. Como se puede observar, las simulaciones de la fecha de antesis tendieron a acortar el lapso siembra-antesis respecto a las fechas observadas, cuando se analizaron cultivares de ciclo largo y fechas de siembra tempranas. Las diferencias con los valores observados se redujeron cuando se utilizaron cultivares de ciclo corto y fechas de siembra tardías. Los resultados del índice de Fusarium arrastran las diferencias en la ventana de susceptibilidad del trigo. Como se ha observado en la Figura 1, el sistema de pronóstico predice satisfactoriamente el índice de Fusarium usando la fecha de antesis como dato, en cambio, como en este caso, la predicción del nivel de enfermedad se ve afectada por la precisión en la simulación de la fecha de antesis.

4. CONCLUSIONES

Los valores de índice de Fusarium predichos por el sistema fundamental-empírico original se validaron satisfactoriamente con datos observados en M. Juárez y Oliveros para las campañas 2011/12-2012/13 y 2013/14, respectivamente. En cambio en la campaña 2012/13 en Oliveros y Gdor. Mansilla, el sistema original presentó un marcada sobrestimación del nivel de enfermedad. Los valores de IndF predichos ajustados corrigieron significativamente esa sobreestimación, definiendo un día de precipitación a aquel con $Pr > 0,5\text{mm}$ y amplitud térmica diaria menor a 11°C . Por otro lado se analizaron las predicciones del índice de Fusarium sin utilizar la fecha de antesis como dato de entrada. Se observó que cuanto más precisa fue la simulación de la fecha de antesis, más exacto resultó el cálculo del índice predicho de Fusarium, por lo que será clave actualizar los coeficientes genéticos de los cultivares comerciales actuales de trigo que determinan la evolución de los estados fenológicos del cultivo.

Agradecimientos: Este trabajo se enmarca

en las actividades propuestas en los proyectos SAOCOM (CONAE) y PNCYO 1127023 (micotoxinas) de INTA.

REFERENCIAS

- Andersen, A.L., 1948. The development of *Gibberella zeae* head blight of wheat. *Phytopathology* 38:599-611.
- Annone, J.G., 2003. Particularidades del control químico de la FET. Seminario: problemas asociados a la Fusariosis en trigo y estrategias para su prevención. Bolsa de Cereales de Buenos Aires 3-4 de julio de 2003.
- Del Ponte, E.M., Fernandes J.M.C., Pierobom C.R., Bergstrom G.C. 2004. Giberela do trigo. Aspectos epidemiológicos e modelos de previsto. *Fitopatologia Brasileira* 29:587-605.
- DSSAT-CSM (Decision Support System for Agrotechnological Transfer - Cropping System Model) v4.0.2
- Fernandez Pinto, V., Patriarca A., Pose G., 2013. Mycotoxin associated to Fusarium species that caused Fusarium Head Blight in wheat in Latin-America. Chapter 5. Pag 59-73 In *Fusarium head blight in Latin-America* (Teresa Alconada Magliano y Sofia N.Chulze: Eds) Editorial Springer.304 p. ISBN 978-94-007-7090-4
- Giroux, M.E., Vanasse A., Bourgeois G., Dion Y., Rioux S., Pageau D., Zoghliami S., Parent C., Vachon E., 2014. Evaluation de modeles previsionnels de la fusariose de lépi chez le blé sous les conditions de culture du Québec. CRAAQ-Jourée d'information scientifique-Grandes cultures
- INTA, 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Tomo I y II. G.N. Moscatelli (ed.). SAGyP-INTA. Proyecto PNUD Argentina 85/019. Buenos Aires.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T., 2003. DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy* 18:235-265.
- Moschini, R.C., Fortugno C., 1996. Predicting wheat head blight incidence using models

- based on meteorological factors in Pergamino, Argentina. *European Journal of Plant Pathology* 102: 211-218.
- Moschini, R.C., Pioli R., Carmona M. A., Sacchi O., 2001. Empirical predictions of wheat head blight in the northern Argentinean Pampas region. *Crop Sci.* 41: 1541-1545.
- Moschini, R.C., Galich M.T.V. de, Annone J.G., Polidoro O., 2002. Enfoque Fundamental-Empírico para estimar la evolución del Índice de Fusarium en trigo. *Revista RIA*, 31(3):39-53
- Moschini R.C., 2003 Sistemas predictivos de enfermedades relevantes del trigo, con base meteorológica. Sección I .Pag.137-149. MM Kohli, M Díaz de Ackermann, M. Castro (Eds). Estrategias y Metodologías utilizadas en el Mejoramiento de Trigo. Seminario Internacional, La Estanzuela, Uruguay. CIMMYT-INIA.
- Moschini, R.C., Carranza M.R., Carmona M., 2004. Meteorological-based predictions of wheat head blight epidemic in the southern argentinean pampas region. *Cereal Research Communications* 32: 45-52.
- Moschini, R.C., Castellarín J., González M., Ferraguti F., Martínez M., 2008. Validación de los valores estimados de la Fusariosis de la espiga de trigo por sistemas de pronóstico basados en variables meteorológicas, en Oliveros (campana 2007/08). *Actas VII Congreso Nacional de Trigo*. Santa Rosa, Argentina.
- Moschini, R.C., Damiano F., Izaurralde J., Oviedo A. , Scavuzzo M., Zanvettor R., 2010 a. Balance de humedad del suelo para estimar la incidencia de la Fusariosis de la espiga de trigo. *Actas Congreso de Suelos, Trabajo 4_370_1*. Pp. 219. Trabajo completo en CD. Rosario, 31de mayo al 4 de abril.
- Moschini, R.C., Damiano F., Izaurralde J., Oviedo A. , Scavuzzo M., Zanvettor R., 2010 b. Validación de las predicciones de la Fusariosis de la espiga de trigo basadas en la precipitación y humedad del suelo. *Actas XIII Reunión Argentina y VI Latinoamericana de Agrometeorología*. Mesa: predicción de riesgos agroclimáticos. Pag 318-319. Bahía Blanca Argentina.20-22 de octubre. ISBN 978-987-26317-0-3. Meteorología. I Bert , Federico, selec. CDD 551.5
- Moschini, R. C., Castellarín J. M., Martínez M.I., Ferraguti F. 2012. Análisis de la Fusariosis de la espiga de trigo en Oliveros en la campaña 2011/12. Sistemas de pronóstico basados en variables meteorológicas para estimar su distribución anual y el riesgo climático en la región pampeana Serie Para Mejorar la Producción. Cultivos Invernales N° 47. EEA Oliveros - Centro Regional Santa Fe. ISSN 1850-163X.
- Norman, J.M. 1982. Simulation of microclimates. p. 65-99. In J.L. Hatfield and I.J. Thomason (ed.) *Biometeorology in integrated pest management*. Academic Press, New York
- Reis E.M., Carmona M., 2002. Fusariosis del trigo. *Biología, epidemiología y estrategias para su manejo*. Buenos Aires. Argentina
- Velazquez P.D., Formento A.N., Schutt L.S., Velazquez J.C. 2013. Comportamiento de cultivares de trigo implantados en tres fechas de siembra frente a la Fusariosis de la espiga. *Revista Agromercado*. Cuadernillo Clásico de Trigo N°174 pp. 17-20. ISSN 1515-223X
- Zadoks, J.C., Chang, T.T., Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14, 415-421.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo la licencia Creative Commons, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.